

LABORATOIRE DES SYSTEMES BIOMECHANIQUES ET COGNITIFS



UNIVERSITE LOUIS PASTEUR  
INSTITUT DE MECANIQUE DES FLUIDES  
UMR 7507 ULP-CNRS

2, rue Boussingault F-67000 STRASBOURG



**CONVENTION DE RECHERCHE    Fondation MAIF - ULP**

**BIOMECHANIQUE DES CHOCS ET  
PRÉVENTION DES LÉSIONS CÉRÉBRALES**

*(Rapport Final)*

**TOME 4 – SYNTHÈSE FINALE**

Auteur : R Willinger

Strasbourg le 28 février 2003

# BIOMECHANIQUE DES CHOCS ET PRÉVENTION DES LÉSIONS CÉRÉBRALES

## Sommaire

1) Introduction .....	3
2) Fiche signalétique .....	4
3) Synthèse des travaux .....	7
4) Aspects financiers .....	14
5) Valorisation des travaux .....	17

## 1) INTRODUCTION

En février 2000 la Fondation MAIF a décidé de soutenir la recherche sur la biomécanique des traumatismes crâniens en cours au sein de l'équipe des systèmes Biomécaniques de l'Institut de Mécanique des Fluides et des Solides de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (UMR CNRS 7507).

Pour améliorer les performances des systèmes de protection de la tête ou pour atténuer l'agressivité des structures fréquemment impactées des avancées en biomécanique des chocs sont indispensables à deux niveaux. D'abord il faut mieux comprendre le comportement dynamique du complexe crânio-encéphalique pour être en mesure de décrire la réponse de la tête en situation de choc. Ce point est traité par des méthodes numériques et utilise des modèles mathématiques de plus en plus réalistes, qui donnent accès aux principales grandeurs mécaniques en présence en cas de choc (déformation crânienne, pression intracrânienne, cisaillement intracérébral...). On disposerait ainsi de substituts de la tête humaine bien plus « biofidèles » que les têtes de mannequin des normes actuelles.

La deuxième avancée incontournable consiste à déterminer les valeurs extrêmes des paramètres mécaniques intracrâniens avant qu'une lésion ne survienne. L'évaluation de ces limites de tolérance sera conduite en simulant numériquement des impacts réellement subits par des sujets vivants (reconstruction d'accident ou d'incidents). Les résultats des simulations superposés à la cartographie 3D des lésions observées donneront une estimation des limites de tolérance relatives à un mécanisme de lésion donné.

Le projet a été structuré autour de trois grandes parties qui sont l'amélioration et l'exploitation intensive du modèle éléments finis de la tête ULP/99 dans le but de réellement proposer de nouvelles limites de tolérances, une synthèse des études portant sur la mécanique de la boîte crânienne suivie d'une nouvelle approche de sa modélisation et enfin une synthèse sur le comportement mécanique du cerveau, là aussi suivie d'une modélisation originale. Ces trois parties sont rapportées dans trois tomes distincts et le présent tome-4 propose successivement une fiche signalétique qui résume l'ensemble des travaux, une synthèse plus détaillée des résultats obtenus, les aspects financiers du projet et finalement les démarches de valorisation de cette recherche entreprise dans le cadre de ce programme. L'annexe de ce rapport compile les publications et résumés de communications qui constituent les fruits de cette convention.



**CONVENTION DE RECHERCHE    Fondation MAIF - ULP  
(2000-2003)**

**BIOMECHANIQUE DES CHOCS ET  
PRÉVENTION DES LÉSIONS CÉRÉBRALES**

*(Fiche signalétique)*

La protection au choc de la tête humaine a fait d'importants progrès ces dernières décennies épargnant ainsi des vies ou atténuant la gravité des blessures encéphaliques. En persévérant, nos sociétés peuvent poursuivre cette tendance car malgré ces points positifs, le combat pour une meilleure sécurité routière est loin d'être gagné, surtout en France. En effet les statistiques montrent que les traumatismes crâniens restent une cause importante de décès ou d'incapacité parmi les usagers de la route. Depuis les années soixante, la sévérité d'un impact crânien est estimée à partir de l'accélération du centre de gravité d'une tête de mannequin constituée d'une masse indéformable qui conduit au calcul du HIC (Head Injury Criteria). Ce critère n'est pas capable de distinguer les différents mécanismes de lésions possibles et les limites de tolérances arbitrairement posées sont très largement controversées par l'ensemble de la communauté scientifique. En février 2000 la Fondation MAIF a décidé de soutenir la recherche sur la biomécanique des traumatismes crâniens en cours au sein de l'équipe des systèmes Biomécaniques de l'Institut de Mécanique des Fluides et des Solides de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (UMR CNRS 7507).

Pour améliorer les performances des systèmes de protection de la tête ou pour atténuer l'agressivité des structures fréquemment impactées des avancées en biomécanique des chocs sont indispensables à deux niveaux. D'abord il faut mieux comprendre le comportement dynamique du complexe crânio-encéphalique pour être en mesure de décrire la réponse de la tête en situation de choc. Ce point est traité par des méthodes numériques et utilise des modèles mathématiques de plus en plus réalistes, qui donnent accès aux principales grandeurs mécaniques en présence en cas de choc (déformation crânienne, pression intracrânienne, cisaillement intracérébral...). On disposera ainsi de substituts de la tête humaine bien plus « biofidèles » que les têtes de mannequin des normes actuelles. La deuxième avancée incontournable consiste à déterminer les valeurs extrêmes des paramètres mécaniques intracrâniens avant qu'une lésion ne survienne. L'évaluation de ces limites de tolérance sera conduite en simulant numériquement des impacts réellement subits par des sujets vivants (reconstruction d'accidents). Les résultats des simulations superposés à la cartographie 3D des

lésions observées donnera une estimation des limites de tolérance relatives à un mécanisme de lésion donné, ce qui constituera une première dans ce domaine. En parallèle avec l'évaluation et l'exploitation du modèle existant à l'ULP de nouvelles avancées sont proposées au niveau de la modélisation de la boîte crânienne et de la matière cérébrale.

Une première étape était consacrée à l'exploitation du modèle éléments finis de la tête développé en 1998-1999. Ce modèle figure parmi les plus performants à ce jour et une étude paramétrique a permis d'en connaître les principaux paramètres d'influence. Il était essentiel ensuite, pour compléter la validation du modèle de l'ULP d'abord pour des impacts de plus longue durée avec une importante composante rotatoire pour lesquels nous avons procédé à la simulation de l'écoulement du liquide céphalo-rachidien autour du cerveau, ensuite vis à vis d'impacts faciaux pour lesquels nous avons pris en compte la dissipation d'énergie due à la fracture de la face.

Une procédure de reconstruction d'accidents réels a été mise en place en collaboration avec le TRL (Transport Research Laboratory), la Société Biokinetics au Canada et l'Université Médicale de Hanovre en Allemagne, afin de progresser au niveau de l'établissement de nouvelles limites de tolérances. Les paramètres intra-crâniens au moment du choc ont été calculés pour 13 motocyclistes accidentés, 29 piétons impactant le pare-brise d'une automobile et 22 joueurs de football américain se heurtant mutuellement. Pour chaque impact la sollicitation crânienne, intra-cérébrale et le mouvement cerveau-crâne ont été déterminés. Ces résultats relatifs à un total de 64 traumatismes crâniens de sévérité très variée ont été exploités sous forme d'histogrammes des grandeurs calculées et la corrélation entre les divers paramètres calculés et les lésions observées nous a permis de proposer des paramètres de lésions pour les différents mécanismes de lésions identifiés. L'analyse statistique approfondie de l'ensemble des accidents reconstruits a enfin été menée en regard avec les lésions observées. Ce travail nous a conduit à la proposition de limites de tolérances relatives à des lésions spécifiques tels les lésions neurologiques, les hématomes sous duras et les fractures du crâne, ce qui constitue un des buts clairement affichés dans cette convention.

Des avancées nouvelles pour l'élaboration de modèles futurs ont ensuite été proposées dans une deuxième étape, conformément à nos engagements, et ce à deux niveaux : D'abord une modélisation plus réaliste de la boîte crânienne incluant l'effet des différences inter-individus, ensuite une caractérisation du comportement mécanique de la matière cérébrale aux hautes fréquences et une nouvelle modélisation de ce matériau complexe.

Une étude bibliographique exhaustive sur l'anatomie crânienne et sur les propriétés mécaniques des os crâniens a été finalisée dans ce cadre. Pour la boîte crânienne une modélisation plus fine inclue les poutres de renforcement, la face et la modélisation de la rupture a été proposée ce qui constitue une avancée importante pour la protection du piéton. Une dernière avancée conduite conformément aux prévisions initiales est l'analyse de la différence de réponse mécanique en fonction des variations inter-individus, ce qui nécessite une étude statistique et le classement d'un grand nombre de crânes secs. Ainsi les méthodes sont actuellement en place pour procéder aux relevés géométriques de l'anatomie crânienne de l'enfant afin d'élaborer des modèles de la tête de l'enfant, une ouverture prévue dans cette convention.

Dans le but d'intégrer dans les modèles futurs un comportement plus biofidèle de la matière cérébrale il est proposé tout d'abord une étude bibliographique complète sur les essais mécaniques disponibles et les tentatives de modélisation de ce matériau. Une procédure expérimentale basée sur des techniques de rhéologie piézo-électrique nous a permis sur des

échantillons de matière cérébrale porcine de faible dimension de caractériser la matière cérébrale aux hautes fréquences jusqu'à 1500 Hz ce qui est important si l'on souhaite simuler des impacts crâniens non protégés. Un nouveau modèle rhéologique capable de reproduire le comportement mécanique élastique et visqueux sur l'ensemble de la plage fréquentielle a ensuite été élaboré.

Au total l'ensemble des objectifs visés en 1999 a pu être atteint. Seule la modélisation de la face semble encore limitée et nécessitera des développements futurs. Il est opportun de noter que ce projet ambitieux aura pu être mené à son terme grâce au concours de trois étudiants en thèse soutenus par la Fondation MAIF mais aussi par le CNRS, le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur et la Région Alsace.

Au terme de ce projet, la "tête de mannequin numérique" constitue un véritable outil omnidirectionnel de prédiction des lésions crânio-encéphaliques qui, transféré dans les bureaux d'études rendra possible l'évaluation pertinente et efficace des systèmes de protection ainsi que leur optimisation vis à vis de critères biomécaniques. A ce jour le modèle a été transféré pour évaluation au TRL (Londres), à Ford-Research (Detroit), à la DGA et à l'Université de Tsinghua (Chine). Il constituera très probablement le point de départ de projets européens en cours d'élaboration. De nouveaux tests d'homologation des systèmes de protection basés sur le couplage modèle physique-modèle numérique sont en cours d'étude avec le TRL.

Des retombées de ces recherches sont envisageables dans le futur au niveau de l'amélioration du devenir des traumatisés crâniens, un aspect géré par le milieu médical. En effet, une meilleure identification des mécanismes de lésions couplée à une estimation réaliste des limites de tolérance permet d'envisager une étude des effets des neuroprotecteurs, de tester les systèmes de monitoring et d'aider à la décision de l'intervention chirurgicale. Enfin, les résultats de ces travaux contribueront à éclaircir les médecins légistes dans la recherche des origines d'une lésion ou d'un décès consécutif à une agression mécanique de la tête. De premiers résultats à ce niveau ont été obtenus en collaboration avec l'Institut Médico-Légal de Strasbourg en 2002

Fait à Strasbourg le 28 février 2003

Rémy Willinger  
Professeur des Universités

### 3) SYNTHÈSE DES TRAVAUX

Depuis les années soixante, la sévérité d'un impact crânien est estimée à partir de l'accélération du centre de gravité d'une tête de mannequin constituée d'une masse indéformable qui conduit au calcul du HIC (Head Injury Criteria). Ce critère n'est pas capable de distinguer les différents mécanismes de lésions possible et les limites de tolérances arbitrairement posées sont très largement controversées par l'ensemble de la communauté scientifique.

En février 2000 la Fondation MAIF a décidé de soutenir la recherche sur la biomécanique des traumatismes crâniens en cours au sein de l'équipe des Systèmes Biomécaniques de l'Institut de Mécanique des Fluides et des Solides de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (UMR CNRS 7507).

Pour améliorer les performances des systèmes de protection de la tête ou pour atténuer l'agressivité des structures fréquemment impactées des avancées en biomécanique des chocs sont indispensables à deux niveaux. D'abord il faut mieux comprendre le comportement dynamique du complexe crânio-encéphalique pour être en mesure de décrire la réponse de la tête en situation de choc. Ce point est traité par des méthodes numériques et utilise des modèles mathématiques de plus en plus réalistes, qui donnent accès aux principales grandeurs mécaniques en présence en cas de choc (déformation crânienne, pression intracrânienne, cisaillement intracérébral...). L'objectif final est de disposer de substituts de la tête humaine plus « bio fidèles » que les têtes de mannequin des normes actuelles. La deuxième avancée incontournable consiste à déterminer les valeurs extrêmes des paramètres mécaniques intracrâniens avant qu'une lésion ne survienne. L'évaluation de ces limites de tolérance est conduite en simulant numériquement des impacts réellement subits par des sujets vivants (reconstruction d'accidents). Les résultats des simulations superposés à la cartographie 3D des lésions observées donne une estimation des limites de tolérance relatives à un mécanisme de lésion donné, ce qui constitue une première dans ce domaine. Ci-après nous présentons une synthèse du déroulement de cette convention ainsi que les principaux résultats obtenus.

Une première étape est consacrée à l'exploitation du modèle éléments finis de la tête développé en 1998 (figure 1). Ce modèle figure parmi les plus performants à ce jour et une étude paramétrique a permis d'en connaître les principaux paramètres d'influence. La validation du modèle de l'ULP a ensuite été complétée pour des impacts de plus longue durée avec une importante composante rotatoire pour lesquels nous avons procédé à la simulation de l'écoulement du liquide céphalo-rachidien autour du cerveau, ensuite vis à vis d'impacts faciaux pour lesquels nous avons pris en compte la dissipation d'énergie due à la fracture de la face (figure 2).

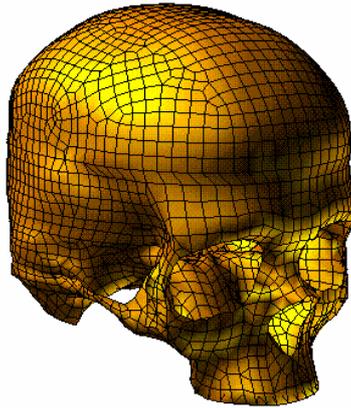


Figure 1 : Modèle par éléments finis 3D de la tête humaine (deuxième génération : 1998).

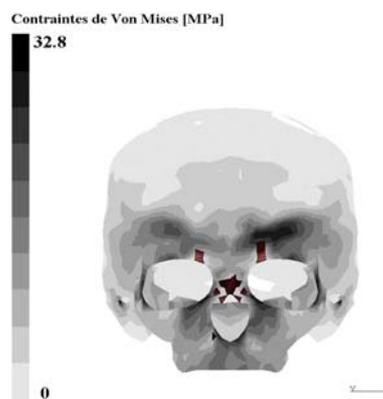


Figure 2 : Distribution des contraintes de Von Mises à 2 ms lors de la simulation d'un choc facial à 7 m/s ( 25 J). La fracture de l'os nasal est matérialisée par les éléments qui sont éliminés numériquement.

Cette étape a ensuite été marquée par la reconstruction d'un nombre considérable d'accidents réels en collaboration avec le TRL (Transport Research Laboratory) à Londres, la Société Biokinetics au Canada et la Médicale Université de Hanovre en Allemagne afin de progresser au niveau de l'établissement de nouvelles limites de tolérances. Les paramètres intra-crâniens au moment du choc ont été calculés pour 13 motocyclistes accidentés (figures 3, 4 et 5), pour 29 piétons impactant le pare-brise d'une automobile (figure 6) et 24 joueurs de football américain se heurtant mutuellement (figure 7).



Figure 3 : Reconstruction expérimentale d'un accident de motocycliste.

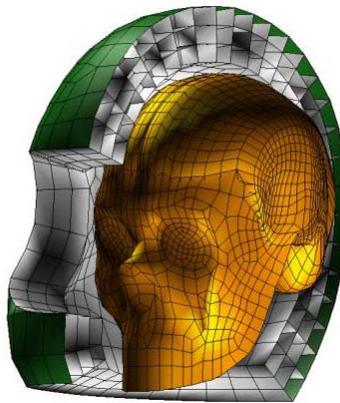


Figure 4 : Couplage des modèles par éléments finis de la tête anatomique et du casque.

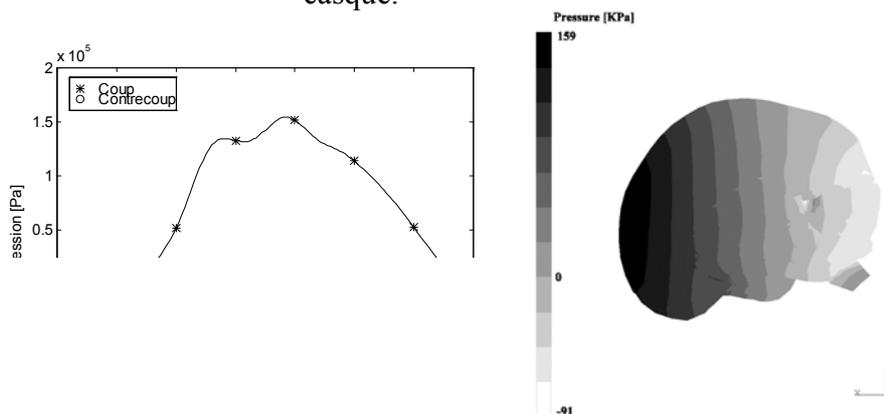


Figure 5 : Evolution de la pression au point d'impact (coup) et au point opposé (contrecoup) et distribution de la pression dans le milieu intracrânien à 8 ms pour l'impact frontal normatif à 7.5 m/s.

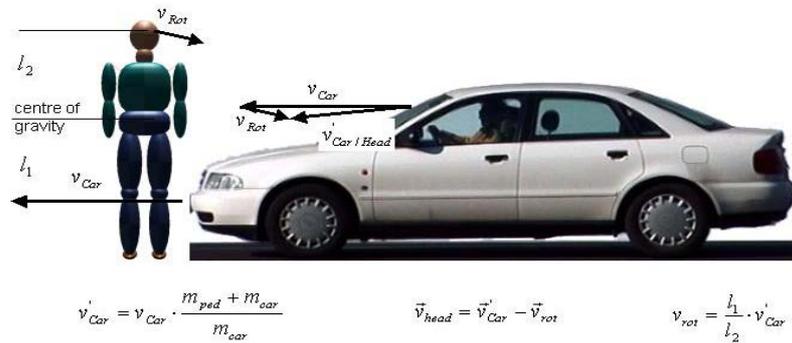


Figure 6 :Détermination de la vitesse et de la position initiale au moment du choc de la tête par rapport au pare-brise par reconstruction analytique d'un accident de piéton.



Figure 7 : Réplication expérimentale d'un choc tête contre tête de footballeurs américains.

Les résultats de ces simulation d'accidents ont été déclinés sous forme d'histogrammes des grandeurs calculées et leur corrélation avec les lésions observées nous a permis de proposer des paramètres de lésions pour les divers mécanismes identifiés à savoir le cisaillement intracérébral pour les lésions neurologiques, l'énergie de déformation de l'espace subarachnoïdien pour l'hématome sous dural et le critère de rupture de Tsai Whu pour la fracture du crâne. Un exemple d'hystogramm relatif au cisaillement intracérébral est illustré en figure 8. L'analyse statistique approfondie de l'ensemble des accidents reconstruits a été menée en regard avec les lésions observées. Ce travail nous à conduit à la proposition de limites de tolérances relatives à des lésions spécifiques tels les lésions neurologiques, les hématomes sous duraux et les fractures du crâne, ce qui constitue le principal but de cette recherche. Un exemple de courbe de risque de lésion neurologique grave et modéré est donné en figure 9.

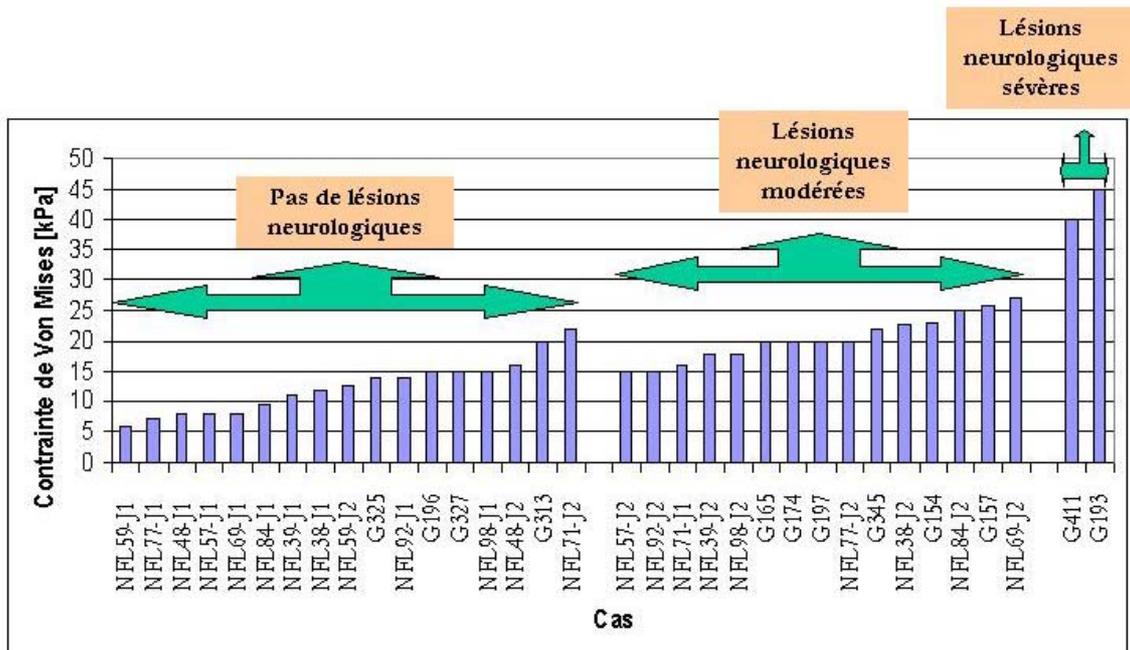


Figure 8 : Histogramme des maxima de cisailment intra-cérébrale pour 35 accidents de motocyclistes et de footballeurs américains reconstruits.

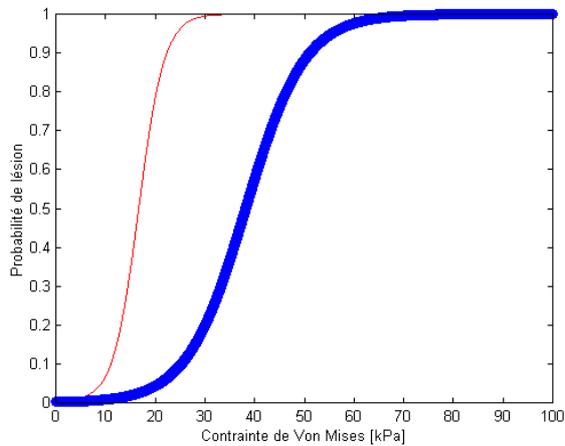


Figure 9 : Courbes de risque de lésions neurologiques relativement aux contraintes de cisailment intra-cérébrales. En trait fin, la courbe de risque de lésion neurologique modérée ou sévère. En trait gras, la courbe de risque de lésion neurologique sévère.

Des avancées nouvelles pour l'élaboration de modèles futurs ont ensuite été proposées dans une deuxième étape, aussi bien pour le crâne que pour le cerveau. D'abord une modélisation plus réaliste de la boîte crânienne incluant l'effet des différences inter-individus est proposée, ensuite une caractérisation du comportement mécanique de la matière cérébrale aux hautes fréquences et une nouvelle modélisation de ce matériau complexe est conduite.

Une étude bibliographique exhaustive sur l'anatomie crânienne et sur les propriétés mécaniques des os crâniens a été finalisée dans ce cadre. Pour la boîte crânienne une modélisation plus fine inclut les poutres de renforcement les variations d'épaisseur, la face et la modélisation de la rupture a été proposé ce qui constitue une avancée importante pour la protection du piéton. Ce nouveau maillage est illustré en figure 10. Une dernière avancée conduite conformément aux prévisions initiales est l'analyse de la différence de réponse mécanique en fonction des variations inter-individus, ce qui nécessita une étude statistique et le classement d'un grand nombre de crânes secs. Ainsi il a pu être mis en évidence des variations de sollicitations du milieu intra-crânien de l'ordre de 15 % en fonction des caractéristiques géométriques du crâne.

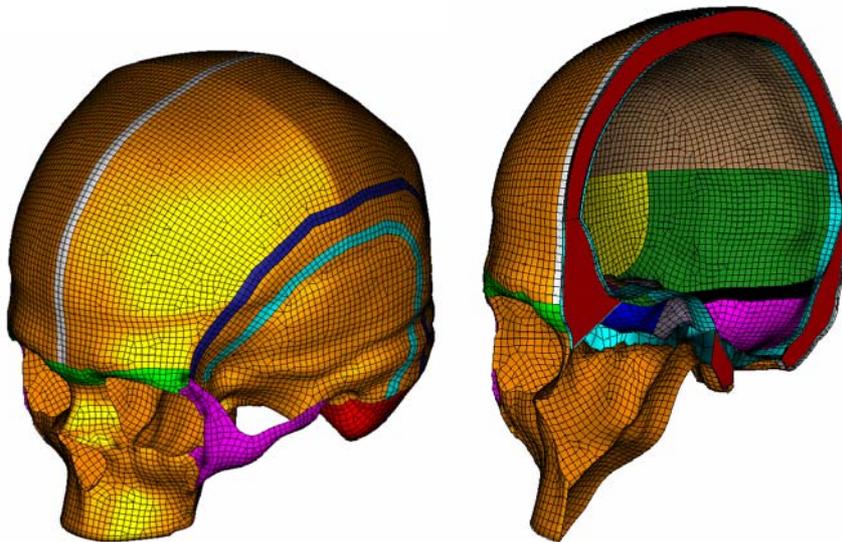


Figure 10 : Nouveau modèle par éléments finis du crâne de la tête humaine.

Dans le but d'intégrer dans les modèles futurs un comportement plus biofidèle de la matière cérébrale il est proposé tout d'abord une étude bibliographique complète sur les essais mécaniques disponibles et les tentatives de modélisation de ce matériau. Une procédure expérimentale basée sur des techniques de rhéologie piézo-électrique nous a permis sur des échantillons de matière cérébrale porcine de faible dimension de caractériser la matière cérébrale aux hautes fréquences jusqu'à 1500 Hz ce qui est important si l'on souhaite simuler des impacts crâniens non protégés. Un nouveau modèle rhéologique capable de reproduire le comportement mécanique élastique et visqueux sur l'ensemble de la plage fréquentielle a ensuite été élaboré. La superposition expérience-théorie relative au module de glissement réel et complexe de la matière cérébrale est illustrée en figure 11.

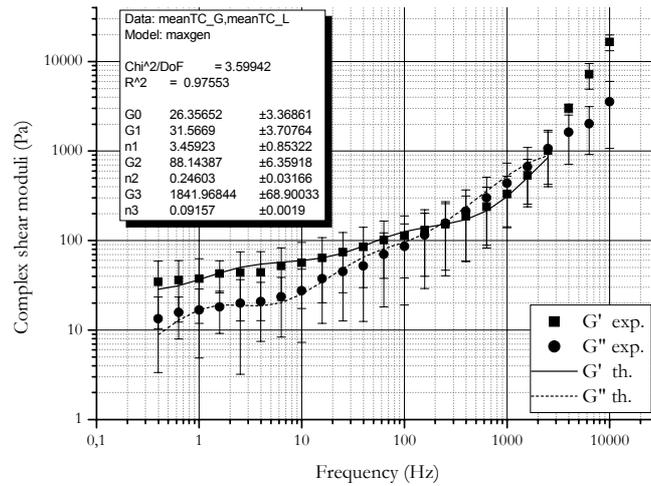


Figure 11: Modules de stockage et de perte expérimentaux et théoriques de la matière cérébrale. Le modèle servant à la modélisation est un modèle de Maxwell généralisé à 4 modes.

Au total l'ensemble des objectifs visés en 1999 a pu être atteint . Seule la modélisation de la face semble encore limitée et nécessitera des développements futurs. Il est opportun de noter que ce projet ambitieux aura pu être mené à son terme grâce au concours de trois étudiants en thèse soutenus par la Fondation MAIF mais aussi par le CNRS, le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur et la Région Alsace.

Au terme de ce projet, la "tête de mannequin numérique" constitue un véritable outil omnidirectionnel de prédiction des lésions crânio-encéphaliques qui, transféré dans les bureaux d'études rendra possible l'évaluation pertinente et efficace des systèmes de protection ainsi que leur optimisation vis à vis de critères biomécaniques. A ce jour le modèle a été transféré pour évaluation au TRL (Londres), à Ford-Research (Detroit), à la DGA et à l'Université de Tsinghua (Chine). Il constituera très probablement le point de départ de projets européens en cours d'élaboration. De nouveaux tests d'homologation des systèmes de protection basés sur le couplage modèle physique-modèle numérique sont en cours d'étude avec le TRL.

#### 4) ASPECTS FINANCIERS

Le soutien accordé par la Fondation MAIF est de 515 000 F HT, dont la répartition estimative se présente comme suit :

Postes	Montants kF - HT
Financement d'étudiants en thèse	415
Contribution aux moyens informatiques	35
Contribution aux frais de missions et fonctionnement	30
Frais de gestion ULP (7.5 %)	35
Total	515

#### Première période

Avance perçue le 12 juin 2000 : 128 750 F

Dépenses au 10 mars 2001

Date	Objet	Bourses	Fonct.	Missions	Equipement
<b>01 05 00</b>	<b>Fonct. ULP</b>		12 875		
04 05 00	Bourse A. Niass	48 287			
05 06 00	Radioss		7500		
06 06 00	RW Tübingen			500	
Xx 06 00	RW Paris (Trèves)			2500	
19 09 00	RW ICrash RW +DB IRCOBI			5000 6000	
9 10 00	RW Bruxelles (PSN)			4000	
13 10 00	RW Paris (ENSAM)			2000	
9 11 00	Oakley (TRL)			500	
9 11 00	DB + AN Tübingen			1000	
20 11 00	Hypermesh		10 000		
11 12 00	RW Paris (MAIF)			2500	
15 01 00	Contr. Maint. SGI		7000		
01 02 01	Terminal X (transtec)				10 000
19 02 01	RW Besançon			1500	
05 03 01	Sous-traitance ERFC		8352		
<b>TOTAL</b>		48 287	45727	25 500	10 000

Total des dépenses au cours de la première période : 12 9514 F

## Deuxième période

Avance perçue en avril 2001 : 128 750 F

Dépenses au 10 février 2002

Date	Objet	Bourses	Fonct.	Missions	Equipement
09 05 2001	Bourse A. Niasse	65 628			
08 06 2001	Licence Windows NT		610		
03 07 2001	Mission RW Paris (HIPA)			2500	
30 08 2001	Congrès SB Nicolle			3000	
06 09 2001	Mission RW Paris (HIPA)			2500	
08 09 01	Contrat maint. Radioss		7500		
16 10 2001	Mission Bruxelles RW (PSN)			4000	
29 10 2001	Mission RW Dijon (Stand 21)			1800	
14 12 2001	Mission RW Lyon (GDR)			2500	
20 11 2001	Bourse M. Lounis	86 212			
26 11 2001	Mission S. Nicolle à St. Louis			500	
23 01 2002	Ouvrages d'anatomie		2940		
	TOTAL	151 840	11050	16 800	0

Total des dépenses au cours de la deuxième période : 189 542 FF

### Troisième période

Avance perçue en mai 2002 : 128 750 F

Dépenses au 31 janvier 2003

Date	Objet	Bourses	Fonct.	Missions	Equipement
26 02 2002	Réunion MAIF – invitations		3935		
27 02 2002	Réunion d travail Legal		1967		
01 03 2002	Réfrigérateur		1800		
25 04 2002	Bourse A Niass	32 800			
15 05 2002	Bourse Moez Chakroun (2 mois)	11 150			
28 05 2002	Réunion de travail « cerveau »		1000		
05 07 2002	Mission RW à Paris (GDR)			1900	
01 07 02	Petit matériel info (graveur)		2000		
05 09 2002	Mission DB à Vroklaw			6500	
10 09 2002	Mission RW Paris (CHILD)			1900	
12 09 2002	Bourse R. Dupuis (6 mois)	125 000			
01 11 2002	Bourse A Niass (2 mois)	10 500			
22 11 2002	Mission RW Paris (Predit)			1900	
14 11 2002	Réunion Chirwa		600		
05 12 2002	Mission DB Paris (CEE)			1900	
	TOTAL	179 450	11302	14 100	

Total des dépenses au cours de la troisième période : 204 852 FF

Total des dépenses sur les trois ans : 523 390 FF

Le différentiel de 8390 FF sera complété par un financement interne de l'équipe après calcul précis du service comptable.

Il est à noter cependant que la Fondation MAIF versera un dernier montant de 19627.81 € (soit 128 750 FF) après acceptation du rapport final, ce qui équilibrera les comptes et clôturera cette convention.

## 5) Valorisation

### 5.1) Rapports et publications

Trois rapports ont été établis en 2000 :

Le rapport de DEA de S Nicolle (2000)

Le rapport de DEA de M Bensaci (2000)

Le rapport de DEA de Moez Chakroun (2001)

Ces travaux ont donné lieu aux publications et communications suivant :

N. SHEWCHENKO, M. BEUSENBERG D. BAUMGARTNER, R. WILLINGER : Tolerance limits for mild traumatic brain injury derived from numerical head impact replication. . Proceed. of the International Research Council on Biokinetics of Impacts (IRCOBI), Isle of Man, 2001, 353-355.

D. BAUMGARTNER, R. WILLINGER, D. OTTE, U. BOEHNKE : In deep analysis of pedestrian head impacts. Injury analysis, accident reconstruction and numerical head impact simulation. . Proceedings of the International Crashworthiness Conference (ICRASH 2002) Melbourne, 2002.

SCHULLER E, CHINN B, DOYLE D, MAKITUPA S., OTTE D., WILLINGER R. : Prediction of head and neck Injury Severity and tolerance for helmeted motorcycle riders involved in traffic accidents. Proceedings of the International Crashworthiness Conference (ICRASH 2002) Melbourne, 2002.

R. Willinger, D. Baumgartner : Numerical and physical modelling of the human head under impact – Towards new injury criteria. Int. J Vehicle Design, Vol.31, N1/2, 2003, pp 94-115

R. WILLINGER : Numerical and experimental modelling of the human head ;New tolerance limits and injury criteria. Proceed of the Int. Conf. On Closed Head Trauma. 28-29 Jan 2003, Porto Rico, USA.

D. Baumgartner, R. Willinger : New head injury risk curves for specific injury mechanisms derived from numerical real world accidents reconstructions. Accepté dans IRCOBI, Lisbonne, 2003

### Communications

S. NICOLLE, R. WILLINGER : Propriétés rhéologiques de la matière cérébrale. Communication au Congrès Français de Biomécanique, Marseille, septembre 2001.

R. WILLINGER : Finit Element modelling of the human head new head injury criteria to specific injury mechanisms Workshop Eindhoven le 29 avril 2001, sur invitation personnelle

R. WILLINGER : L'homme sous accélération normale, pathologique et extrême. Conférence introductive à la journée Physique et médecine du Congrès Français de Physique, Strasbourg, juillet 2001, sur invitation personnelle

Baumgartner D, Willinger R. Tolerance limits for human brain neurological lesions derived from numerical head impact replication. 13<sup>th</sup> Conf of European Society of Biomechanics, Wroclaw 2002

Deck C., Willinger R., Subke, Wehner HD : Child skull mechanical properties evaluation based on real world accident reconstruction. 27e Congr. de la Société de Biomécanique, Valenciennes, 2002

Lounis M, Nicolle S. Willinger R Bekkour K : Caractérisation et modélisation du tissu cérébral de porc. 27e Congr. de la Société de Biomécanique, Valenciennes, 2002

R. WILLINGER : Human Head modelling at Strasbourg University. Workshop "Head protection", Strasbourg janvier 2002

R. WILLINGER : FE modelling of skull fracture under ballistic environment. Groupe OTAN "Behind Armour Blunt Trauma, Paris, 16 avril 2002 sur invitation personnelle

R. Willinger, D. Baumgartner : Pedestrian head impact simulation. Workshop "pedestrian protection" Cranfield September 2002

R. Willinger : Tolerance limits for human brain neurological lesions derived from finite element head impact simulation. 2<sup>nd</sup> Int Forum of Automotive Traffic Safety, (INFATS 02) Changsha, China dec. 2002

## Actions de vulgarisation

CNRS info février 2000 : « Un mannequin en état de choc »

Le Nouvel Observateur du 10-16 février 2000 : « Tête de mannequin virtuelle »

Pour la Science , mars 2000 : « Une bonne tête »

Rapport d'activité du CNRS 1999 « Un mannequin en état de choc »

Emission Radio « faxo » sur Radio France Alsace : « La biomécanique des chocs », 16 octobre 2000

Ça m'intéresse, « Une tête numérique pour protéger les motards », N°239, janvier 2001

Rundum : émission télévisuelle sur FR3 en « Traumatisme crânien et casque de protection », Février 2001

Cnrs-alsace.com, journal de la délégation Alsace du CNRS : « Qu'y a-t-il dans une tête en état de choc ? », avril 2001

ULP Sciences « Des traumatismes crâniens virtuels » Juin 2001.

Conférence du Jardin des Sciences : Conférence sur invitation, le 21 février 2002

### 5.2) Interactions Locales, Nationales et Internationales

#### 5.2.1) Locales

Equipe Fluide Complexes et Procédés Industriels de l'IMFS  
Institut d'Anatomie du CHU  
Service de Médecine Nucléaire du CHU  
Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS)

#### 5.2.2) Nationales

Holo 3 à St Louis (68)  
MECALOG Paris

#### 5.2.3) Internationales

Universités : Tübingen, Hannovre, Dublin, Sfax

Autres Institutions : Transport Research Laboratory (Londres), Biokinetics (Ottawa)

Projets : PSN, HIPA (refusé), CHILD (accepté) OTAN

### 5.3) Ouvertures vers d'autres recherches

- Casques motocyclistes (Constructeurs, TRL)

Face avant véhicule automobile : capot, pare-brise ... (constructeurs et équipementiers automobiles)

- Intérieur véhicule : sac gonflable, appui-tête ... (constructeurs et équipementiers automobiles)

Casque du combattant (DGA, OTAN)

- Protection de la colonne cervicale (équipementiers automobiles)

- Système tête-cou de l'enfant de 1 et 3 ans (projet européen CHILD)

Fait à Strasbourg, le 28 février 2003

Rémy WILLINGER  
Professeur des Universités