

PROGRAMME PREDIT



BioCASQ

(Casque Optimisé sur Critères Biomécaniques)

Rapport final

Rédacteurs par ordre alphabétique :

N. Bourdet
C. Deck
M. Moutreuil
A. Rojas
V. Tinard
R. Willinger

Date : 21 juin 2009



BIOCASQ

(Casque Optimisé sur Critères Biomécaniques)



Rapport final

1.	INTRODUCTION	4
2.	TACHE 1 : INTERACTION TETE-CASQUE (CEESAR, UDS)	6
2.1.	INTRODUCTION.....	6
2.2.	TACHE 1.1 : CONDITIONS INITIALES DU TRAUMATISME CRANIEN (CEESAR)	6
2.2.1.	ETAT DE L'ART.....	6
2.2.2.	Accidents MAIDS et RIDER.	6
2.2.3.	Accidents BIOCASQ.....	7
2.2.4.	Recueil des données	8
2.2.5.	Méthodologie	11
2.2.6.	Retour d'expérience sur cette mise en place	15
2.2.7.	Améliorations à apporter	16
2.2.8.	Tableau récapitulatif	17
2.2.1.	Reconstruction d'un cas	18
2.3.	TACHE 1.2 : SIMULATION DE L'INTERACTION TETE-CASQUE (UdS)	25
2.3.1.	Introduction	25
2.3.2.	Aspects géométriques et maillage.....	25
2.3.3.	Lois de comportement	25
2.3.4.	Validation du modèle éléments finis du casque	26
2.3.5.	Modélisation de la tête et critères.....	30
2.3.6.	Simulation du couplage tête anatomique-casque de protection	31
2.4.	TACHE 1.3 : SIMULATIONS D'ACCIDENT REELS (UdS , CEESAR)	32
2.4.1.	Introduction	32
2.4.2.	Cas CEESAR FRC06003	33
2.4.3.	Cas CEESAR FRC06015	35
2.4.4.	Cas CEESAR FRC07010	39
2.4.5.	Cas CEESAR FRC07011	43
2.4.6.	Cas CEESAR FRC07012	46
2.4.7.	Cas INRETS 1996014	48
2.4.8.	Cas INRETS 2003034	52
2.4.9.	Cas INRETS 2004039	55
2.5.	CONCLUSION	58
3.	TACHE 2 : MATERIAUX ET STRUCTURE DU CASQUE (UDS, SHARK)	59
3.1.	TACHE 2.1 : CARACTERISATION EXPERIMENTALE (SHARK , UdS)	59
3.1.1.	Introduction	59
3.1.2.	Généralité sur les composites	59
3.1.3.	Rappel mécanique sur les stratifiés.....	60
3.1.4.	Caractérisation expérimentale des propriétés mécanique d'un stratifié.....	61
3.1.5.	Présentation d'un casque composite RSF2I	62
3.1.6.	Les essais expérimentaux	64
3.1.7.	Conclusion	74
3.2.	TACHE 2.1 : MODELISATION DES MATERIAUX ET DES STRUCTURES (UdS , SHARK)	75
3.2.1.	Introduction	75
3.2.2.	Modélisation de la coiffe en polystyrène expansé.....	75
3.2.3.	Modélisation de la coque en composite	76
3.3.	CONCLUSION	76
4.	TACHE 3 : MODELISATION ET OPTIMISATION DU CASQUE (UDS, SHARK)	78

BIOCASQ

(Casque Optimisé sur Critères Biomécaniques)



4.1.	TACHE 3.1 : MODELISATION ET VALIDATION DU CASQUE (UdS, SHARK)	78
4.1.1.	Introduction	78
4.1.2.	Aspects géométriques et maillage.....	78
4.1.3.	Validation du casque	85
4.1.4.	Conclusion	95
4.2.	TACHE 3.2 : OPTIMISATION DU CASQUE ((UdS, SHARK)).....	96
4.2.1.	Introduction	96
4.2.2.	Couplage du casque validé avec le modèle SUFEHM.....	96
4.2.3.	Optimisation du casque vis-à-vis de critères biomécaniques	99
4.2.4.	Essais d'impact sur les casque MetalFoam	111
4.2.5.	Conclusion	112
5.	CONCLUSION.....	113
6.	REFERENCES	115
7.	ANNEXES	116

BIOCASQ

(Casque Optimisé sur Critères Biomécaniques)



Rapport final

1. Introduction

L'objectif de ce projet est d'améliorer la protection au choc de la tête des motocyclistes en utilisant la dernière génération d'outils de prédiction de lésions et en faisant appel aux récentes méthodes de caractérisation et de modélisation des matériaux composites tout en gardant à l'esprit les conditions réelles de traumatismes crâniens des motocyclistes.

Cet ambitieux projet relève de trois activités, à savoir l'accidentologie et la biomécanique des chocs, la mécanique des matériaux composites et le développement de systèmes de protection couplés à des modèles prédictifs de lésions.

Les principales recherches effectuées concernent par conséquent :

- L'analyse des conditions réelles de survenue du traumatisme crânien en termes de cinématique et d'énergie mis en jeux,
- La modélisation de cas particulièrement bien décrits pour une bonne compréhension du couplage tête casque en situation réelle et la mise en lumière des mécanismes de lésions les plus fréquents.
- La détermination expérimentale des propriétés statiques, dynamiques et d'endommagement de nouveaux matériaux composites intervenant dans la réalisation de futurs casques,
- L'élaboration de modèles mathématiques des lois de comportement des matériaux composites et de structures,
- La réalisation d'un modèle éléments finis du casque à partir de la CAO de casques existants, et la validation par rapport à des tests d'impacts normatifs
- L'optimisation des géométries et des propriétés matériaux du casque virtuel par rapport aux critères normatifs en cours puis vis-à-vis de critères plus évolués issus de la biomécanique.

Le présent projet se situe dans le cadre de la protection secondaire du motocycliste et se focalise sur l'amélioration du casque au moyen d'outils de prédiction de lésions et de simulation du comportement mécanique de nouveaux casques.

L'amélioration du casque sera réalisée en trois étapes que nous retrouverons sous la forme de tâches :

Il s'agit d'abord d'approfondir l'analyse des lésions de la tête subies par les motocyclistes en reconstruisant les accidents disponibles au plan de leur cinématique, en poursuivant l'expertise des casques démarrée dans les projets RIDER et PROTEUS et en simulant de façon numérique des impacts de la tête biologique couplée à un modèle de casque donné.

Dans un deuxième temps il faudra à la fois identifier et modéliser les matériaux constitutifs du casque, notamment l'aspect anisotrope et l'endommagement de structures composites complexes.

Finalement différents types de casques seront modélisés à partir de la CAO fournies par le constructeur et des lois de comportement identifiées plus haut. Ces casques virtuels seront ensuite validés en situation de choc normatifs avant d'être couplés au model numérique de la tête biologique en vue d'une optimisation vis-à-vis de critères normatifs et biomécaniques.

Le contenu des différentes tâches du projet a été discuté lors de la réunion de lancement du 10 avril 2006 à Marseille. Le projet a débuté officiellement le 22 décembre 2005 pour une durée de 36 mois. Pour plusieurs raisons dont le délai entre le commencement effectif du projet et les règlements administratifs, la difficulté de collecter et de transférer des cas d'accidents et le choix des essais expérimentaux, nous ont amenés à avoir un retard sur le projet de six mois. Une demande officielle de prolongement du projet pour une durée de six mois a été acceptée le 7 octobre 2008. C'est pourquoi la fin du projet est maintenant datée pour le 22 juin 2009. Le planning détaillé est rappelé en annexe avec les modifications citées avant.

Nous voudrions également remercier les acteurs du projet PROMOTO pour leur collaboration, à savoir le transfert de 10 cas d'accident de la base de données EDA de l'INRETS MA (Salon de Provence) et d'un modèle de moto sous le logiciel Madymo de l'INRETS LBA (Marseille).

2. Tâche 1 : Interaction Tête-Casque (**CEESAR**, UdS)

2.1. Introduction

L'objectif de cette tâche est de collecter des cas d'accidents impliquant un deux roues motorisé (2RM) et dont le pilote et/ou le passager, casqués auraient eu au moins une lésion à la tête. Par 2RM, il est convenu de regrouper l'ensemble des engins à moteur sur deux roues ; cyclomoteurs à variateur, cyclomoteurs à boîte mécanique, scooters (de moins de 50 cm³ à ceux de plus de 125 cm³), motocyclettes de plus de 50 cm³. Les vélos sont exclus de cette étude.

Afin de bien cerner la problématique de l'interaction tête / casque, une analyse comparative est menée en parallèle. Il s'agit de collecter, analyser et reconstruire deux cas de motards (conducteur de 2RM) ne portant pas de casque lors de l'accident et ayant eu, au moins, une blessure à la tête. Il sera aussi traité le cas d'un piéton victime d'un accident de la voie publique contre une voiture. Ces informations vont permettre la compréhension du mécanisme lésionnel sans qu'il y ait interaction du casque sur la prévention des blessures.

2.2. Tâche 1.1 : Conditions initiales du traumatisme crânien (**CEESAR**)

2.2.1. ETAT DE L'ART

Le CEESAR (Centre Européen d'Etudes et d'Analyse des Risques) à partir de l'expérience acquise lors du projet européen MAIDS (Motorcycle Accident In-Depth Study), ainsi que lors du projet RIDER (Recherche sur les accident Impliquant un DEux Roues motorisé) entend apporter son expertise sur le recueil et la reconstruction des cas spécifiques à cette étude. Les bases de données MAIDS et RIDER sont tout d'abord utilisées, puis le recueil de cas spécifiques est réalisé alimentant une base de données. Cette base est composée d'accidents de 2RM (toutes cylindrées et tous types) en collaboration avec l'hôpital du Kremlin Bicêtre. Cette nouvelle collecte vient en supplément des cas préalablement extraits des bases du CEESAR.

2.2.2. Accidents MAIDS et RIDER.

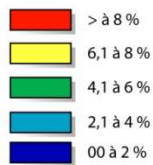
Dans un premier temps une extraction de cas (des bases MAIDS et RIDER) est effectuée. Les accidents, spécifiques BIOCASQ sont ensuite collectés, stockés et analysés. En tenant compte des critères spécifiques de l'étude ; traumatologie de la tête, type de casque, caractérisation de la zone impactée.

La figure 2-1 permet de mieux visualiser les zones de dommages (impacts) occasionnés au casque lors de l'accident (données extraites du rapport RIDER, thématique Casque).

Sur cette figure les points d'homologation (réglementation européenne : le Règlement n°22, Amendement 04, ou Amendement 05) sont matérialisés par une lettre noire dans un cercle bleu.

RIDER - 732 impacts

% de fois ou la zone du casque a été impactée (tout types de chocs)



Les points matérialisés dans un cercle bleu associés à une flèche représentent les points d'homologation.

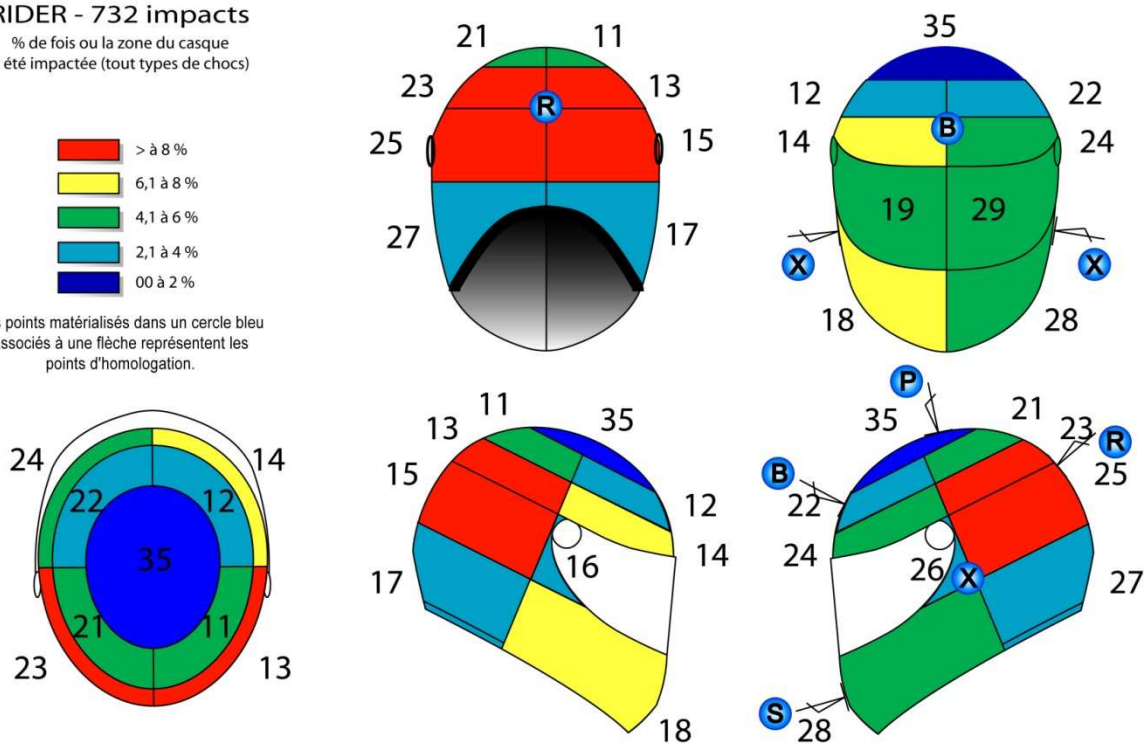


Figure 2-1. Zones d'impacts sur le casque (recensement RIDER)

2.2.3. Accidents BIOCASQ.

Chaque nouvel accident est étudié et analysé afin de ne conserver que les cas possédant les données pertinentes qui présentent l'une ou l'autre des particularités suivantes :

- Au niveau du bilan lésionnel :
 - o Les cas non lésionnels, au niveau de la tête, ne seront analysés que dans une certaine proportion (pas plus de deux) et suivant leur particularité (sans casque – casque éjecté avant le premier impact).
 - o Les lésions cervicales seront à documenter avec précision (bilan médical)
 - o Au niveau du traumatisme crânien, le scanner ou l'IRM est souhaité mais non indispensable. Un rapport d'hôpital décrivant les lésions avec précision peut être suffisant.
- Au niveau de l'analyse de l'accident :
 - o Une distance entre le point de choc et le point d'arrêt la plus courte (trajectoire courte) et privilégier les impacts simples pour limiter les erreurs au niveau du calcul de la cinématique du pilote ou du passager.
 - o Lors de la lecture du PV (procès verbal) les plans doivent être détaillés et les traces relevées, si elles existent, pour permettre la reconstruction.
 - o Possibilité de garder le casque pour analyse par SHARK.
 - o Caractérisation de la structure impactée.

Le fait de pouvoir se rendre sur le lieu de l'accident permet de quantifier et de renseigner exactement le dernier point, et donc d'avoir une meilleure compréhension de l'infrastructure, de l'environnement dans lequel a eu lieu l'accident.

L'étude des premiers cas n'a pas été concluante au niveau de la simulation, le pilote (ou le passager) impactant parfois plusieurs zones : pare brise, sol, poteau. Les déformations occasionnées au casque ne pouvant donc pas être datées dans ces conditions.

C'est pour cela que l'ensemble des cas a été réétudié afin de ne conserver que les accidents où le pilote (ou le passager) ne percute qu'une fois une zone définie. Les cas avec impacts multiples ne seront pas, pour l'instant, reconstruits.

Lors de la relecture des cas, un problème lié à l'anonymisation des dossiers a été soulevé. Cette tâche s'est avérée plus complexe que prévu en raison du nombre important de clichés et du logiciel de traitement des images issues de la radiologie.

Cette anonymisation est extrêmement difficile à gérer de part le nombre de codes attribués à chaque patient lors de son hospitalisation. C'est le médecin délégué du CEESAR qui prend en charge cette anonymisation. Il supprime toute information pouvant relier un patient à cette étude :

- Identification en clair du patient
- code d'admission
- code barres (suivi du patient)
- numéro de sécurité sociale
- code du service
- numéro de passage au scanner ou à la radio (ainsi que l'heure)

2.2.4. Recueil des données

Le recueil des données, pour un cas, est constitué :

- du bilan médical,
- de l'imagerie (scanner ou/et radio),
- d'une analyse des lieux (zone impactée et géométrie),
- des véhicules,
- du casque (zone touchée) et
- d'une reconstruction.

Chaque cas est ensuite documenté avec une synthèse et un descriptif de l'accident.

Plusieurs réunions ont été nécessaires afin de mettre en place et de valider un protocole entre le médecin délégué du CEESAR et le service de réanimation de l'hôpital du Kremlin Bicêtre (docteur VIGUET).

Il a été décidé que le secrétariat du service avertirait le médecin du CEESAR de tout nouveau cas. Afin de simplifier cette tâche, le secrétariat du service de réanimation préviendra le médecin délégué du CEESAR par mail, dès qu'un cas se présentera.

A charge au médecin du CEESAR de se déplacer rapidement pour recueillir sur place les informations nécessaires et de traiter par la suite les données médicales (anonymisation)

2.2.4.1. Bilan

Il s'agit d'identifier, grâce à la collaboration entre le CEESAR et l'Hôpital du Kremlin Bicêtre, les différents cas d'accidents impliquant un deux roues motorisé dont le pilote ou le passager aurait subi un traumatisme crânien. Les causes de l'accident peuvent être multiples. En effet, le pilote peut être seul en cause, avoir percuté un autre 2RM ou être entré en collision avec un autre véhicule. Pour chaque cas, c'est le traumatisme crânien ou cervical qui permet de définir la pertinence du dossier.

L'Hôpital du Kremlin Bicêtre (service de traumatologie) est l'un des principaux centres hospitaliers où arrivent les traumatisés crâniens de la région parisienne.

L'expérience, acquise au cours des projets « PROTEUS » et « RIDER », permet de statuer sur la pertinence d'un cas.

Chaque bilan décrit les différentes lésions occasionnées au motard lors de l'accident ainsi que leurs localisations. Concernant les imageries (scanner et/ou radio) deux alternatives sont possibles :

- soit le dossier ne comprend que des plaques radio et dans ce cas l'unique moyen de duplication est la photo, réalisée par le médecin délégué du CEESAR. Les clichés sont placés sur le négatoscope pour être photographiés. Chaque cliché est photographié de la façon suivante ; une vue générale puis autant de photos que de clichés.
- Soit il existe un CD rom, des images, qui est alors dupliqué et envoyé au médecin délégué.

Dans le premier cas, chaque photo doit être reprise pour effacer les données inscrites sur l'image (figure 2-2).

Dans le deuxième cas, l'opération est plus délicate. En effet, un CD peut contenir plus de 1400 clichés. Chaque cliché doit être extrait puis anonymisé, en supprimant toute relation à un patient (figure 2-3).

Ces opérations ont été plus longues que prévu.

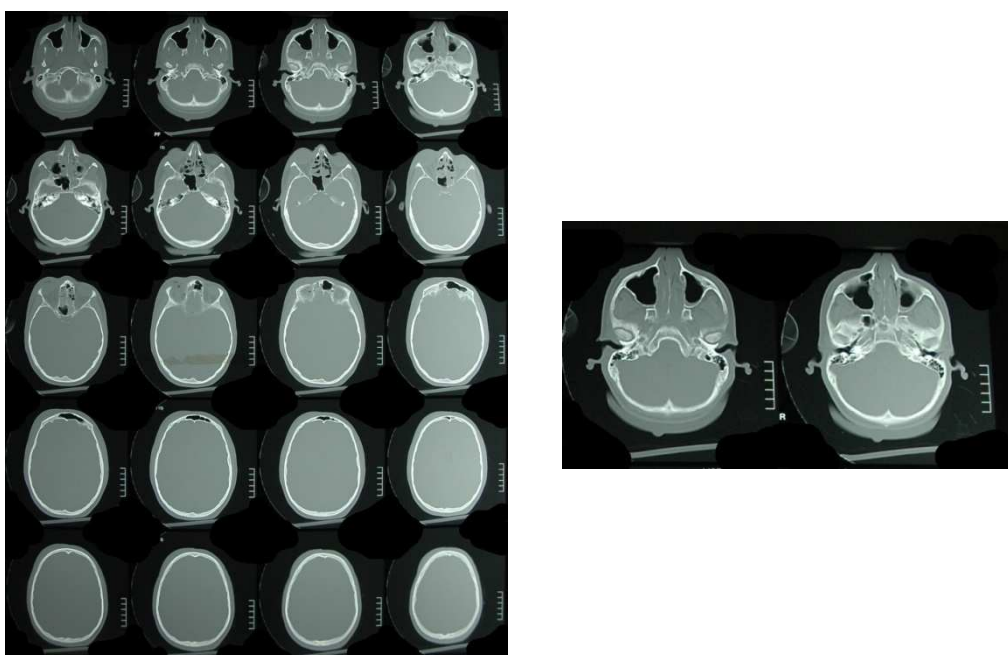


Figure 2-2. Exemple d'images anonymisées.

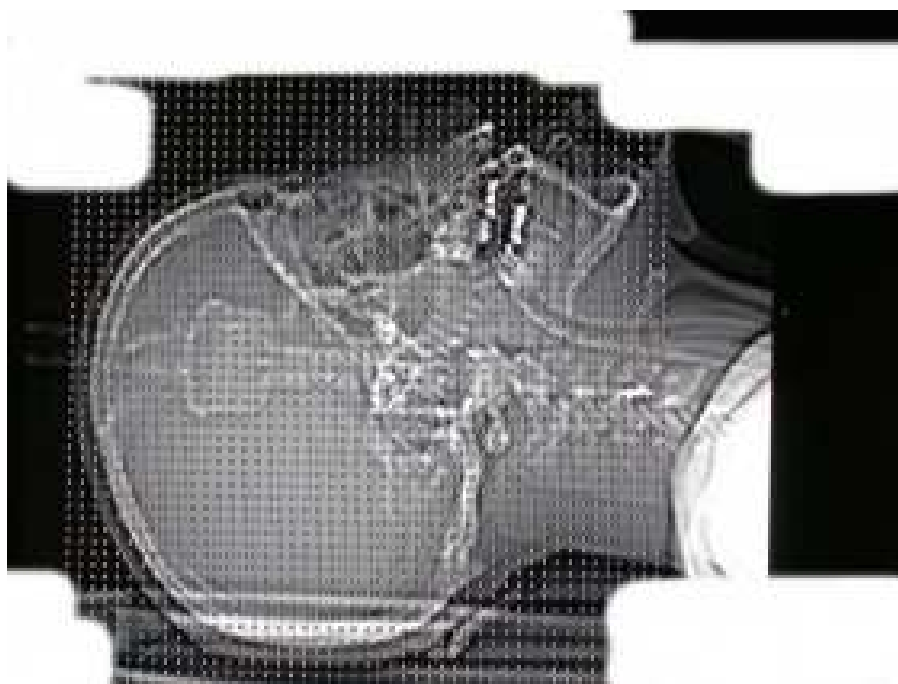


Figure 2-3. Autre exemple d'anonymisation des images

2.2.4.2. Territoire d'étude

Les personnes accidentées arrivant à l'Hôpital du Kremlin Bicêtre (région sud de Paris) viennent de toute la région parisienne (soit plus de 8 départements). Cela représente des distances et des temps de trajets importants pour se rendre sur les lieux de l'accident.

Il arrive fréquemment que des accidentés arrivent de plus loin encore, comme du département de la Somme ou de l'Yonne. C'est pour ces raisons que certains accidents ne pourront être traités, les distances entre le lieu de l'accident et le CEESAR étant trop importantes. Le laps de temps avant de recueillir l'ensemble des autorisations (accord des forces de l'ordre et de la préfecture de la région) fait que l'intervention sur les lieux et/ou dans les fourrières ne permet plus la collecte d'informations pertinentes. De nombreuses traces auront disparu et les véhicules peuvent ne plus être disponibles.

2.2.4.3. Recueil sur le terrain

Pour chaque cas, le secrétariat de l'Hôpital du Kremlin Bicêtre contacte le médecin délégué du CEESAR. Le médecin à son tour informe l'accidentologiste qui se renseigne auprès des forces de l'ordre, afin d'obtenir les circonstances et le lieu exact de l'accident, et de remisage des véhicules. L'accidentologiste se déplace ensuite sur les lieux. Après lecture du PV, chaque cas est ensuite documenté :

- Circonstances de l'accident (en quelques phrases)
- Synthèse de l'accident (sous forme de tableau avec caractéristiques des véhicules)
- Plan des lieux
- Expertise des véhicules
- Expertise du casque (soit de visu, soit sur photos)
- Reconstruction puis simulation informatique

2.2.5. Méthodologie

2.2.5.1. Le dispositif d'alerte

Le dispositif d'alerte mis en place, en collaboration avec l'hôpital du Kremlin Bicêtre, fonctionne par e-mail. Lors de l'admission d'un patient dont la traumatologie et les caractéristiques de l'accident correspondent à nos critères (accident corporel de la circulation impliquant un deux roues motorisé - lésions au niveau de la tête et du rachis cervical) un e-mail est adressé directement au médecin du CEESAR. Celui-ci prend rendez vous avec le service de traumatologie de l'hôpital du Kremlin Bicêtre afin de consulter le dossier et de prendre note des différents éléments nécessaires à l'accidentologiste.

2.2.5.2. Objectif

L'objectif fixé pour le CEESAR était de collecter +/- 30 cas d'accidents corporels (traumatisme crânien et du rachis) impliquant un deux roues motorisés (casqué et non casqué). Cette nouvelle étude va s'appuyer sur la méthodologie mise en place pour les programmes précédentes (MAIDS¹ et RIDER²). La méthodologie sera simplement adaptée pour tenir compte du nouveau moyen d'alerte et de ce que cela va engendrer au niveau de la collecte des informations.

Approche devant tenir compte des nouveaux facteurs de cette étude ;

- C'est le bilan médical qui conditionne l'ensemble des investigations,
- La localisation de l'accident n'est connue que lorsque l'accident est validé (traumatologie),
- La collecte des informations liées à l'accident (infrastructure, véhicules, usagers) sera plus difficile (peu d'informations sur la fiche d'admission),
- Le choc doit être bien documenté (il doit s'agir d'un choc simple sans impact multiple),
- La reconstruction (informatique sous PC-Crash) devra faire appel au module MADYMO³ pour le pilote et le deux roues.

2.2.5.3. Collecte des données médicales

La collecte des données médicales - dans le cadre des accidents de la route - est une opération qui s'est considérablement compliquée, en particulier depuis les lois bioéthiques de 1994. En effet, selon les textes de loi (Lois 78-17, 94-548, et 2002-303), les données médicales ne sont accessibles qu'avec l'autorisation expresse des patients, ou de leurs ayants-droits dans le cas de personnes mineures ou inconscientes. La collecte directe de bilans médicaux nominatifs dans les hôpitaux est une démarche illégale.

C'est lors de cette collecte que le médecin déterminera la viabilité de l'accident. En fonction des critères élaborés lors de la mise en place du projet (atteinte du rachis cervical, perte de connaissance, traumatisme crânien et tout traumatisme de la tête), le médecin statuera sur la pertinence du cas.

Afin de rester dans le cadre réglementaire et comme décrit dans le chapitre suivant (II-2 Collecte des données d'accidents), deux méthodes de collecte ont été menées en parallèle afin de recueillir un plus grand nombre d'accident impliquant un deux roues motorisées : « Alerte » venant directement de l'hôpital ou « Alerte » venant des antennes du CEESAR.

L'alerte émanant directement de l'hôpital du Kremlin Bicêtre :

- Une fois le mail reçu (simple avis de réception d'un patient correspondant à nos critères). Le médecin se rend sur place afin de recueillir les informations ;

¹ MAIDS : Motorcycle Accidents In Depth Study

² RIDER : Recherche sur les accidents **Impliquant un Deux-Roues** motorisé.

³ MADYMO : Mathematical Dynamic Models (logiciel combinant multibody et éléments finis) associé à PC-Crash

localisation de la blessure (ou des blessures), type, radios, scanners. Cette partie de l'étude qui consiste à recueillir le bilan lésionnel de l'impliqué incombe au médecin du CEESAR.

- L'information de lieu et localisation est ensuite transmise à l'accidentologiste qui prend en charge la suite du recueil.

L'alerte émanant des antennes de sécurité primaire (Bondoufle - 91) et secondaire (Yvelines - 78) du CEESAR :

- Cette partie est renseignée par les accidentologues terrain du CEESAR (zone des Yvelines et de l'Essonne). Il s'agit pour eux de prévenir le médecin et l'accidentologiste travaillant sur le projet « BIOCAS » lorsqu'un accident impliquant un deux roues motorisés survient dans leur zone.
- A charge ensuite à l'équipe « BIOCASQ » de faire les démarches nécessaires afin de renseigner le cas.

Vérification que les spécificités du cas entrent bien dans les critères du projet « BIOCASQ »

La première méthode permet de connaître très rapidement le bilan et détermine la validité du cas. Par contre, le cas sera plus long à documenter, la recherche du lieu de l'accident et la recherche du PV seront plus difficiles. Ces informations ne sont pas toujours explicites sur la feuille d'acheminement du patient. Les patients admis à l'hôpital du Kremlin Bicêtre peuvent venir de la région parisienne (Paris et petite couronne) comme de la proche banlieue ou de province.

La seconde méthode est plus proche de la méthodologie développée dans MAIDS et RIDER. C'est-à-dire alerte donnée par les forces de l'ordre. Ce qui implique une parfaite connaissance du lieu de l'accident, des véhicules, des usagers, du PV, l'arrivée sur place est rapide et les traces sont encore visibles. Mais les lésions tête ne sont connues et renseignées que plus tard. Si le bilan ne correspond pas, le cas est écarté, malgré tout le travail effectué en amont.

En conclusion, c'est la première solution qui a été privilégiée en raison de la collaboration active entre le service de traumatologie de l'hôpital du Kremlin Bicêtre et le médecin du CEESAR.

Bilan descriptif complet des lésions,

Scanner ou radio,

2.2.5.4. Collecte des données d'accidents.

Une fois le bilan validé reste à localiser l'accident. Pour bien comprendre cette problématique, il est nécessaire de faire un rappel aux études précédentes. Lors des EDA réalisées pour MAIDS et RIDER, la localisation de l'accident était liée aux forces de l'ordre émettrices du fax d'alerte. Un fax provenant d'Arpajon (par exemple) situait automatiquement l'accident dans la région d'intervention de la gendarmerie ou de la police d'Arpajon. Une fois en relation avec les forces de l'ordre, l'ensemble des informations, contenues dans le PV⁴, nous était communiquée :

- Numéro de PV
- Localisation de l'accident (commune, rue, chemin ...)
- Véhicules impliqués
- Lieu d'hospitalisation (blessures)
- Lieu de remisage des véhicules.

Ce qui représentait un gain de temps très important, au regard de la volatilité de certaines traces (freinage, grattage et ripage).

⁴ PV : Procès Verbal

Alors que dans le cas de l'étude BIOCASQ, l'alerte provenant directement de l'hôpital, il nous est impossible de connaître le lieu de l'accident. Il était donc impératif de pouvoir consulter les feuilles d'admission et d'intervention. Seule, ces feuilles donnaient une idée de la localisation de l'accident. Localisation imprécise et qui ne tient pas compte (aucune référence n'est portée sur la feuille d'intervention) de la commune de prise en charge du blessé. La difficulté consistait alors à cibler les services d'urgence étant intervenus lors de cet accident et de remonter graduellement jusqu'au service (police ou gendarmerie) étant intervenu. La collecte de l'ensemble des informations concernant cet accident peut alors commencer.

La collecte des données de l'accident consiste à recueillir les éléments indispensables à la compréhension et à la reconstruction de l'accident. La géométrie des lieux, l'environnement, les traces (grattage, ripage et freinage), le type de machine (2RM et autre véhicule), les zones d'impact, l'équipement (le casque), l'expérience du pilote sont autant d'informations qui doivent être recueillis sur place et le plus rapidement possible. La collecte, mise en place par le CEESAR au niveau des cas spécifiques du projet BIOCASQ, est l'aboutissement de l'expérience acquise en EDA⁵ lors des projets MAIDS et RIDER⁶. Cependant, compte tenu de l'étendue du territoire des admissions (Ensemble de la région parisienne et plus parfois) et la localisation de l'équipe sur Nanterre (Département des Hauts de Seine 92), il était impossible d'intervenir rapidement sur les accidents pour des raisons évidentes de sécurité.

Le léger différé avec lequel les informations sont recueillies ajouté à la difficulté de localiser parfaitement l'accident font que certains accidents n'ont pu être traité ni reconstruit.

C'est pour ces raisons que les équipes de sécurité primaire (antenne de Bondoufle) et secondaire (Yvelines) ont été sollicité. Ces équipes nous transféraient les informations pertinentes lors de toute implication dans un accident, dans leur zone, d'un deux roues motorisés.

Cette modification a été décidée après une période de réflexion pendant lesquelles les avantages et les inconvénients liés au délai d'intervention ont été abordés dont principalement la conséquence sur la qualité des dossiers ainsi constitués.

En résumé, la plupart des avantages sont d'ordres organisationnels :

- Pas de nécessité d'être localisé dans le département ;
- Pas de nécessité d'avoir recours aux astreintes pour avoir une bonne répartition des accidents suivant le jour de semaine et suivant l'heure de la journée ;

Et les inconvénients de type technique :

- Recueil non effectué par nos soins, nécessité de faire confiance aux relevées des forces de l'ordre ;
- Disparition des traces sur l'infrastructure (si le délai est trop important) ;
- Alerte non effectuée par l'hôpital, risque que la traumatologie ne corresponde pas à ce que nous recherchons ;
- Pas de collaboration avec les forces de l'ordre (territoire trop étendu)

⁵ EDA : Etudes Détaillées d'Accidents

⁶ MAIDS et RIDER : EDA impliquant des deux roues motorisés.

Compte tenu de notre mode de fonctionnement avec un système d'alerte qui engendre une collecte des données d'accidents en léger différé, la méthodologie mise en place était la suivante :

Recueil en différé (1 à 2 jours). Collecter toutes les données nécessaires à l'identification des circonstances et à la reconstruction cinématique et comportementales. Compléter et approfondir les données à durée de vie moins brève :

- Collecte des données médicales (médecin)
- Entretiens avec les témoins et les différents impliqués.
- Recherche du lieu
- Examen de l'infrastructure.
- Analyse des véhicules là où ils sont remisés (photos du véhicule, prise de côtes, etc.). Collecte et analyse du casque. Compléter le dossier par des éléments utiles à la reconstruction (Connaissance du P.V. d'accident).

L'accidentologue chargé de cette étude traitait cet accident dans sa totalité, c'est à dire qu'il réalisait le recueil des informations aussi bien sur l'infrastructure que sur les véhicules impliqués, l'environnement, les usagers et les témoins éventuels. A charge du médecin de compléter et traiter la partie médicale du dossier.

Chaque notification faisait l'objet d'une pré enquête afin de pouvoir s'assurer de l'aboutissement du dossier. En effet, chacun des accidents collectés pour le projet devait répondre à des critères stricts de sélection : véracité des informations collectées, avoir des données médicales assez détaillées, pouvoir réaliser une reconstruction cinématique et donc l'estimation des vitesses de chaque impliqué, zone d'impact simple et identifiable, pouvoir en déduire le scénario le plus probable de ce qui a pu se passer, pouvoir mettre en relation les blessures avec les différents obstacles rencontrés, collecter le casque (ou les casques) et enfin d'avoir assez d'éléments pour un taux de complétude optimal du dossier une fois celui-ci codé et entré dans la base de données.

Tous ces critères mis bout à bout nous ont donc permis d'étudier 34 dossiers.

Toutes les informations relatives aux accidents sont stockées au CEESAR dans un local fermé.

Toutes les données collectées sont rassemblées dans un dossier relatif à l'accident et sont confidentielles.

Les bilans médicaux obtenus ne sont accessibles qu'au seul médecin associé à cette étude, qui a de plus en charge au CEESAR, de veiller au strict respect des lois d'éthiques.

Une grande partie des données recueillies est codée puis saisie dans une base de données informatique rendue complètement anonyme : aucune information nominative n'est accessible aux autres personnes du CEESAR (c'est à dire ne faisant pas partie de l'étude) à travers cette base de données.

La base de données n'est pas directement accessible, il faut en effet passer par un logiciel spécifique dédié à la saisie. Ce logiciel, outre sa fonction de saisie possède des protections qui rendent inaccessible la base de données.

2.2.5.5. Les Partenaires

La description brève de la méthode d'enquête montre qu'une grande partie de l'information doit être recueillie soit avec l'autorisation et/ou l'assistance de partenaires sur le terrain, soit à partir de documents qu'ils constituent.

Dans cette étude nos partenaires sont :

- **Le Parquet Général** : l'accès aux procès-verbaux d'accident étant d'une part un aspect essentiel pour ce type d'études et d'autre part une pièce judiciaire, le CEESAR a obtenu du Procureur de la République l'autorisation de les consulter

dans les commissariats, les brigades et éventuellement d'en copier des extraits. Chaque cas faisant l'objet d'une demande particulière soumise au bon vouloir du magistrat instruisant l'affaire.

- **Les Pompiers** : les enquêtes étant réalisées en temps différé, certaines informations pertinentes ne peuvent être relevées par les accidentologues.
- **Les Services hospitaliers (autre que le Kremlin Bicêtre)** : les victimes étant dirigées vers des hôpitaux, il est nécessaire pour les besoins de l'étude de réaliser des entretiens avec les impliqués. Pour cela une autorisation des services hospitaliers a été donnée au médecin du CEESAR.
- **Les forces de l'ordre** : Bien que le territoire d'étude soit plus vaste que pour les études précédentes, les forces de l'ordre ont toujours été coopératives.

2.2.5.6. Mise en place de l'équipe

Deux personnes du CEESAR ont été impliquées dans le recueil :

- 1 médecin assurant d'une part la collecte des données médicales, l'analyse et la codification des blessures grâce à ses connaissances médicales et biomécanique et d'autre part veillant à la confidentialité des données traitées.
- 1 accidentologue spécialisé dans le recueil des données, orientés motocycles, spécialiste de la reconstruction permettant d'élaborer à partir des données recueillies (environnement, véhicules, conducteurs, médicales) et de l'analyse du cas, le scénario le plus probable du déroulement de l'accident depuis la situation de rupture jusqu'à la position finale des impliqués. Cette reconstruction cinématique et comportementale de l'accident permet entre autre l'estimation des vitesses de chaque impliqués au cours du temps et notamment au point d'impact.

Cette équipe créée pour les besoins du projet est opérationnelle et a acquis une compétence unique en France dans le domaine de l'accidentologie du deux roues motorisés.

2.2.6. Retour d'expérience sur cette mise en place

2.2.6.1. Retour Kremlin Bicêtre

Le système mis en place entre le médecin délégué du CEESAR et le secrétariat de l'hôpital fonctionne à merveille. Le bilan et l'imagerie médicale sont, pour chaque cas, correctement documentés.

2.2.6.2. Retour sur le bilan et l'imagerie

Les bilans sont rendus anonymes sans aucun problème. En revanche, les images doivent être traitées dès notre retour au CEESAR afin d'effacer les paramètres pouvant relier l'image à une personne.

C'est un travail important car pour un cliché de radio nous réalisons environ 15 photos – une photo générale du cliché et autant de photos que d'images sur le cliché.

2.2.6.3. Retour sur la localisation de l'accident

L'autre difficulté rencontrée est la localisation de l'accident et donc quel est le bon service d'ordre auquel s'adresser pour consulter le PV. Le patient est généralement amené directement soit par les pompiers, soit par le SAMU (SMUR). Dans les deux cas, la feuille de soin ne mentionne pas la localisation exacte de l'accident, ni la commune. Elle ne mentionne que le service d'urgence qui est intervenu.

Sur ces feuilles, la localité est souvent notée par des initiales (par exemple PC correspond à Pontault Combault). La difficulté de l'accidentologue va être d'interpréter ces initiales puis de localiser la commune. La localisation exacte se fait par cercles concentriques autour du lieu de l'accident. Une fois trouvée la bonne commune, il ne reste

plus qu'à trouver les coordonnées du bon interlocuteur (soit la Gendarmerie soit la Police) qui a traité cet AVP (Accident de la Voie Publique).

Il est évident que cette recherche est beaucoup plus longue que dans les cas des EDA traitées dans « RIDER ». Le contact était direct entre les forces de l'ordre et les accidentologues, ce qui permettait d'intervenir très rapidement.

2.2.6.4. Zones de recouvrement

Le CEESAR dispose d'une antenne accidentologique dans l'Essonne et d'accidentologues travaillant sur zone dans le département des Yvelines. Afin de rendre le système plus souple, nous avons donc mis en veille l'antenne de Bondoufle dans le département du 91 (Essonne), ainsi que l'entité Accidentologie Secondaire travaillant dans le département des Yvelines (78).

Cette démarche nous permet de recueillir plus rapidement les informations issues du terrain (police – gendarmerie) ainsi que de connaître le lieu de remisage des véhicules.

2.2.6.5. Le casque

C'est l'élément le plus important après le bilan, mais c'est aussi le plus malaisé à récupérer.

Lors d'un accident nécessitant le transport du blessé à l'hôpital du Kremlin Bicêtre, le casque n'est en aucun cas une priorité pour les services médicalisés intervenant sur place. De ce fait, il est souvent impossible de retracer le chemin du casque. Heureusement, bien souvent des photos sont prises lors des constatations (Police – Gendarmerie). Ces photos ne sont pas toujours de bonne qualité mais elles permettent de se faire une idée sur le casque (type, et parfois dommages).

2.2.6.6. Expertise du casque

Chaque casque recueilli est envoyé pour expertise auprès de la société SHARK. L'analyse est effectuée sans avoir connaissance des circonstances de l'accident. Nous comparons ensuite les résultats issus du terrain et ceux de la société SHARK. Les deux analyses ont toujours donné des résultats similaires.

2.2.6.7. La reconstruction

Chaque cas est soumis ensuite à tous les partenaires pour validation. Certains cas sont ensuite reconstruits. Le logiciel pour la reconstruction est PC Crash (Madymo pour le pilote).

Certaines reconstructions n'ont pas été significatives, car les cas traités étaient tous des accidents à multiples zones d'impacts.

Suite à ces différents contre temps, la procédure mise en place pour la validation de la reconstruction tient compte du type de choc et de son orientation : Choc simple (en opposition aux chocs multiples qui peuvent être subis par un motard tapant le pare brise de la voiture puis un poteau et s'arrêtant contre un mur). Il ne sera tenu compte que des chocs simples parfaitement identifiables (un seul impact tête (casque) identifié).

2.2.7. Améliorations à apporter

Sur l'ensemble des points ci-dessus, certaines améliorations ou approches pourraient être apportées ou modifiées dans le cas où une autre étude serait envisagée.

La localisation de l'accident nécessiterait une approche différente. Il serait souhaitable de créer une synergie entre l'hôpital et les centres d'urgence afin de bien identifier le lieu de prise en charge de l'accidenté. Cette simple information permettrait de gagner plusieurs jours de recherche.

Le casque est la pièce centrale de cette étude, mais malheureusement, il est aussi le plus malaisé à localiser après la prise en charge du ou des blessés. Une fois retiré de la tête du

conducteur du 2RM, il est particulièrement difficile de le retrouver ; épaviste, forces de l'ordre, pompiers, parents de la victime sont autant de personnes potentiellement susceptibles de le détenir. Une information ou un retour d'expérience auprès des experts 2RM et des forces de l'ordre pourrait faciliter ce recueil.

2.2.8. Tableau récapitulatif

La Figure 2-4 représente les différents pictogrammes qui synthétisent la configuration d'accident. Ils sont classés par famille :

- Avec le préfixe 1 (comme 101, 104 ou 110), il s'agit de collision entre véhicules,
- Avec le préfixe 2 (comme 201, 204 ou 215), il s'agit de collision lors d'un dépassement,
- Avec le préfixe 3, il s'agit d'accident en intersection,
- Avec le préfixe 6, il s'agit d'accidents avec perte de contrôle et impact,
- Avec le préfixe 7, il s'agit de cas spécifiques.

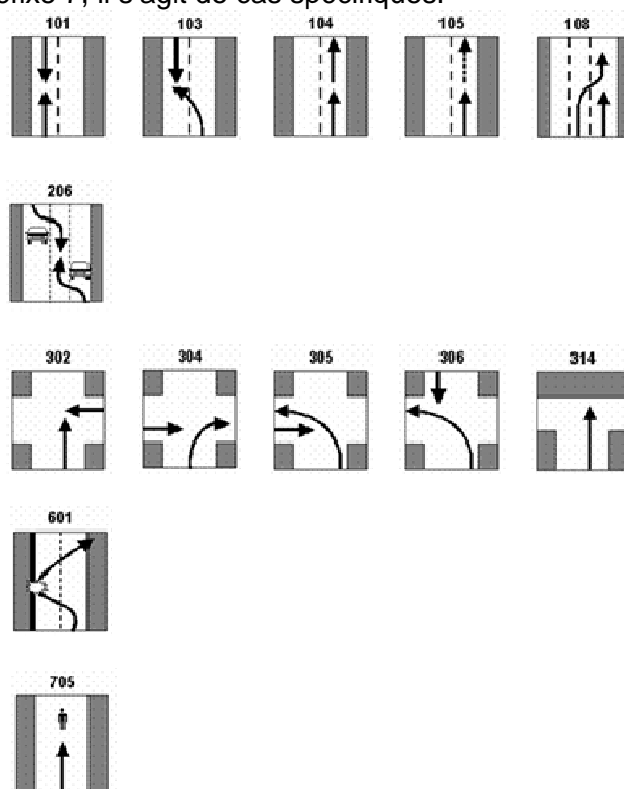


Figure 2-4. Pictogramme

Le tableau 2-1 est le récapitulatif des cas traités spécifiquement pour BioCASQ auprès de l'hôpital du Kremlin Bicêtre.

	Picto	Piéton	MC	Obstacle		Casqué
				OV	autre	
FRC03020	304		Moto	VL		Oui
FRC05001P	705	oui		VL		Non
FRC06003	101		Moto	VL		Oui
FRC06015	314		Moto		muret	Oui
FRC06022	105		Scooter		Sol	Oui
FRC06023	306		Cyclomoteur	VL		Oui - non attaché
FRC07010	305		Moto	VL		Oui
FRC07011	305		Moto	VL 4x4		Oui
FRC07012	105		Moto	Monospace		Oui
FRC07013	105		Moto	Monospace		Oui
FRC07014	206		Scooter	Scooter		Oui
FRC07021	108		Cyclo vitesses		trottoir	Oui
FRC07028	601		Moto		muret	Oui
FRC07030	304		Scooter	VL		Oui
FRC07035	302		Moto	VL		Oui
FRC07037	302		Moto	VL		Oui
FRC07040	601		Moto		rail	Oui
FRC07041	105		Scooter	VL		Oui
FRC07049	202		Scooter		sol (OV en stationnement)	Oui
FRC07049	304		Scooter		Trottoir	Oui
FRC07054	304		Scooter		VL en stationnement	Oui
FRC07056	302		Moto	VL		Oui
FRC07056	302		Moto	VL		Oui
FRC07059	103		Moto		Mur	Oui
FRC07062	103		Scooter	VL		Oui
FRC07062	103		Scooter	VL		Oui
FRC07065	104		Scooter		Sol	
FRC07069	304		Moto	VL		Oui
FRC07100	306		Moto	VL		Oui

Tableau 2-1. Tableau récapitulatif

2.2.1. Reconstruction d'un cas

Le référentiel servant dans la reconstruction de PC-Crash n'est pas le même que celui utilisé par MADYMO pour le pilote du deux roues. En effet, les axes longitudinal, transversal et vertical (X, Y et Z) servant de repère pour un positionnement dans l'espace des véhicules ne correspondent pas à celui du mannequin (positionnement MADYMO).

Sur la figure 2-5, les axes matérialisés en rouge sont bien ceux du repère de la voiture qui est le premier objet que l'on place lors de la reconstruction sous PC-Crash. Le calcul de la trajectoire du mannequin n'intervient qu'ensuite. Les courbes issues de la simulation via MADYMO restent dans le référentiel mannequin et non dans celui de la collision, les deux repères étant indépendants l'un de l'autre.

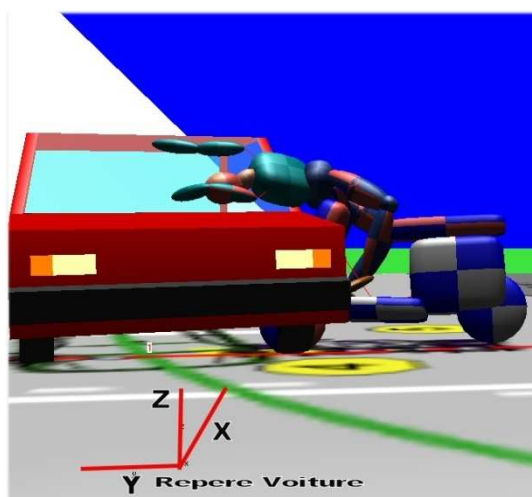


Figure 2-5. Repères de la reconstruction (comparaison PC Chrash / Madymo)

Les courbes transférées sont donc uniquement liées au référentiel mannequin (MADYMO) :

- le X étant la mesure dans l'axe longitudinal du mannequin,
- le Y étant la mesure dans l'axe latéral et
- le Z la mesure dans l'axe vertical.

Il ne faut pas tenir compte du repère de l'animation.

Cette différence de repère s'explique par le fait que le logiciel « PC Crash » est avant tout un outil de reconstruction VL et PL. L'adjonction du module « MADYMO », dans les simulations, n'entraîne aucune modification des repères VL ou PL, par contre « MADYMO » gère son propre repère. Donc, en conclusion, les courbes transférées sont dans le repère mannequin (tête).

Les conditions initiales de la reconstruction sont celles que l'on retrouve sur le plan associé à la fiche descriptive de l'accident. Par exemple sur la figure 2-7, l'ensemble des phases de l'accident est représenté, post collision, collision et pré collision.

Lors de la simulation nous partons de la position du 2RM à l'instant du choc (contact 2RM). Les informations recueillies sur place, avec les impliqués et lors de la consultation du PV nous permettent de repositionner les véhicules –angle de collision, angle avec la chaussée-. La simulation affine ensuite ce positionnement.

Lors des reconstructions, l'élément MADYMO (scooter, moto et usager du 2RM) est mis au contact du véhicule ou de l'obstacle rencontré. Il est difficile de faire « rouler » un deux roues sans occasionner un déplacement intempestif du pilote (figure 2-6). Le pilote « s'avachit » sur le deux roues. Il est toutefois possible de « garder » l'usager du 2RM dans une position acceptable sans fausser la simulation et donc la projection du pilote. Pour cela il suffit de durcir les paramètres de liaison entre l'usager du 2RM et le guidon par exemple (figure 2-7).

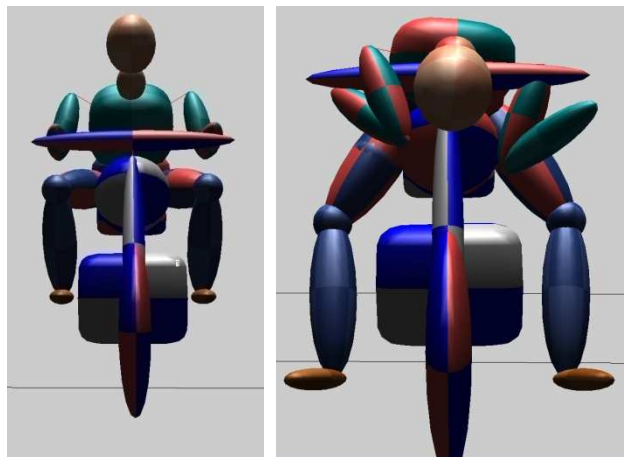


Figure 2-6 : Déplacement intempestif du pilote (simulation de roulage sur 2 mètres).

Pour illustrer cette problématique, reconstruction liée au 2RM, voici une petite séquence où le motard est positionné sur l'obstacle (vitesse de 50 km/h au choc). Sur la même illustration est positionné un autre motard (identique) mais positionné à 4 mètres de l'obstacle. Lorsque le choc a lieu le premier motard est en position dite « normale » alors que sur la troisième illustration le second motard qui devrait être en position « normale » est

avachi sur le guidon. Dans ces conditions, la simulation ne peut convenir. C'est pour ces raisons que le motard est positionné au choc lors des simulations sous Pc Crash.

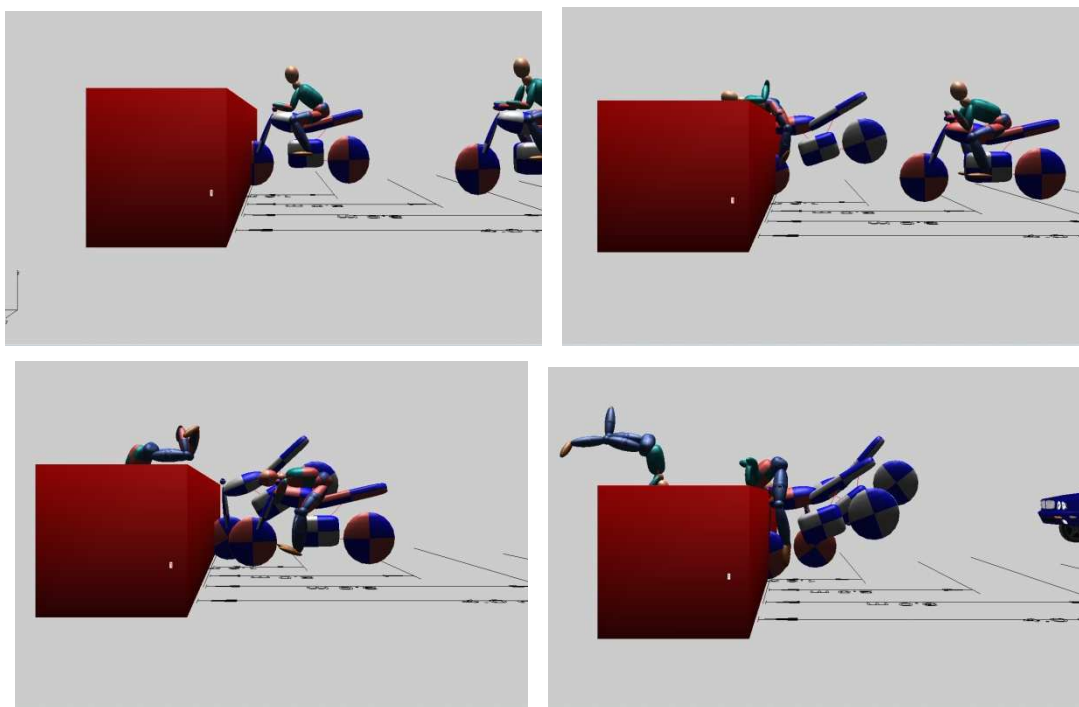


Figure 2-7 : Illustration de la position du motard en fonction du temps.

Un zoom sur les positions initiales du pilote lors du choc (figure 2-7 et figure 2-8) aide à la compréhension du bon positionnement du motard lors de la phase initiale.

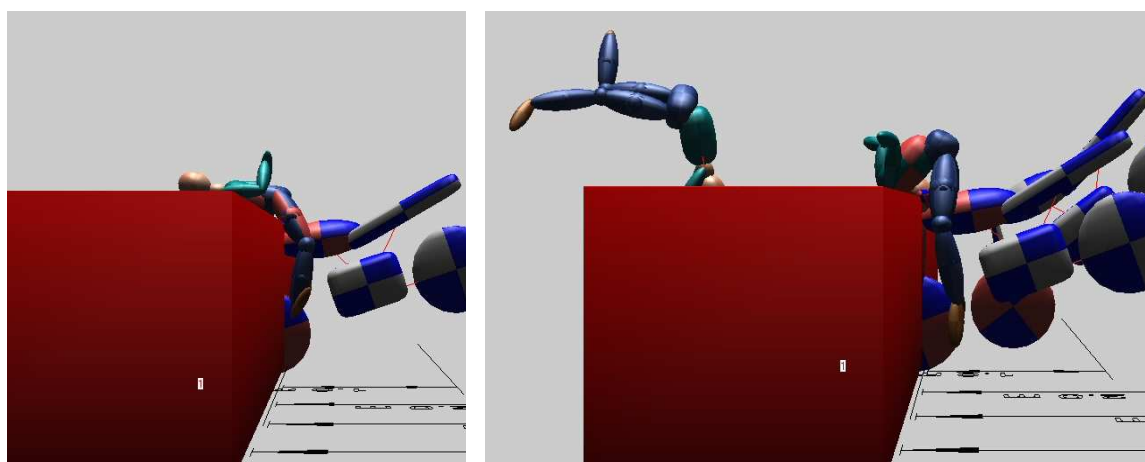


Figure 2-8 .Zoom sur les positions du pilote lors du choc.

De nombreux paramètres (figure 2-9) sont modifiables aussi bien sur la machine - taille des roues, hauteur du guidon, taille et forme du réservoir -, que sur le pilote - positionnement sur la machine, taille de la tête (pour tenir compte de la masse du casque) - etc. Tous ces réglages ne sont conservés que sur la position initiale lors du choc.

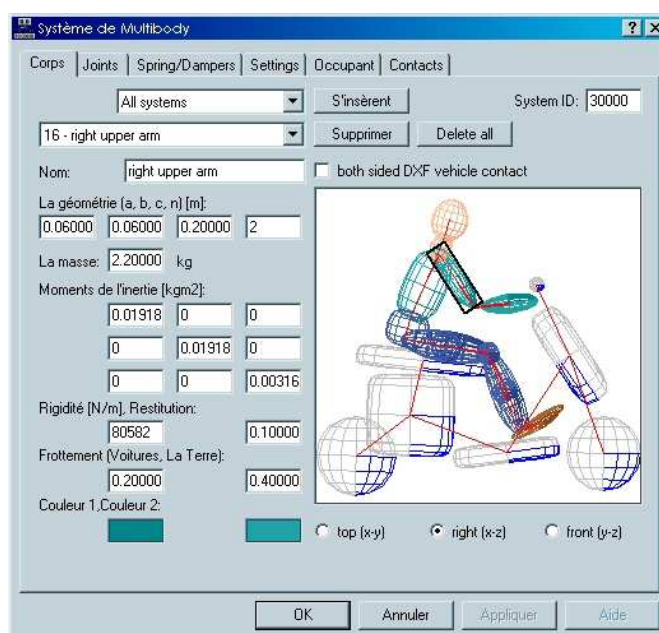


Figure 2-9 . Exemple des paramètres de réglage MADYMO.

Les fichiers de transfert des simulations étant très lourds (format AVI), il a été décidé de ne transférer que les fichiers concernant la tête et le cou, suivant les trois axes (x, y et z) puis, une fois les simulations, les reconstructions et les feuilles de synthèses mises à jour, de graver un CD. Les illustrations qui suivent sont un exemple du type de courbes extraites de la simulation, le T_0 étant celui du choc (contact avec l'autre véhicule ou l'obstacle). L'ensemble des informations de chaque cas est gravé sur un CD.

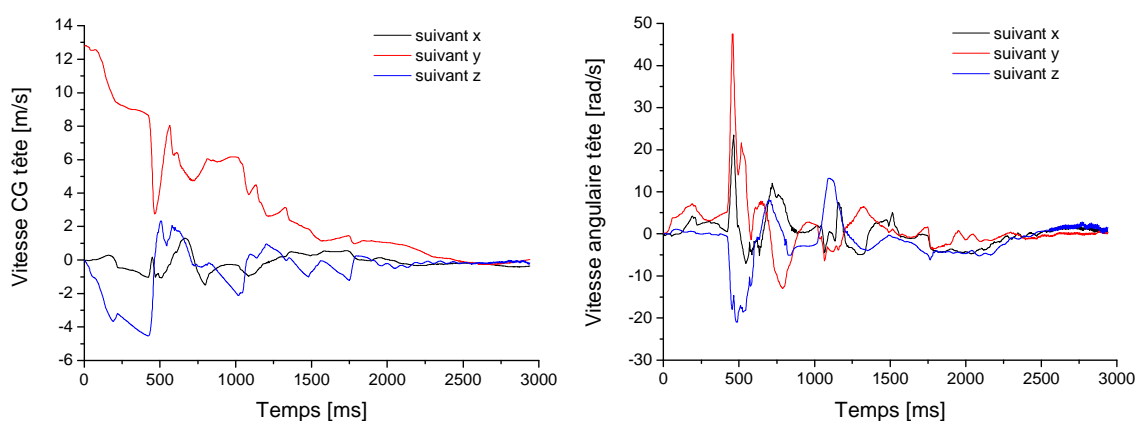


Figure 2-10. Cas FRC07010 : (a) vitesses (km/h) tête suivant X, Y, Z ; (b) Vitesse angulaire de la tête suivant X, Y, Z.

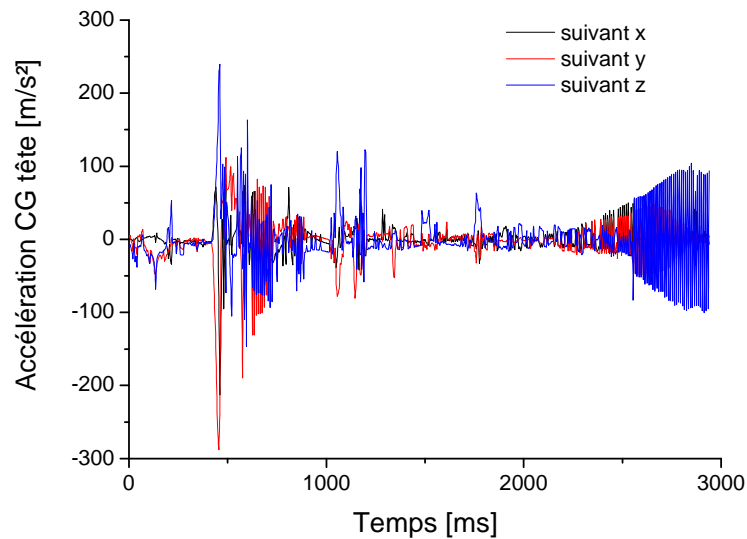


Figure 2-11. Cas FRC07010 - Accélération de la tête suivant X, Y, Z et résultante mannequin.

Pour chaque cas retenu, deux fiches de synthèse sont jointes :

- fiche de synthèse qui récapitule le cas (avec un plan) (figure 2-12)
- fiche décrivant les circonstances de l'accident (figure 2-13).

Ces deux fiches sont associées aux données transmises.

Après anonymisation des dossiers et première analyse, en tenant compte des critères définis préalablement, la codification définitive des dossiers est la suivante : FRCXXYYY

FRC : pour être compatible avec la base RIDER

XX : les deux derniers chiffres de l'année de collecte

YYY : l'identifiant du dossier dans l'année de collecte

Exemple : FRC07011 – accident survenu en 2007 le 11ième traité cette année là.

BIOCASQ Cas n°FRC07010		
L'OV passe au feu rouge et tourne à gauche. Le MC circule normalement mais ne peut voir l'OV griller le feu Il y a un masque mobile à la visibilité de plus l'OV circule rapidement		
Date de l'accident :	15 avril 2008	Lieu :
Conditions atmosphériques :	beau temps pas de vent chaussée sèche	Force de l'ordre :
Police		
SITUATION DE CONDUITE		
OV	VEHICULE	MC
RENAULT		HONDA
Laguna	Modèle	CB 500
1355	Poids	175
Inconnu DELIT de fuite	Charge	0
Année de mise en circuit 2001		
Empattement d'origine 1400		
Empat / réduc D / réduc I ??		
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle		
2230 / 750 / 130		
INFRASTRUCTURE		
route secondair	Types de voies	Route secondaire
Bitume	Revêtement	Bitume
plat	Profil en long	plat
ligne droite	Tracé en plan	ligne droite
CONDUCTEUR		
Homme 06/10/87		
Expérience depuis le 23/04/06		
Taille / poids 175 / 75		
PASSAGER(S)		
Taille / poids		
Taille / poids		
Taille / poids		
Vitesse déclarée		
Trajet		
PRE-COLLISION		
Vitesse initiale reconstruite		
Distance au point de choc		
Tps écoulé du PE au POI		
Adhérence utilisée		
ÉVÈNEMENT INITIATEUR		
OV Grille le feu délibérément		
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)		
Masque à la visibilité pour le MC		
Casque non attaché et pas d'équipement motard		
CONTRE-MESURE(S)		
BILAN LÉSIONNEL		
COLLISION		
lat arriere	Choc	frontal
36	Vitesse au choc	46
?	Énergie de déformation	10
	Angle entre les véhicules	330
	Angle de dérive	

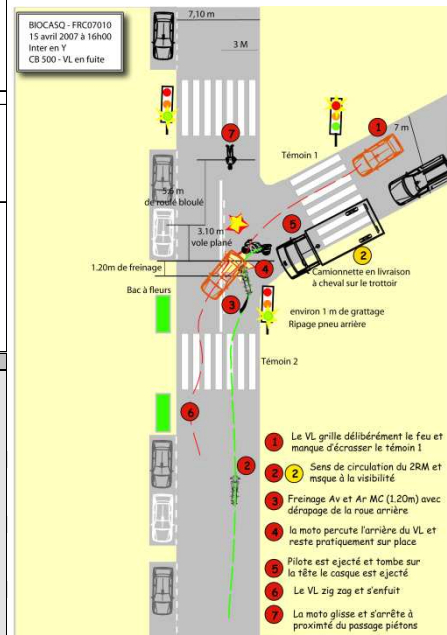


Figure 2-12. Fiche de synthèse de l'accident et plan de l'accident qui est associé aux fiches descriptives.

FRC07010

Circonstances :

Accident de la circulation avec délit de fuite (VL).

Le motard est retrouvé inconscient par les pompiers.

Il n'est pas casqué lorsque les pompiers interviennent. Le casque est retrouvé par la police sous une voiture en stationnement (impossible de savoir laquelle et où).

Le pilote n'attachait pas son casque (intégral ancien Polycarbonate) sans visière.

Description de l'accident :

L'OV passe au feu rouge et est percutée à l'arrière par le motard qui circulait sur sa voie. Le MC n'a pas fait attention à la voie de droite (mon feu était vert !!!), masque à la visibilité camionnette en livraison garée sur le trottoir. Lorsqu'il perçoit la voiture, il freine, trace de 1.20 m de gomme (police) au niveau du choc. Mais il ne peut éviter l'arrière de la voiture. Il n'a pas tenté un évitement (son réflexe est de freiner- les deux freins (main et pied) ce qui explique la trace de gomme – dérapage arrière et l'angle avec lequel la moto percute l'arrière du VL)

Il est projeté au sol, des témoins disent que c'est lors du premier choc au sol que le casque est parti et que la tête a ensuite tapé le sol en rebondissant.

Le pilote a roulé sur lui-même, il ne portait aucun équipement spécifique.

La voiture ne c'est pas arrêtée des témoins (2) l'ont entendue accélérer et tourner dans une autre rue. Ils précisent qu'ils étaient plus occupés à regarder le pilote que la voiture.

Le témoin 1 était sur le trottoir face au passage piétons et a failli se faire renverser par le VL. Le témoin 2 était lui aussi sur le trottoir face au passage piéton situé sur l'autre rue. Il attendait que le feu passe au rouge. Il était dans le sens de circulation du motard.

Le MC est pris en charge par les pompiers puis par le SAMU et transféré directement à KB.

Etat moto - parking police (77) Procédure en cours

Pas eu l'autorisation de la prendre en photos (le pilote étant dans le coma) :

Seulement eu l'autorisation de la regarder.

- CB 500 de 2001 – noire – kilométrage = 75862 km
- Protection carter
- Fourche enfoncée et voilée surtout **coté gauche (EES environ 10)**
- Sorties d'échappements touchées (roue en contact avec les pots)
- Réservoir, pot et pare carter ainsi que repose pied **coté droit** complètement HS.
- Guidon revenu sur le réservoir (tordu coté droit)
- Plus de cligno (AV et Ar) coté droit
- Pneus usés à la limite des témoins.

Figure 2-13. Fiche décrivant les circonstances de l'accident.

2.3. Tâche 1.2 : Simulation de l'interaction tête-casque (UdS)

2.3.1. Introduction

Le modèle de casque qui sera utilisé dans le cas de reconstructions d'accidents est un casque intégral de motard, de la marque *Nimrod Top Tek* (taille 2) développé et validé dans le projet PROTEUS. Il possède une coque externe en polycarbonate d'une épaisseur de 4 mm. Le matériau amortissant est constitué par du polystyrène expansé d'une densité de 25 g/l, sur une épaisseur de 40 mm. C'est ce casque couplé au modèle par éléments finis de la tête humaine de l'UdS qui sera utilisé pour la simulation des traumatismes crâniens. Les deux modèles (casque et tête) sont très brièvement rappelés ci-après.

Le but de cette tâche est de corréler les paramètres intracrâniens avec le type et la gravité des lésions observées en regard avec le fonctionnement du casque en situation dynamique et de comprendre l'interaction tête – casque au moment du choc.

2.3.2. Aspects géométriques et maillage

La géométrie du casque a été obtenue par digitalisation de la coque externe du casque en collaboration avec le Transport Research Laboratory (TRL). La coque externe ainsi obtenue a été maillée avec des éléments coques, avec une épaisseur constante et égale à 4 mm. Ce sont des éléments quadrilatéraux à quatre nœuds. La géométrie de la coiffe a été obtenue en extrudant le maillage de la coque sur une épaisseur de 40 mm. Des éléments brique hexaédriques à huit nœuds ont été utilisés pour modéliser ce matériau amortissant. Ces éléments supportent des charges de tension, de compression et de cisaillement. La figure 2-14 montre les différentes phases du maillage, de la digitalisation de la coque externe à son maillage pour finir à l'extrusion des éléments coques sur une épaisseur de 40 mm définissant ainsi le matériau amortissant.

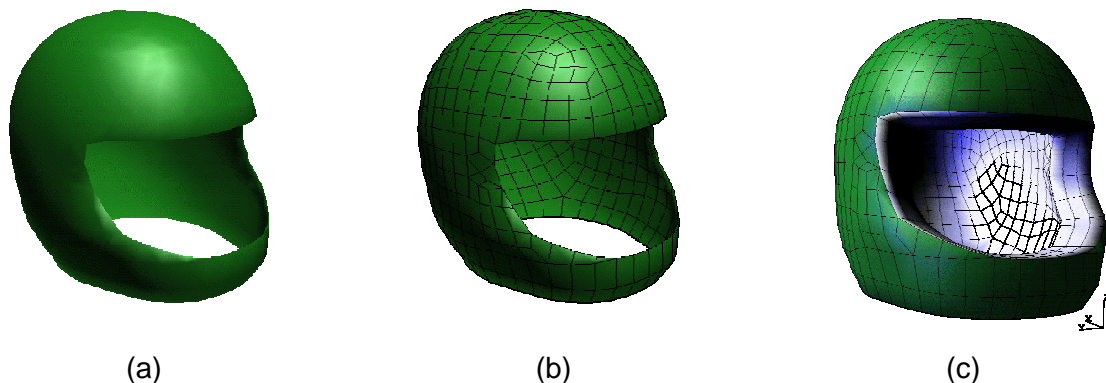


Figure 2-14 (a) Surface externe de la coque. (b) Maillage de la coque du casque (524 coques). (c) Modèle éléments finis du casque. (1675 nœuds, 524 coques et 1572 briques).

Les conditions aux limites entre la coque et le matériau amortissant sont définies par une liaison parfaite, c'est-à-dire une continuité de maillage. Le modèle final est constitué de 1675 nœuds, 524 éléments coques et 1572 éléments briques.

2.3.3. Lois de comportement

2.3.3.1. La coque externe

Lors des tests expérimentaux réalisés avec le casque, l'analyse de la surface de la coque a montré que la déformation de la coque thermoplastique reste faible et réversible. Par conséquent un modèle élastique isotrope a été utilisé pour la loi de comportement de ce

matériau. Pour déterminer les propriétés mécaniques, une analyse modale expérimentale puis numérique a été effectuée sur la coque isolée. Cette analyse a permis de déterminer le module d'Young du matériau pour que les fréquences propres et les déformées modales théoriques calculées avec le modèle se superposent aux résultats de l'analyse modale expérimentale (Diaw, 1999).

L'analyse modale théorique a été réalisée avec le code de calcul implicite ALGORTM. Le module d'Young, qui est la variable de l'étude, est modifié jusqu'à avoir une superposition des fréquences de résonance et des déformées modales théoriques et expérimentales. La valeur optimale du module d'Young obtenue est de 15 GPa. Cette valeur a permis de mettre en évidence deux fréquences de résonance à 62 et 188 Hz en accord avec les 59 et 176 Hz obtenus expérimentalement.

2.3.3.2. La coiffe

Dans le but de caractériser la coiffe, des tests de compression dynamique ont été réalisés sur des échantillons de polystyrène constitutif du casque. Une courbe contrainte-déformation expérimentale a été obtenue en faisant une compression dynamique d'un bloc de 70x70x30 mm. L'échantillon est placé entre deux surfaces planes. L'impacteur, d'une masse de 1.76 kg, est muni d'un accéléromètre. La figure 2-15 montre les courbes contrainte-déformation correspondantes aux vitesses d'impact de 6 et 10 m/s.

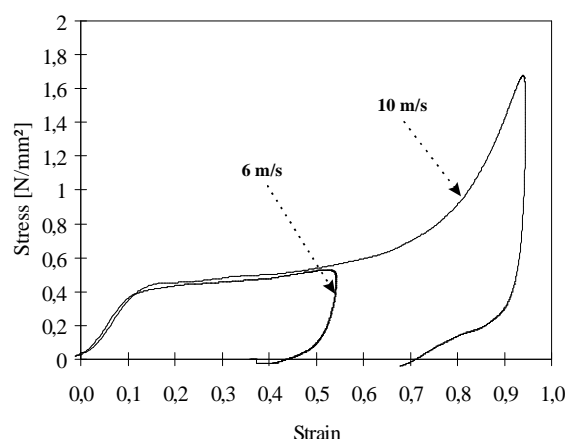


Figure 2-15. Courbes expérimentales contraintes déformation de l'échantillon de polystyrène, pour des vitesses de compression de 6 et 10 m/s.

Ces tests de compression montrent que le comportement du polystyrène n'est pas sensible à la vitesse de compression, pour cette gamme de vitesses, comme l'ont relevé certains auteurs tels que Beusenbergh et Happee (1993).

Dans le modèle numérique, ce diagramme rationnel contrainte-déformation a été utilisé comme loi de comportement. La formulation utilisée est celle d'une loi élastoplastique. La courbe expérimentale contrainte-déformation utilisée pour cette étude est celle qui a été réalisée à une vitesse de compression de 10 m/s, car elle autorise une déformation du polystyrène au-delà de 90 %. Le coefficient de poisson est fixé à zéro du fait de la grande compressibilité du matériau.

2.3.4. Validation du modèle éléments finis du casque

Pour valider le modèle éléments finis du casque, des résultats expérimentaux d'absorption de chocs ont été utilisés. Ce test a été conduit en équipant une tête de mannequin avec le casque Nimrod Top Tek. Les impacts expérimentaux ont été réalisés au TRL. Le casque et la tête de mannequin sont lâchés d'une hauteur de 2.87 m, ce qui

correspond à une vitesse d'impact de 7.5 m/s (comme stipulé par la norme ECE-R022). La surface d'impact est une enclume plate rigide que la partie frontale supérieure de la coque du casque vient heurter. Ce choc a alors été simulé numériquement dans le but de comparer l'accélération théorique et expérimentale de la tête de mannequin.

Afin de procéder à la validation du modèle éléments finis du casque, nous avons reproduit un impact frontal sur une enclume plate comme stipulé par la norme ECE-R022. Pour simuler cet impact, le modèle éléments finis est devant une surface définie par un plan rigide, et une vitesse initiale de 7.5 m/s lui a été imposée pour respecter les conditions initiales expérimentales, comme indiqué figure 2-16a. La figure 2-16b montre la courbe numérique de l'accélération de la fausse tête superposée au résultat expérimental, dans le cas de l'impact frontal. La simulation donne un résultat très satisfaisant. La réponse numérique de la tête décrit très bien la forme globale de l'accélération expérimentale. La durée de choc et l'amplitude sont en assez bon accord avec les résultats expérimentaux.

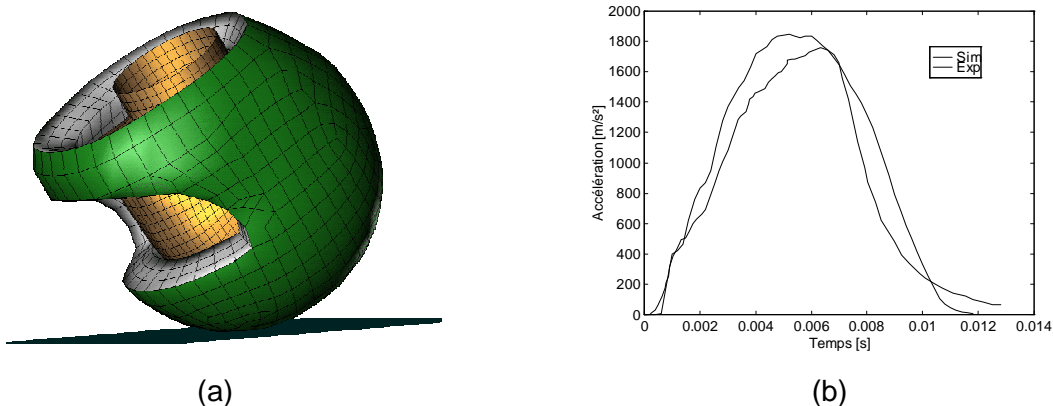


Figure 2-16. (a) Configuration d'impact pour la simulation du choc frontal à 7.5 m/s. (b) Superposition des accélérations numériques et expérimentales en configuration de choc frontal (7.5 m/s).

L'absorption du choc est raisonnablement modélisée d'après la figure 2-17a. En effet l'écart entre vitesse numérique et vitesse expérimentale finale est inférieur à 3 % (à 10 ms). La partie initiale qui correspond à la compression du polystyrène est très bien simulée jusqu'à 4 ms, ensuite les deux courbes sont légèrement dépareillées. La courbe numérique change de signe après la courbe expérimentale, montrant que le rebond intervient plus précocement sur cette dernière. Ceci nous donne une absorption de 86 J pour l'expérience et 79.8 J pour le numérique.

La figure 2-17b illustre la force d'interaction entre la tête et le casque en fonction du déplacement, observée expérimentalement et déterminée numériquement. Elle montre que la raideur globale du casque est très bien simulée. On observe par ailleurs une bonne adéquation pour l'épaisseur de polystyrène comprimé.

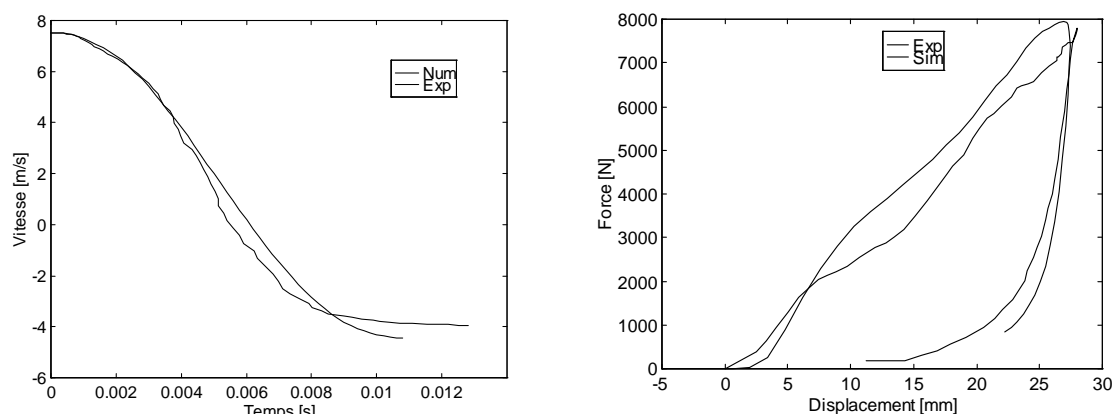


Figure 2-17. (a) Evolution des vitesses expérimentale et numérique de la tête hybride lors de l'impact frontal (7.5 m/s), (b) Superposition des courbes force déplacement numérique et expérimentale de la tête de mannequin, dans la configuration de choc frontal (7.5 m/s).

La figure 2-18 montre que le polystyrène travaille très localement, c'est à dire essentiellement au niveau de la zone d'impact, et que la déformation plastique est plus accentuée sur la surface intérieure du matériau amortissant. Ce résultat a pu être vérifié qualitativement et quantitativement sur les casques impactés. Ce mode de déformation est caractéristique des casques avec une coque externe rigide comme l'a également décrit Beusenbergh (1993).

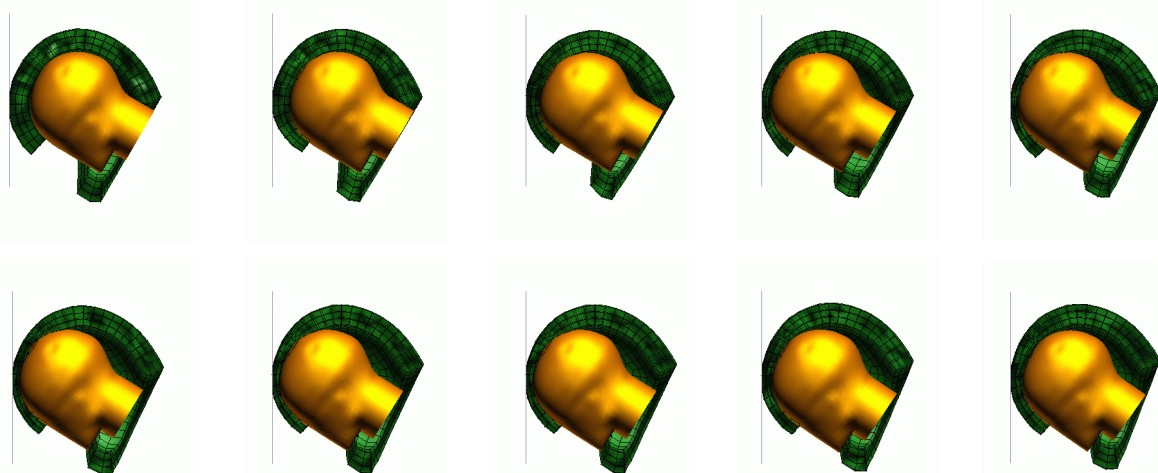


Figure 2-18. Evolution de la déformation de la coiffe lors de la simulation en choc frontal.

Le tableau suivant présente les résultats des simulations numériques en termes d'accélération du centre de gravité de la fausse tête et la valeur du HIC pour chacune des quatre configurations d'impact stipulées par la norme européenne. L'ensemble des résultats obtenus est présenté sous forme de tableaux récapitulatifs (tableau 2-2).

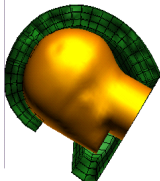
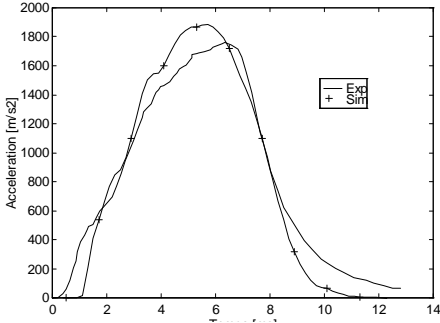
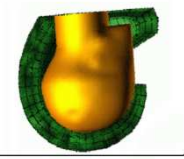
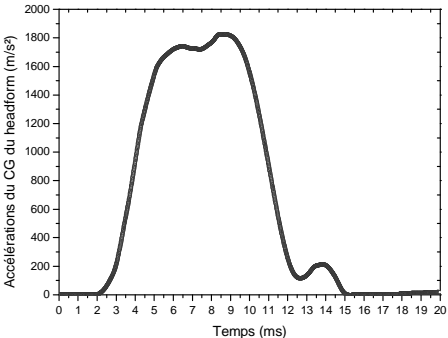
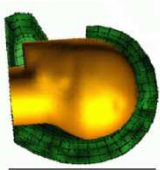
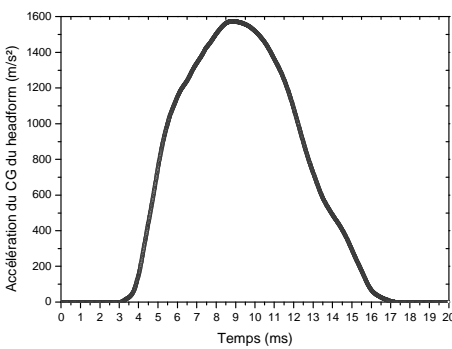

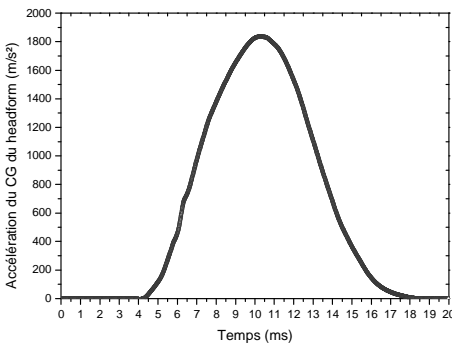
Localisation du choc	Configuration de l'impact	Accélération du centre de gravité de la tête	Calcul du HIC
B			1376
P			2322
R			1582
X			1888

Tableau 2-2. Suite des récapitulatif des résultats en terme d'accélération du centre de gravité du headform et en terme de HIC pour les quatre types de chocs normatifs (occipital (R), temporel (X)).

Au vu des résultats obtenus, en termes de HIC et de maximum d'accélération de la fausse tête, nous pouvons dire que notre modèle éléments finis de casque est représentatif

du comportement des casques existants même si les résultats en choc vertex, arrière et latéral n'ont pas été confrontés à des données expérimentales.

En effet la capacité d'absorption des chocs est considérée satisfaisante puisque l'on obtient des valeurs inférieures à 2400 pour le HIC, et inférieures à 270 g en ce qui concerne les maxima d'accélération, nous pouvons donc maintenant évaluer les risques lésionnels en couplant le modèle éléments finis de la tête anatomique (modèle UdS SUFEHM) et le modèle du casque.

2.3.5. Modélisation de la tête et critères

Le modèle éléments finis de tête de l'Université de Strasbourg (SUFEHM : Strasbourg University Finite Element Head Model) a été développé par Kang (1997). Le modèle est construit à partir d'un crâne humain sec, dont les surfaces externe et interne sont digitalisées avec un dispositif de mesure tridimensionnelle. La mise en place des membranes intracrânielles est faite avec l'aide d'atlas d'anatomie et le cerveau remplit l'espace intracrânien jusqu'à 2 mm de la boîte crânienne. La création semi-automatique du maillage est obtenue avec le logiciel Hypermesh. Le maillage est continu entre toutes les parties du modèle. L'espace subarachnoïdien est représenté entre le cerveau et le crâne pour simuler le découplage, dû au liquide céphalo-rachidien, entre le cerveau et le crâne. Cet espace est maillé avec une couche d'éléments brique et entoure intégralement le cerveau. La tente sépare le cervelet du cerveau et la faux s'intercale entre les deux hémisphères cérébraux dans le plan sagittal. Enfin, le scalp est modélisé par des éléments brique et recouvre entièrement le crâne et l'os facial. Globalement, le modèle est constitué de 11939 nœuds et de 13208 éléments, dont 10395 briques et 2813 coques (figure 2-19).

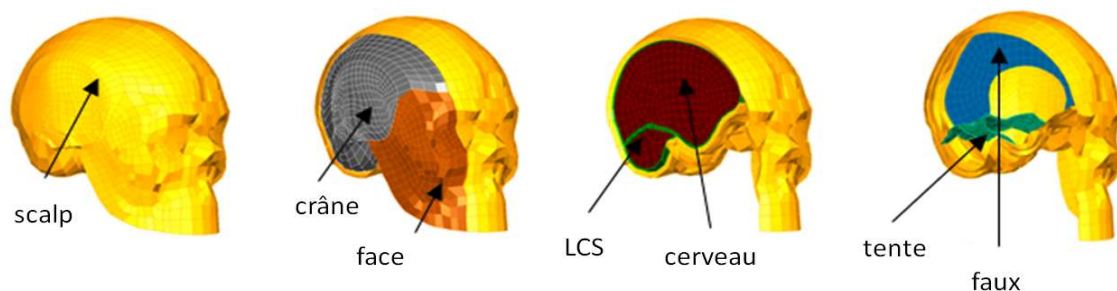


Figure 2-19. Modèle de la tête humaine par éléments finis de l'Université de Strasbourg.

La structure du cerveau, supposé homogène et isotrope, est maillée en 5508 éléments brique affectés d'une loi de comportement viscoélastique. La viscoélasticité est assurée par un modèle rhéologique de Boltzman. Les paramètres mécaniques sont optimisés de façon à ce que le comportement mécanique, du cerveau ainsi modélisé, corresponde aux tests rhéologiques de Shuck *et al.* (1972).

Enfin, les 2296 éléments brique du scalp, tout comme les 471 éléments des membranes de la faux et de la tente, sont considérés comme élastiques et affectés de caractéristiques mécaniques issues de l'étude de Zhou *et al.* (1996).

Des limites de tolérance ont été établies pour ce modèle sous RADIOSS® en reconstruisant 68 cas d'accidents réels. Les limites obtenues ainsi que les paramètres mécaniques considérés en liaison avec des lésions spécifiques sont présentées dans le tableau 2-3. Des détails supplémentaires sur l'élaboration de critères sont disponibles dans travail de Deck *et al.* 2008. Les paramètres mécaniques calculés peuvent être obtenus soit en simulant un impact direct (le crâne est alors considéré comme déformable) ou en implémentant un champ d'accélération au crâne (considéré comme rigide dans ce cas).

	Lésions neurologiques modérées	Lésions neurologiques sévères	Hématome sous-dural
Pression minimale dans le liquide cérébro-spinal			-135 kPa
Contrainte de Von Mises dans le cerveau	26 kPa	33 kPa	

Tableau 2-3. Limites de tolérance du modèle SUFEHM sous RADIOSS®.

Sous LS-DYNA, 59 cas d'accidents réels ont été reconstruits et ont permis d'obtenir des limites de tolérance pour deux mécanismes de lésion : les lésions neurologiques (modérées et sévères) et les hématomes sous-duraux. Les limites obtenues pour divers paramètres mécaniques sont présentées dans le. Des détails sur l'obtention de ces limites peuvent être trouvés dans Deck & Willinger 2009 (tableau 2-4).

	Lésions neurologiques modérées	Lésions neurologiques sévères	Hématome sous-dural
Energie de déformation du liquide cérébro-spinal			4950 mJ
Contrainte de Von Mises dans le cerveau	28 kPa	53 kPa	

Tableau 2-4. Limites de tolérance du modèle SUFEHM sous LS-DYNA®.

2.3.6. Simulation du couplage tête anatomique-casque de protection

Pour évaluer les risques de lésions de la tête humaine lors d'un accident de motocycliste, le modèle éléments finis de la tête anatomique de Strasbourg a été couplé au casque comme montré en figure 2-20 avec un exemple de reconstruction de traumatisme crânien. Le contact entre la tête et le polystyrène est modélisé par une interface non linéaire disponible dans RADIOSS® utilisant des éléments gap ou jeu, qui ne nécessite pas de correspondance des maillages.

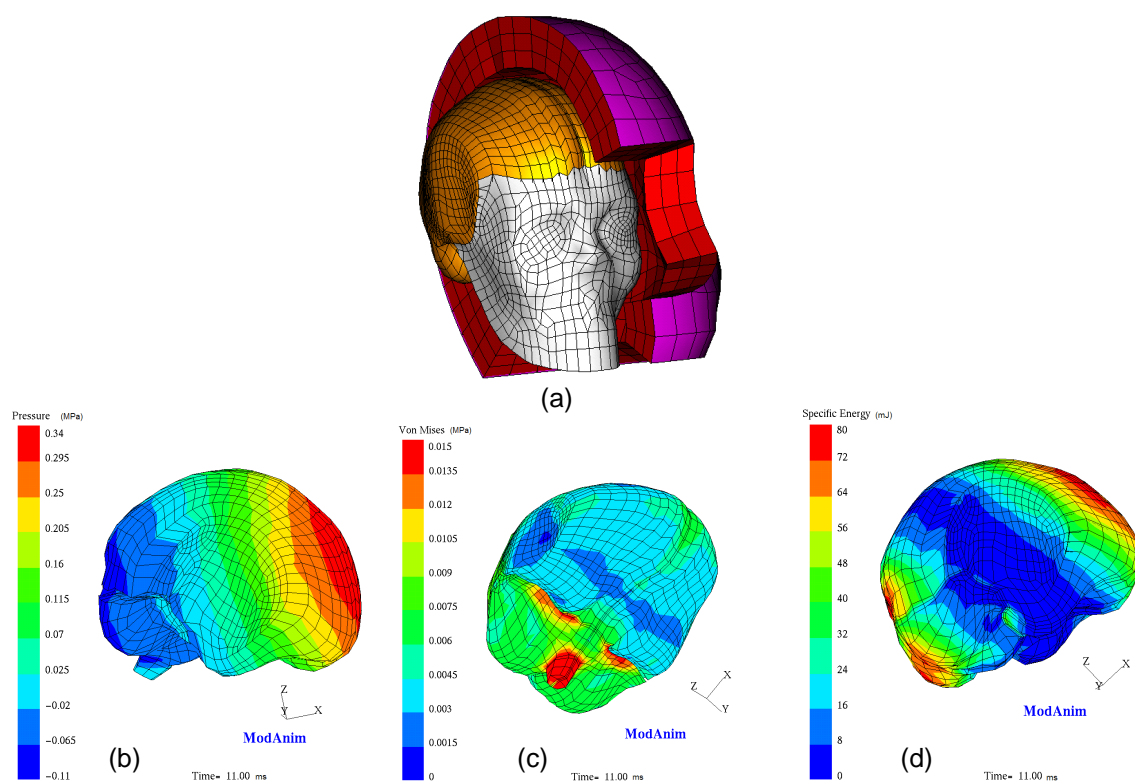


Figure 2-20. (a) Couplage tête anatomique casque de protection. (b) Exemple de la distribution du champ de pression intracérébral 8 ms après le début de la simulation lors d'un choc frontal (en B). (c) Maximum du champ de contrainte de cisaillement lors d'un choc frontal (en B). (d) Distribution de l'énergie de déformation du liquide céphalorachidien lors d'un choc frontal (en B).

2.4. Tâche 1.3 : Simulations d'accident réels (UdS, CEESAR)

2.4.1. Introduction

La reconstruction d'accident se divise en trois étapes. Une première étape consiste à évaluer les conditions initiales de l'accident, soit à l'aide de logiciels commerciaux de type PC-CRASH, soit à l'aide du bilan énergétique. Ces outils vont permettre de définir les angles d'approches entre les deux véhicules.

L'objectif de la deuxième étape est de reconstruire l'accident. La reconstitution du scénario se fait à l'aide d'un logiciel de calcul numérique MADYMO®. MADYMO®, l'abréviation de MATHematical Dynamic Models, est un logiciel de calcul numérique développé par TNO Automotive Safety Solution (TASS) à Delft aux Pays Bas. Ce code de calcul basé sur la résolution de systèmes multi corps est leader dans son domaine et est fréquemment utilisé pour la sécurité des occupants et le calcul des risques lésionnels. Le principe de la résolution multi corps est de définir un système par un ensemble de corps rigides, représentés par des ellipsoïdes, liés par des joints. A la différence des éléments finis, le contact entre les corps ne se fait pas par déformation des surfaces, mais par une fonction de pénétration d'une surface par rapport à l'autre (en générale une force en fonction du déplacement), comme illustrée en figure 2-21a. Les temps de calcul sont alors sensiblement réduits et permettent de recréer un scénario de crash plus rapidement. Les modèles humains utilisés sont les modèles implémentés dans le logiciel validé par rapport à des tests sur cadavre et se déclinent en cinq catégories, comme illustrées en figure 2-21b.

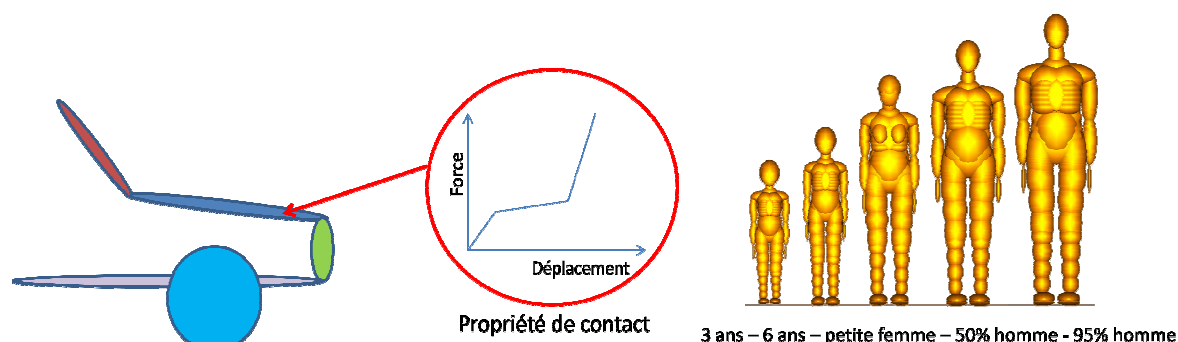


Figure 2-21. (a) représentation des propriétés de contact au niveau des surfaces, (b) différentes catégories de modèles humains utilisés pour les reconstructions d'accident.

Les données accélérométriques de la tête sont alors extraites et implémentées dans le modèle par éléments finis de la tête humaine pour calculer les paramètres mécaniques liés aux critères de lésion. Cette dernière étape permet de comparer les valeurs obtenues par reconstruction numérique de l'accident aux lésions survenues réellement.

Ainsi sur les 44 cas d'accidents recueillis, 8 reconstructions complètes ont pu être menées. Parmi les cas d'accident, 10 cas proviennent de la base de données EDA de l'INRETS MA (Salon de Provence) dans le cas d'une coopération entre PROMOTO et BioCASQ.

2.4.2. Cas CEESAR FRC06003

Ce cas est un accident de la circulation entre une moto et une voiture. Le motard casqué est retrouvé inconscient par le SAMU.

Une voiture est stationnée sur le trottoir dans le sens opposé à la circulation du motocycliste. Le motocycliste circule normalement sur sa voie lorsque qu'il perçoit une voiture qui arrive en face de lui sans vraiment y prendre garde, car il pensait que la voiture qui arrivait en sens inverse l'avait vu et allait se serrer ou freiner (figure 2-22).

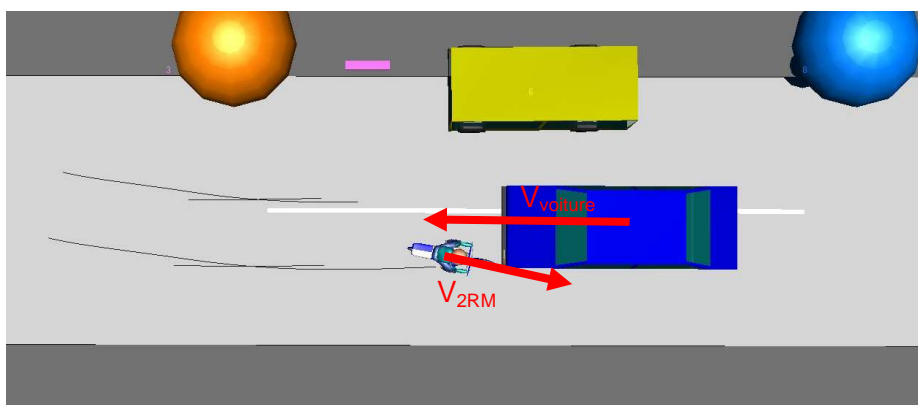


Figure 2-22. Représentation du scénario de l'accident, $V_{voiture}$ correspond à la vitesse du véhicule avant le choc et V_{2RM} à celle de la moto.

La voiture qui arrive en face ne freine pas. Elle fait un écart pour doubler la voiture en stationnement. Le conducteur est pressé et n'a pas vu le motocycliste. Le conducteur de la voiture déclare être plus préoccupé par le mouvement de la voiture en stationnement que par ce qui pourrait être devant lui.

Le conducteur de la moto voyant la voiture faire un écart et foncer sur lui, tente une manœuvre d'évitement à droite en freinant.

Il percute la voiture à l'avant droit. Il est projeté sur le pare-brise. Le casque percute le pare-brise coté droit ainsi que le montant de pare-brise. L'impact relevée au bas du pare-brise est du aux membres supérieures.

Lors du choc la moto est trainée par la voiture. Elle est en épave et hors d'usage. Le bilan lésionnel du motocycliste est reporté dans le tableau 2-5.

Description des lésions	Code AIS
Traumatisme crânien avec perte de connaissance initiale	161000 AIS2
Sans déficit moteur	160202 AIS2
Luxation de la mandibule (mâchoire inf)	250699 AIS1
Un hématome sous dural bilatéral	140650 AIS4

Tableau 2-5. Bilan lésionnel du motocycliste.

Les vitesses et les approches des deux véhicules ont été évaluées par le CEESAR et introduits dans une modélisation multi corps sous le logiciel MADYMO®. La vitesse de la voiture est de 14 m/s et celle de la moto de 10 m/s. La simulation de l'accident sous MADYMO® est représentée en figure 2-23.

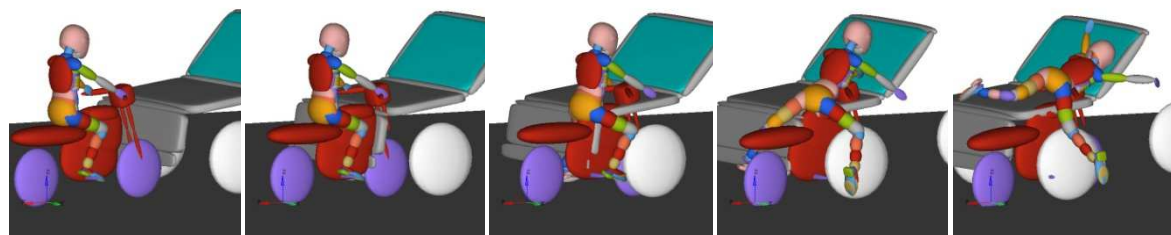


Figure 2-23. Extrait de la simulation calculée sous le logiciel MADYMO.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-24a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone frontale.

Un maximum de 70kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas CEESAR FRC06003 est calculé, ce qui correspond à plus de 99% de risque d'apparition de lésions neurologiques sévères.

Le risque lésionnel encouru quant à l'apparition d'hématomes sous duraux est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -175kPa correspondant à un risque lésionnel de 95% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-6.

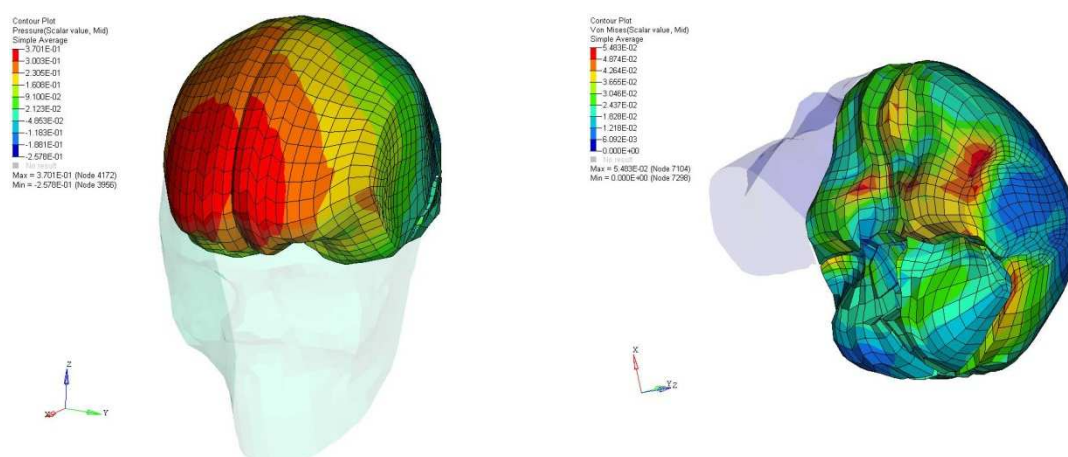


Figure 2-24. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas CEESAR FRC06003.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
70 kPa	99 % (neurologiques sévères)	-176kPa	95 % (SDH)

Tableau 2-6. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas CEESAR FRC06003.

Les résultats de la simulation corroborent bien les lésions réelles occasionnées lors de l'accident. L'hématome sous dural est prédit avec 95%. Le risque de lésion neurologique sévère est surestimé.

2.4.3. Cas CEESAR FRC06015

Ce cas est un accident de la circulation en moto seule. Le motocycliste circule très rapidement sur la voie publique. La moto s'emballe et le pilote freine brutalement. Il voit une voiture lui passer devant à l'intersection. Soulagé, il relâche les freins croyant que la route continue tout droit. Or la route est décalée et en sens unique. Le motocycliste monte sur le trottoir et percute le muret de séparation d'un parc, comme illustré en figure 2-25.

La moto s'élève et virevolte avant de faire un looping et de retomber sur le muret. Lors du choc, le pilote est projeté à plus de 10 m dans l'herbe et glisse sur 8 à 9 m environ, pour enfin s'arrêter à 20 m du point d'impact.

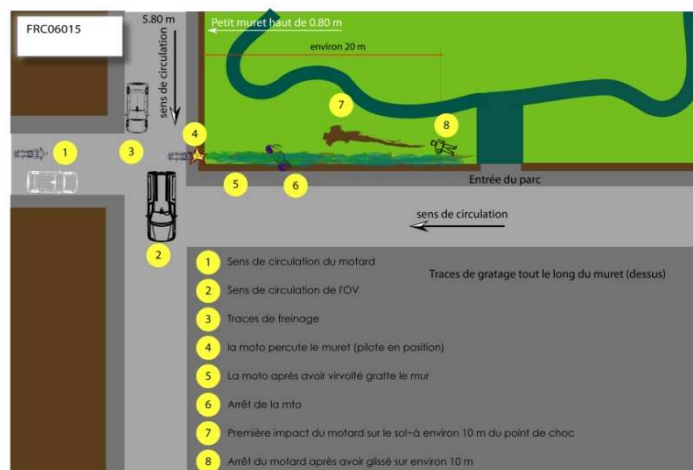


Figure 2-25. Schéma du scénario de l'accident.

Le motocycliste a eu une perte de connaissance initiale avec un Glasgow de 15 à l'arrivée des secours. Il possédait une plaie du genou gauche, ouverte, saignante avec perte de substances. Le scanner cérébrale est normal.

La vitesse de la moto a été estimée à 14 m/s comme le montre la figure 2-26. Le trottoir a une hauteur de 0.2 m et le muret de 0.5 m avec une largeur de 0.8 m.

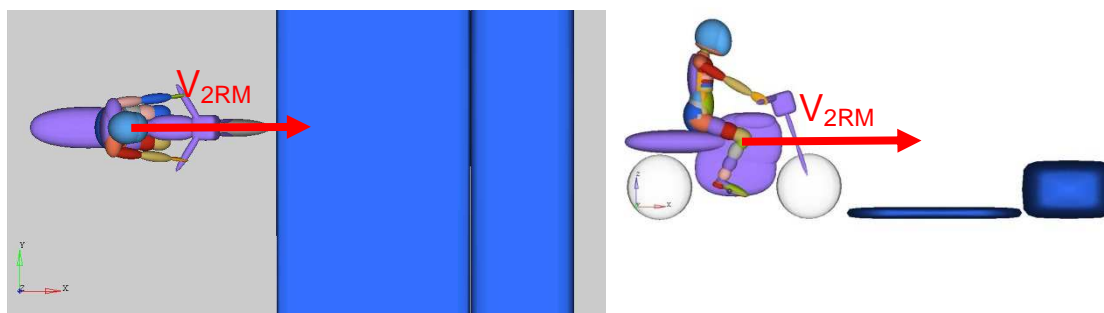


Figure 2-26. Représentation des conditions initiales de l'accident.

La figure 2-27 montre les résultats de la cinématique du motocycliste. Les données accélérométriques sont ensuite transférées dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

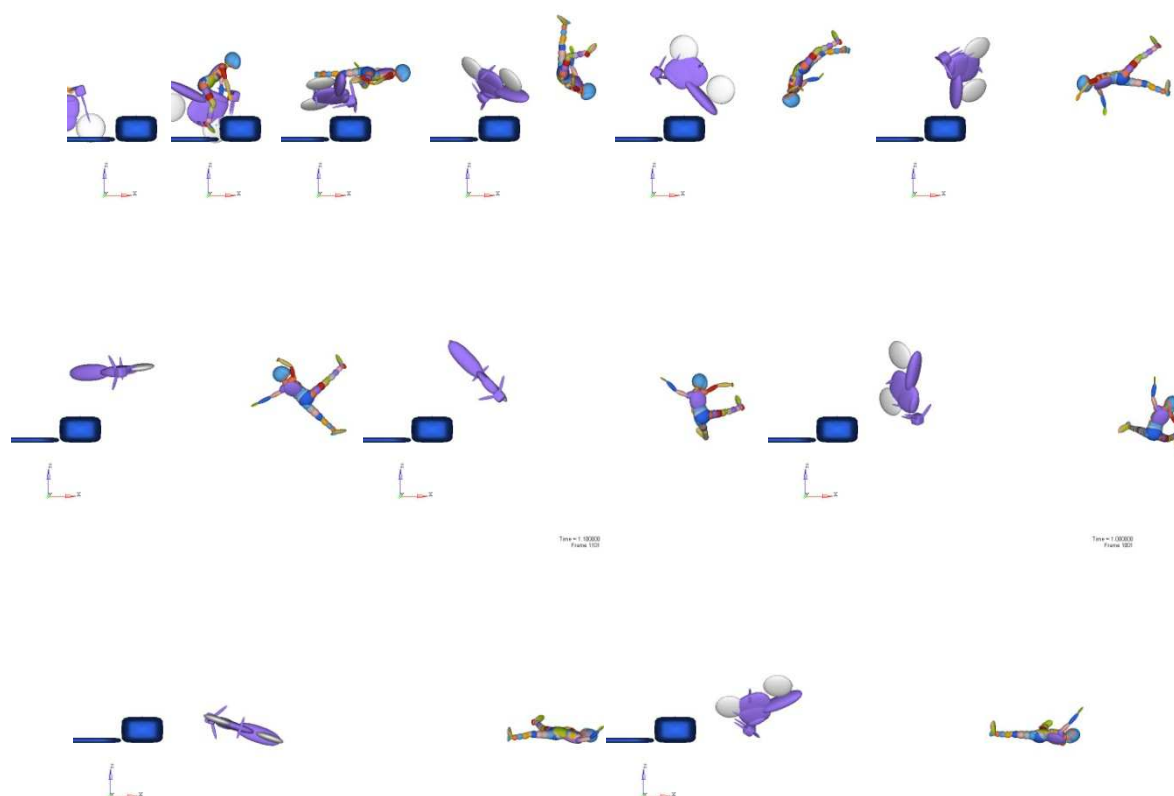


Figure 2-27. Extrait de la simulation calculée sous le logiciel MADYMO.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-28a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone frontale droite.

Un maxima de 26kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas CEESAR FRC06015 est calculé ce qui correspond à 50% de risque d'apparition de lésions neurologiques modérées.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous duraux est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -132kPa correspondant à un risque lésionnel de 43% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-7.

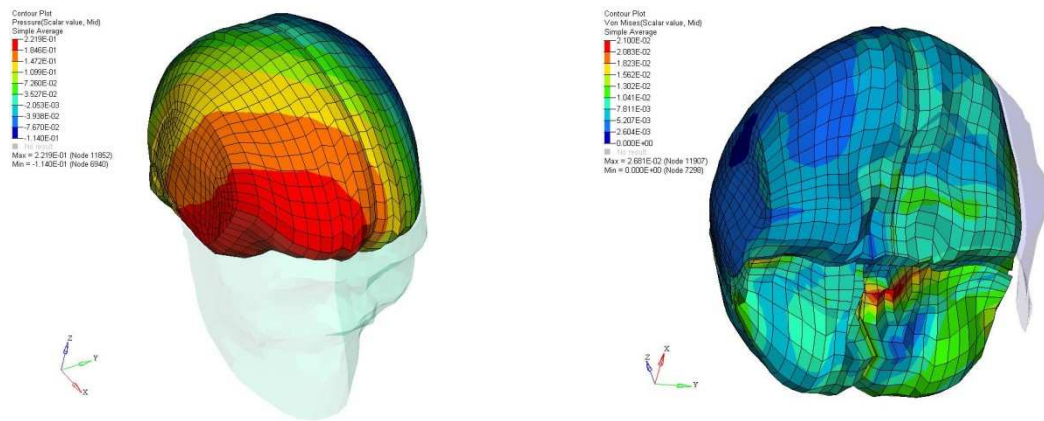


Figure 2-28. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisailage intracérébral (b) calculé pour le cas CEESAR FRC06015.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
26 kPa	50 % (neurologiques sévères)	-132kPa	43 %

Tableau 2-7. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas CEESAR FRC06015.

La prédiction surestime les lésions réellement occasionnées lors de cet accident. Cette différence est essentiellement due à la difficulté d'obtenir la vraie cinématique du motocycliste du fait du vol plané.

Afin de comprendre le comportement du casque en situation de choc réel, nous avons reproduit numériquement le cas CEESAR FRC06015 en positionnant l'ensemble tête casque par rapport au sol comme illustré en figure 2-29. Position et vitesse de la tête casquée ont été extraites de la reconstruction MADYMO. Le MEF de la tête casquée a alors été lancé à une vitesse de 12.7m/s sur un MEF de sol. La déformation du polystyrène expansé au cours du choc est proposée au travers de la figure 2-30. Une déformation maximale de celui-ci de plus de 90% a été calculée (figure 2-31).

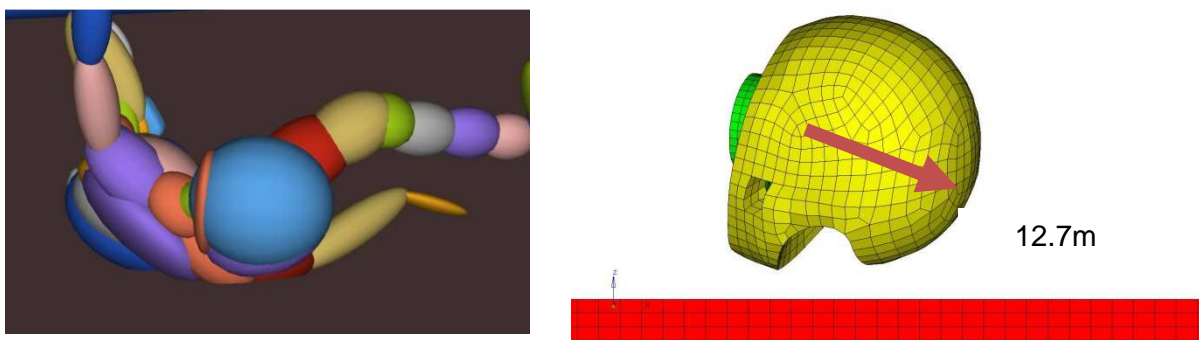


Figure 2-29. Configuration initiale de l'impact au sol pour le cas CEESAR FRC06015. A gauche position du corps au moment de l'impact au sol calculé sous MADYMO permettant le positionnement initial des MEF (à droite) avant le choc sous RADIOSS avec une vitesse d'impact calculé de l'ensemble tête casque de protection de 12.7m/s.

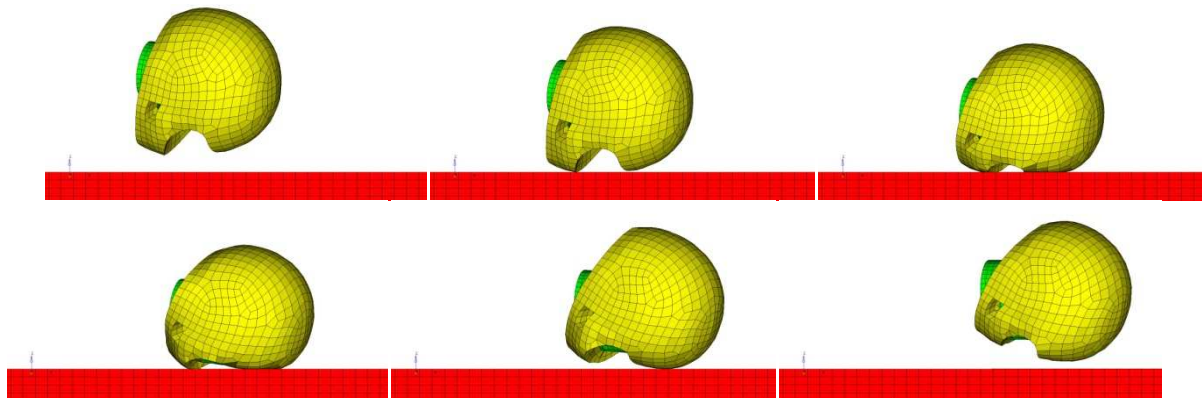


Figure 2-30. Illustration de la déformation du polystyrène expansé pendant l'impact pour le cas CEESAR FRC06015.

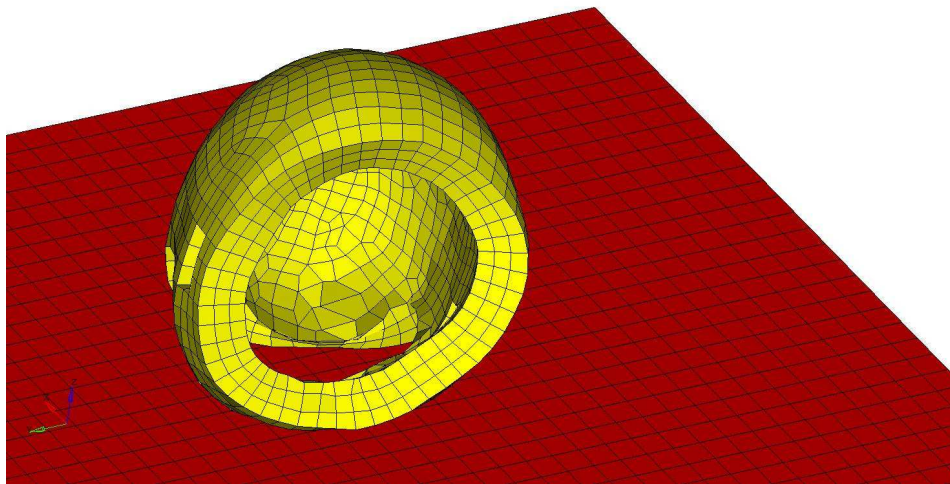


Figure 2-31. Illustration de la déformation maximale du polystyrène expansé pendant le choc avec une déformation maximale de plus de 90% pour le cas CEESAR FRC06015.

2.4.4. Cas CEESAR FRC07010

Il s'agit d'un accident entre une voiture et une moto. La voiture passe au feu rouge et est percutée à l'arrière par le motard qui circulait sur sa voie. Le motocycliste n'a pas fait attention à la voie de droite masquée par une camionnette en livraison garée sur le trottoir. Lorsqu'il perçoit la voiture, il freine, trace de 1.20 m de gomme au niveau du choc. Mais il ne peut éviter l'arrière de la voiture.

Le pilote est projeté au sol, et a roulé sur lui-même sur sa longueur. La voiture ne s'est pas arrêtée. Les témoins l'ont entendue accélérer et tourner dans une autre rue. Ils précisent qu'ils étaient plus occupés à regarder le pilote que la voiture.

Le témoin 1 était sur le trottoir face au passage piéton et a failli se faire renverser par la voiture. Le témoin 2 était lui aussi sur le trottoir face au passage piéton et attendait que le feu passe au rouge. Il était dans le sens de circulation du motocycliste (figure 2-32).

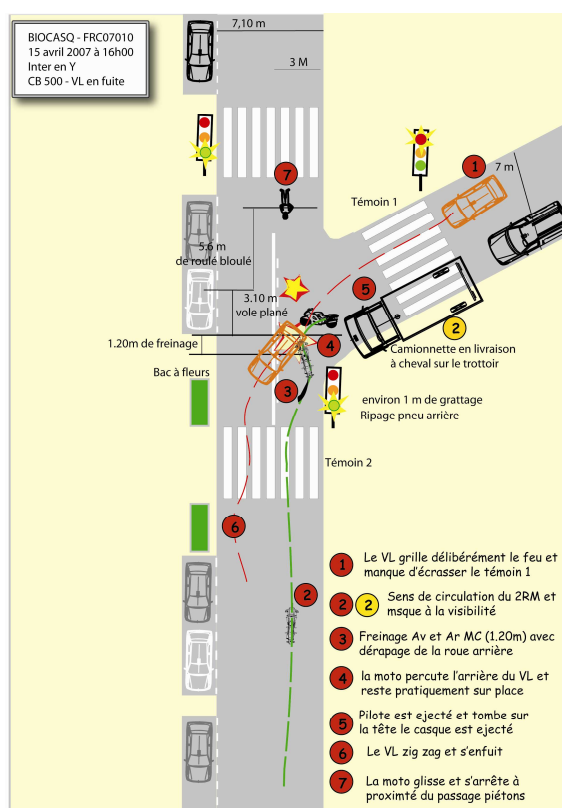


Figure 2-32. Représentation du scénario de l'accident.

Le motocycliste est retrouvé inconscient. A l'arrivée des secours, il a un Glasgow de 7. Sur le plan neurologique, il réagit à la flexion, à la stimulation douloureuse de façon symétrique. Il présente une plaie linéaire de 3 cm temporo-pariétale droite avec un hématome sous-cutané en regard et une plaie fronto-pariétale gauche de 2 cm.

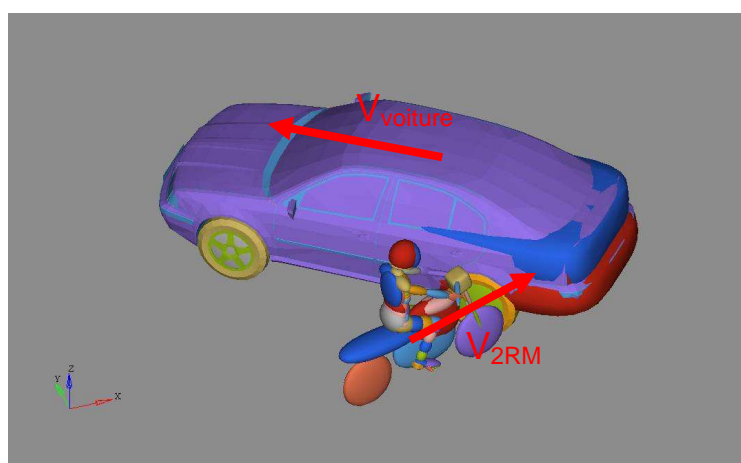


Figure 2-33. Conditions initiales du choc avec $V_{voiture} = 8 \text{ m/s}$ et $V_{2RM} = 13 \text{ m/s}$.

Les conditions initiales de l'accident sont décrites dans la figure 2-33 avec une vitesse de 8 m/s pour la voiture et de 13 m/s pour la moto. L'angle d'impact entre les deux véhicules est de 46°.



Figure 2-34. Extrait de la reconstruction de l'accident avec le logiciel MADYMO.

Les vitesses et les conditions initiales sont implémentées dans le logiciel MADYMO afin de reconstruire l'accident, comme illustré en figure 2-34. Les accélérations de la tête sont alors extraites et introduites dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-35a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone frontale. Un maxima de 7.4kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas CEESAR FRC07010 est calculé ce qui correspond à moins de 1% de risque d'apparition de lésions neurologiques sévères.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous durax est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -65 kPa correspondant à un risque lésionnel inférieur à 1% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-8.

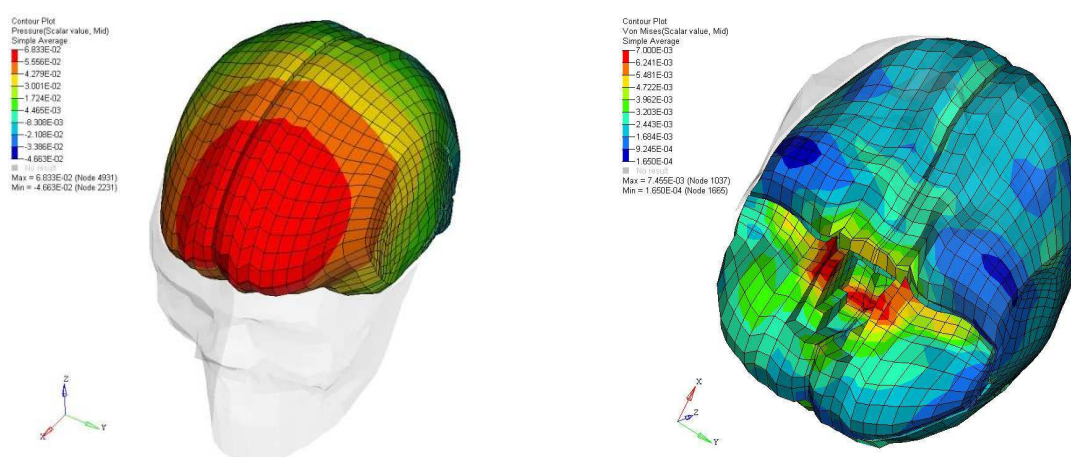


Figure 2-35. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas CEESAR FRC07010.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
7.4 kPa	<<1 % (neurologiques sévères)	-65 kPa	<< 1 % (SDH)

Tableau 2-8. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas CEESAR FRC07010.

Les résultats montrent une bonne corrélation avec les lésions réellement occasionnées par l'accident.

Afin de comprendre le comportement du casque en situation de choc réel, nous avons reproduit numériquement le cas CEESAR 07010 en positionnant l'ensemble tête casque par rapport au sol comme illustré en figure 2-36. Position et vitesse de la tête casquée ont été

extraites de la reconstruction MADYMO. Le MEF de la tête casquée a alors été lancé à une vitesse de 9.2m/s sur un MEF de sol. La déformation du polystyrène expansé au cours du choc est proposée au travers de la figure 2-37. Une déformation maximale de celui-ci de 85% a été calculée (figure 2-38).

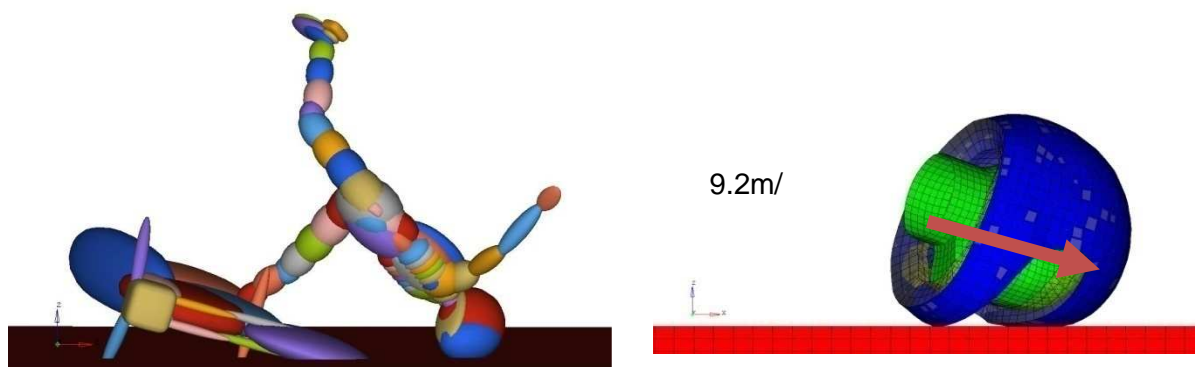


Figure 2-36. Configuration initiale de l'impact au sol pour le cas CEESAR 07010. A gauche position du corps au moment de l'impact au sol calculé sous MADYMO permettant le positionnement initial des MEF (à droite) avant le choc sous RADIOSS avec une vitesse d'impact calculé de l'ensemble tête casque de protection de 9.2m/s.

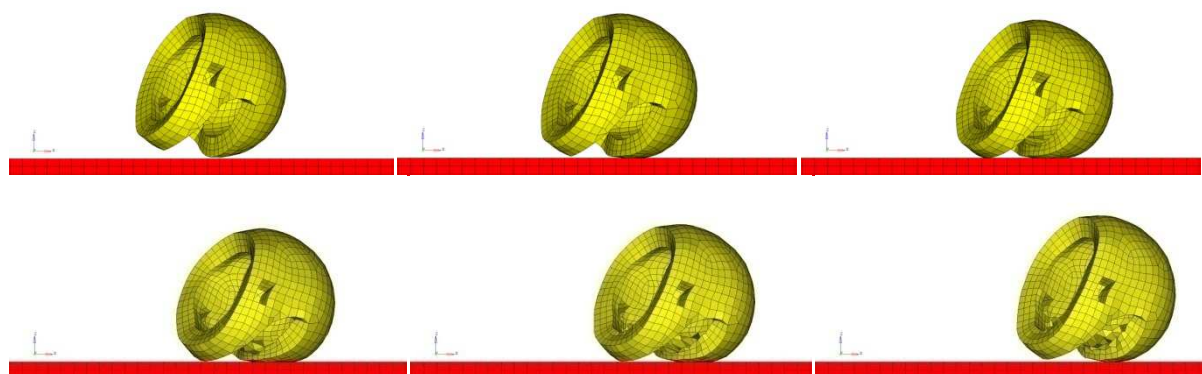


Figure 2-37. Illustration de la déformation du polystyrène expansé pendant l'impact pour le cas CEESAR 07010.

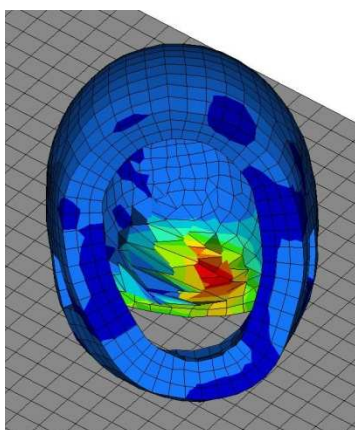


Figure 2-38. Illustration de la déformation maximale du polystyrène expansé pendant le choc avec une déformation maximale de 85% pour le cas CEESAR 07010.

2.4.5. Cas CEESAR FRC07011

L'accident est entre une voiture et une moto. La voiture est dans un embouteillage, en retard pour un rendez vous de chantier. Il décide de faire demi-tour sur le parking en face de lui (coté droit), en franchissant une ligne blanche. Il ne voit personne en face. Il s'engage et en redressant les roues (pied sur le frein) pour reculer et partir dans l'autre sens. Il est percuté par le motard. Il cale. Au sol il y a deux traces de ripage des pneus arrière.

Le motard déclare rouler entre 50 km/h et 65 km/h, car il démarrait du feu plus loin (environ 400 m). Ses feux étaient allumés. Il connaît la route et il pensait que la voiture allait se garer dans le parking. En arrivant à la hauteur du passage piéton, il regarde les gens sur le trottoir. Au moment où il regarde devant lui, il perçoit la voiture en plein milieu et n'a pas le temps de freiner.

Il percute la voiture sur l'arrière gauche et fait un vol plané pour être arrêté contre une camionnette qui était arrêtée (figure 2-39).

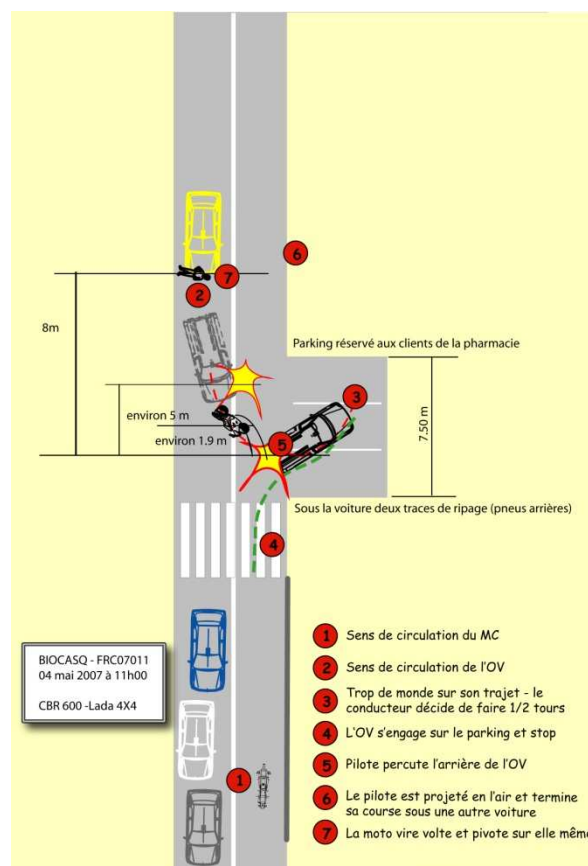


Figure 2-39. Représentation du scénario de l'accident.

Le motocycliste a eu une perte de connaissance initiale. A l'arrivée des secours, il est initialement confus et agité puis rapidement retrouve un Glasgow de 15. Il possède une fracture de l'humérus droit, des dermabrasions sur le dos avec des traces de bitume et un hématome de l'œil droit sans trouble de l'oculomotricité.

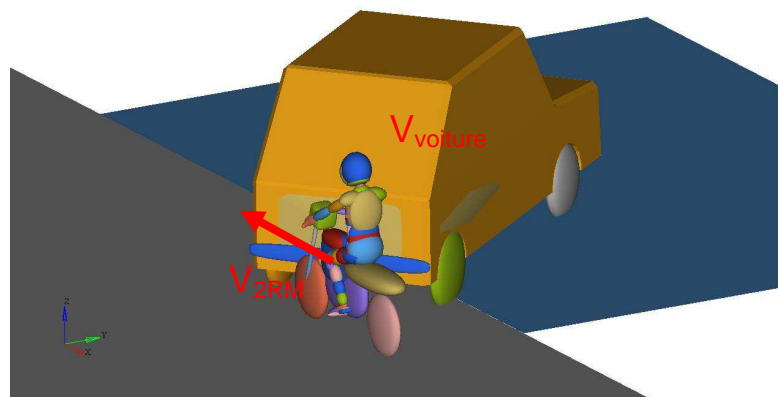


Figure 2-40. Conditions initiales du choc avec $V_{\text{voiture}} = 0 \text{ m/s}$ et $V_{2\text{RM}} = 18 \text{ m/s}$.

Les conditions initiales de l'accident sont décrites dans la figure 2-40 avec une vitesse de 18 m/s pour la moto. La voiture est considérée arrêtée. L'angle d'impact entre les deux véhicules est de 55°.

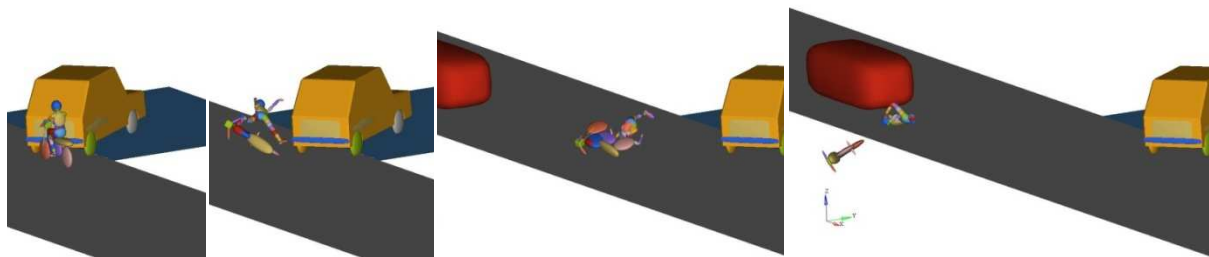


Figure 2-41. Extrait de la reconstruction de l'accident avec le logiciel MADYMO.

Les vitesses et les conditions initiales sont implémentées dans le logiciel MADYMO® afin de reconstruire l'accident, comme illustré en figure 2-41. Les accélérations de la tête sont alors extraites et introduites dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-42a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone frontale gauche alors que le maximum de contraintes de cisaillement se situe entre le cerveau et le cervelet.

Un maxima de 15 kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas CEESAR FRC07011 est calculé ce qui correspond à 1% de risque d'apparition de lésions neurologiques modérées.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous durs est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -99.5kPa correspondant à un risque lésionnel inférieur à 8% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-9.

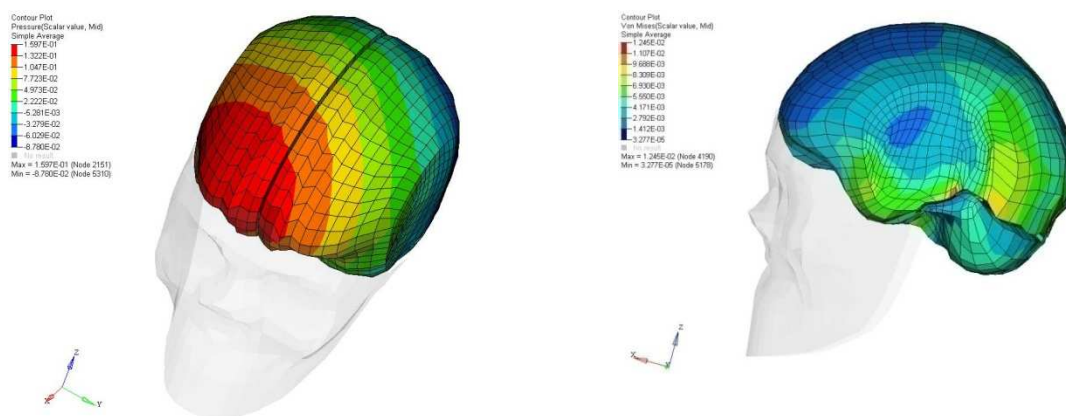


Figure 2-42. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas CEESAR FRC07011.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
15 kPa	1 % (neurologiques sévères)	-99.5 kPa	8 %

Tableau 2-9. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas CEESAR FRC07011.

Les résultats montrent une bonne corrélation avec les lésions réellement occasionnées par l'accident.

Afin de comprendre le comportement du casque en situation de choc réel, nous avons reproduit numériquement le cas CEESAR FRC07012 en positionnant l'ensemble tête casque par rapport au sol comme illustré en figure 2-43. Position et vitesse de la tête casquée ont été extraites de la reconstruction MADYMO. Le MEF de la tête casquée a alors été lancé à une vitesse de 4.7m/s sur un MEF de sol. La déformation du polystyrène expansé au cours du choc est proposée au travers de la figure 2-44. Une déformation maximale de celui-ci de 25% a été calculée (figure 2-45).

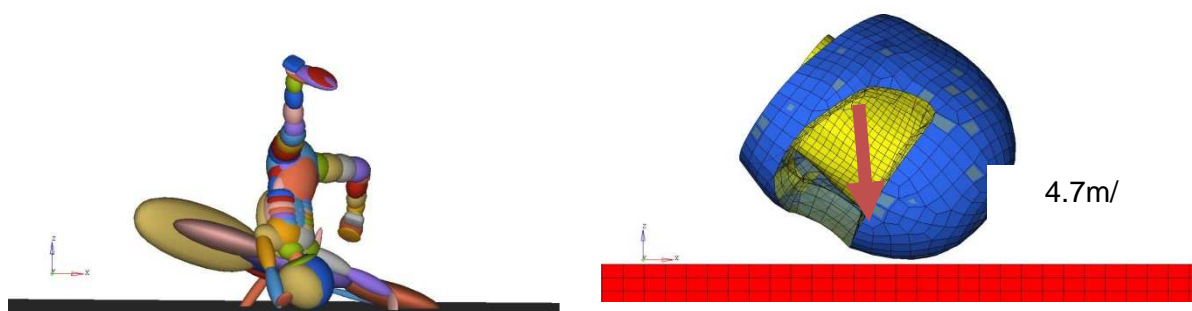


Figure 2-43. Configuration initiale de l'impact au sol pour le cas CEESAR FRC07012. A gauche position du corps au moment de l'impact au sol calculé sous MADYMO permettant le positionnement initial des MEF (à droite) avant le choc sous RADIOSS avec une vitesse d'impact calculé de l'ensemble tête casque de protection de 4.7m/s.

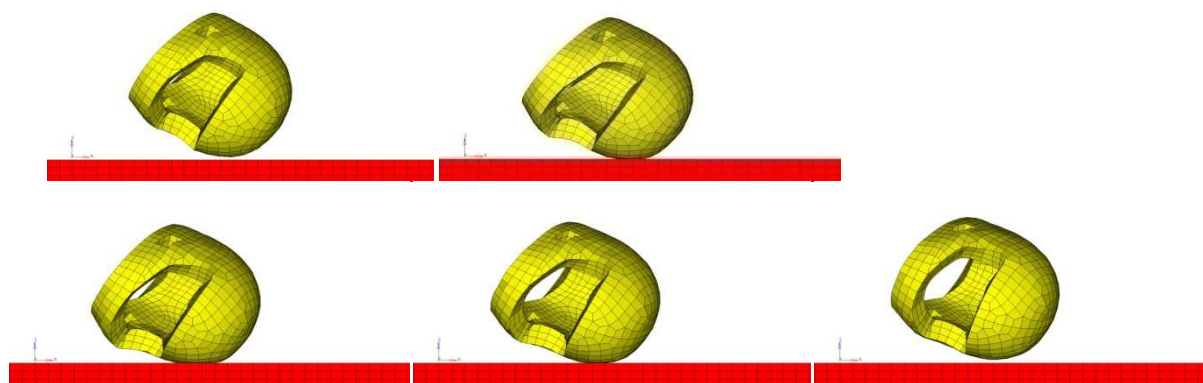


Figure 2-44. Illustration de la déformation du polystyrène expansé pendant l'impact pour le cas CEESAR FRC07012.

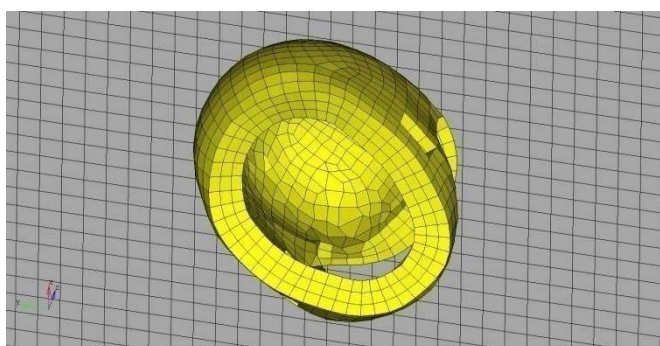


Figure 2-45. Illustration de la déformation maximale du polystyrène expansé pendant le choc avec une déformation maximale de 25% pour le cas CEESAR FRC07012.

2.4.6. Cas CEESAR FRC07012

Ce cas correspond à un accident entre une voiture de type Galaxie et une moto. Le motocycliste ralentit car il voit devant lui une voiture arrêtée au feu. La voiture, un Galaxie, devant lui se déporte à droite. Le motocycliste pense que cette voiture va se mettre à côté de l'autre véhicule arrêté au feu. Il regarde à sa gauche une enseigne qui clignote. Il perçoit dans son champ visuel une masse et regarde. Le Galaxie est arrêté. Le motocycliste n'a pas le temps de réagir, il percute l'arrière du Galaxie et passe par-dessus sa moto et chute violemment sur la tête. Puis vire volte avant de s'arrêter sur la voie de bus. La moto reste accrochée sur le Galaxie avant de chuter elle aussi.

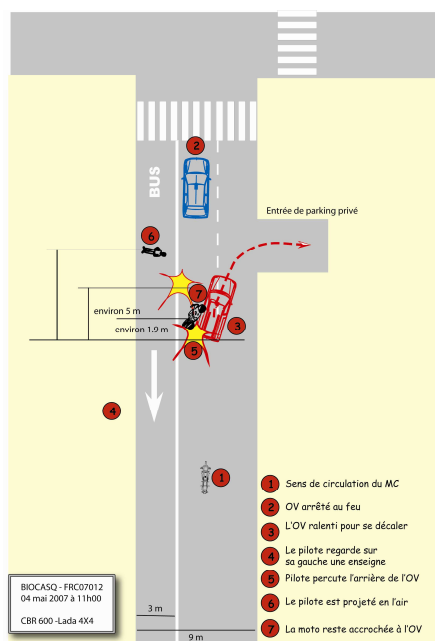


Figure 2-46. Représentation du scénario de l'accident.

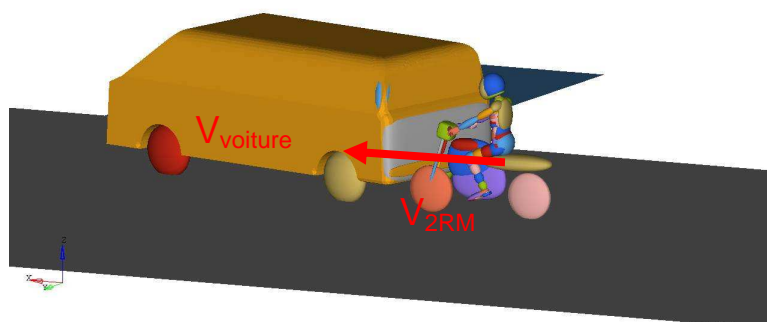


Figure 2-47. Conditions initiales du choc avec $V_{voiture} = 0$ m/s et $V_{2RM} = 10$ m/s.

Les conditions initiales de l'accident sont décrites dans la figure 2-47 avec une vitesse de 10 m/s pour la moto. La voiture est considérée arrêtée. L'angle d'impact entre les deux véhicules est de 20%.

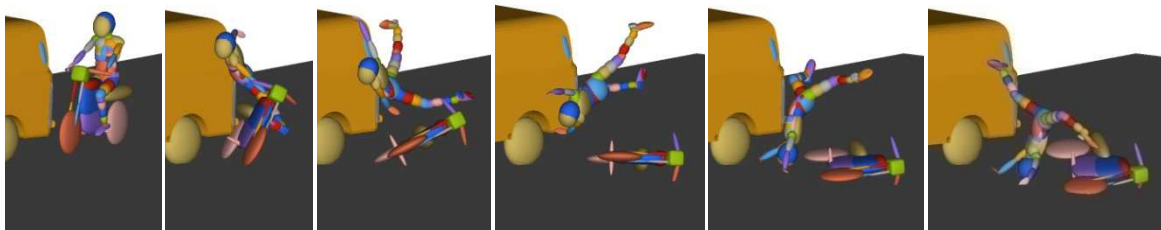


Figure 2-48. Extrait de la reconstruction de l'accident avec le logiciel Madymo.

Les vitesses et les conditions initiales sont implémentées dans le logiciel Madymo afin de reconstruire l'accident, comme illustré en figure 2-48. Les accélérations de la tête sont alors extraites et introduites dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-49a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone pariétale droite alors que le maximum de contraintes de cisaillement se situe entre les deux hémisphères en zone occipitale.

Un maxima de 20.7kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas CEESAR FRC07012 est calculé ce qui correspond à 10% de risque d'apparition de lésions neurologiques modérées.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous durax est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -109kPa correspondant à un risque lésionnel de 13% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-10.

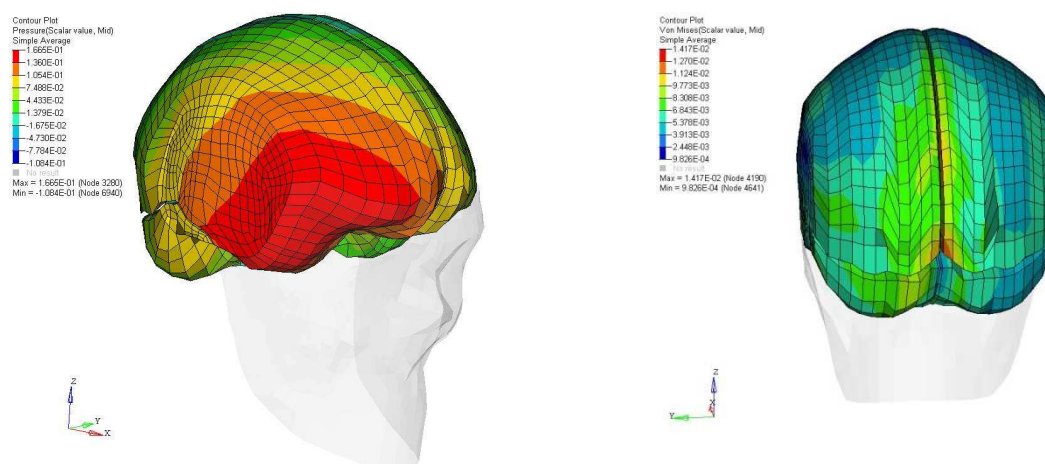


Figure 2-49. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas CEESAR FRC07012.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
20.7 kPa	20 % (neurologiques modérées)	-109 kPa	13 %

Tableau 2-10. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas CEESAR FRC07012.

Les résultats montrent une bonne corrélation avec les lésions réellement occasionnées par l'accident.

2.4.7. Cas INRETS 1996014

Ce cas présente un accident entre une moto et un fourgon. Une moto percute un fourgon en phase d'insertion dans la voie de gauche en sortant d'un parking. Le motocycliste effectue un freinage assez fort qui le déporte légèrement sur la gauche de la voie. Le fourgon continue sa traversée (figure 2-50). La vitesse initiale de la moto est évaluée à 60 km/h. La

vitesse du fourgon est estimée à 15 km/h et la vitesse de la moto au choc est évaluée entre 20 et 30 km/h.

Le motocycliste percute le fourgon puis tombe sur le sol, deux impacts sont donc à considérer. Aucune lésion neurologique n'a été décelée. Néanmoins il a eu des contusions fronto-bitemporales avec perte de connaissance initiale (inférieure à 1 heure), des contusions au genou gauche et des contusions abdominales.

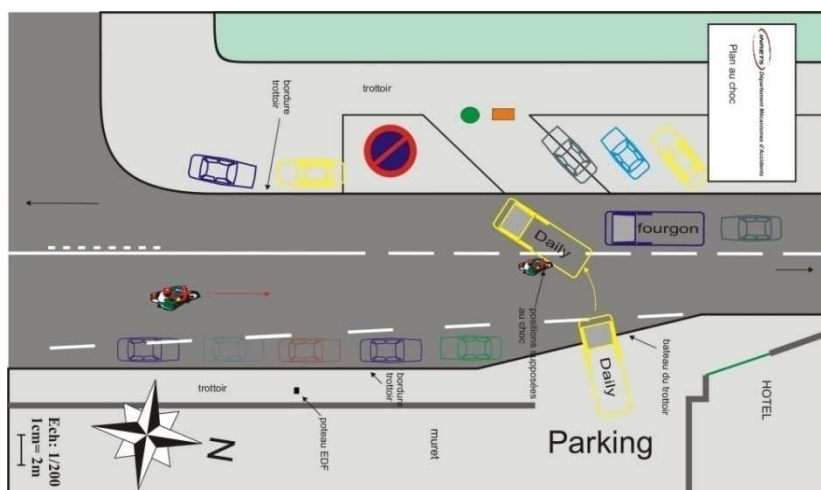


Figure 2-50. Représentation du scénario de l'accident.

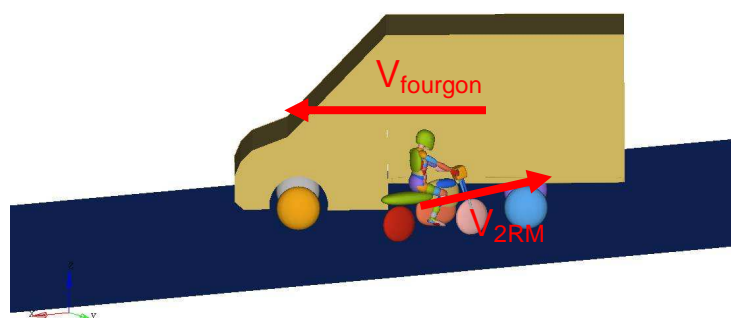


Figure 2-51. Conditions initiales du choc avec $V_{\text{fourgon}} = 0 \text{ m/s}$ et $V_{2RM} = 9 \text{ m/s}$.

Les conditions initiales de l'accident sont décrites dans la figure 2-51 avec une vitesse de 9 m/s pour la moto. La voiture est considérée arrêtée.

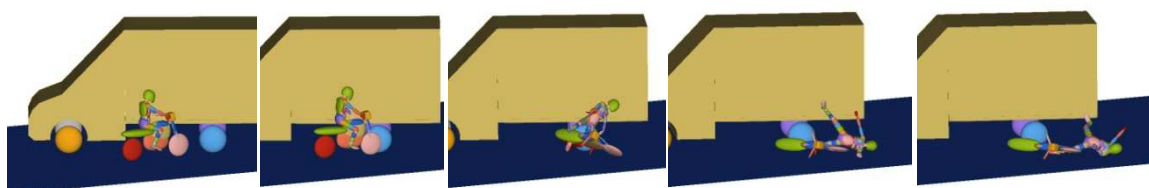


Figure 2-52. Extrait de la reconstruction de l'accident avec le logiciel Madymo.

Les vitesses et les conditions initiales sont implémentées dans le logiciel Madymo afin de reconstruire l'accident, comme illustré en figure 2-52. Les accélérations de la tête sont alors extraites et introduites dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

Premier impact

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-53a et b. Le maximum de contraintes de cisaillement intracérébrales est localisé en zone fronto-pariétale gauche.

Un maxima de 10.7kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le premier impact du cas INRETS 1996014 est calculé ce qui correspond à un risque inférieur à 1% de risque d'apparition de lésions neurologiques modérées.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous duraux est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -62.4kPa correspondant à un risque lésionnel inférieur à 1% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-11.

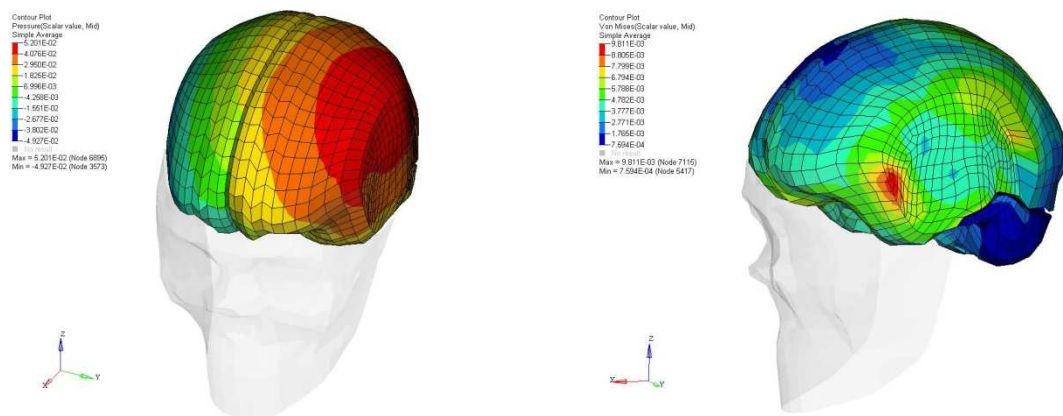


Figure 2-53. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas INRETS 1996014 pour le premier impact.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
10.7 kPa	<<1 % (neurologiques sévères)	-62.4 kPa	<<1 %

Tableau 2-11. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas INRETS 1996014 pour le premier impact.

Deuxième impact

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral pour le second impact sont illustrés en figure 2-54a et b. Le maximum de contraintes de cisaillement intracérébrales est localisé en zone latérale gauche.

Un maxima de 29.5kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le second impact du cas INRETS 1996014 est calculé ce qui correspond à un risque de 79% quant à l'apparition de lésions neurologiques modérées et de 26% pour une lésion neurologique sévère.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous duraux donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal est de 43% avec une valeur de pression de -132.5kPa. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-12.

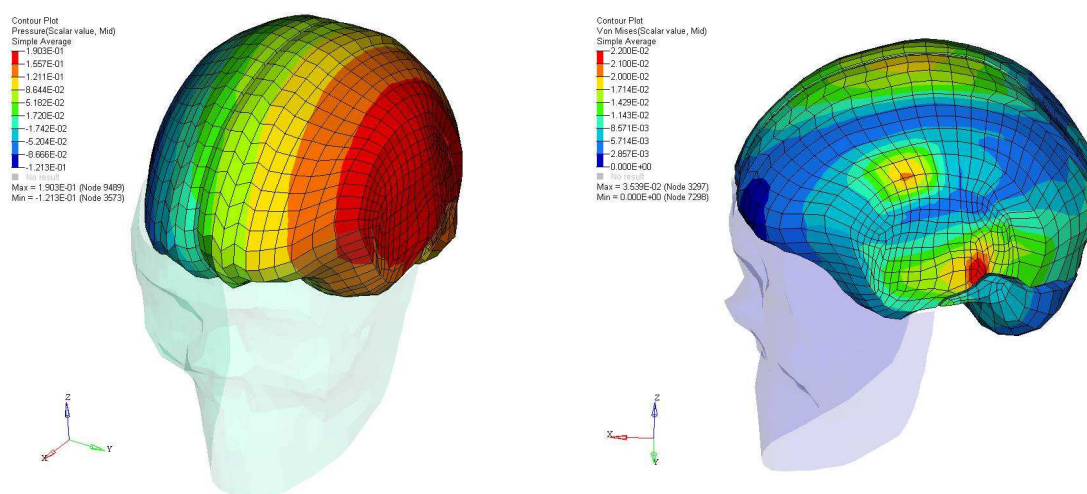


Figure 2-54. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas INRETS 1996014 pour le deuxième impact.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
29.5 kPa	79 % (neurologiques modérée) 26 % (neurologiques sévères)	-132.5 kPa	43 %

Tableau 2-12. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas INRETS 1996014 pour le deuxième impact.

En ce qui concerne le premier impact, les résultats ne montrent pas de liens avec les lésions occasionnées. En revanche, le second impact est mieux corroboré avec l'accident.

Afin de comprendre le comportement du casque en situation de choc réel, nous avons reproduit numériquement le cas INRETS 1993014 en positionnant l'ensemble tête casque par rapport au sol comme illustré en figure 2-55. Position et vitesse de la tête casquée ont été extraites de la reconstruction MADYMO. Le MEF de la tête casquée a alors été lancé à une vitesse de 7.9m/s sur un MEF de sol. La déformation du polystyrène expansé au cours du choc est proposée au travers de la figure 2-56. Une déformation maximale de celui-ci de 65% a été calculée (figure 2-57).

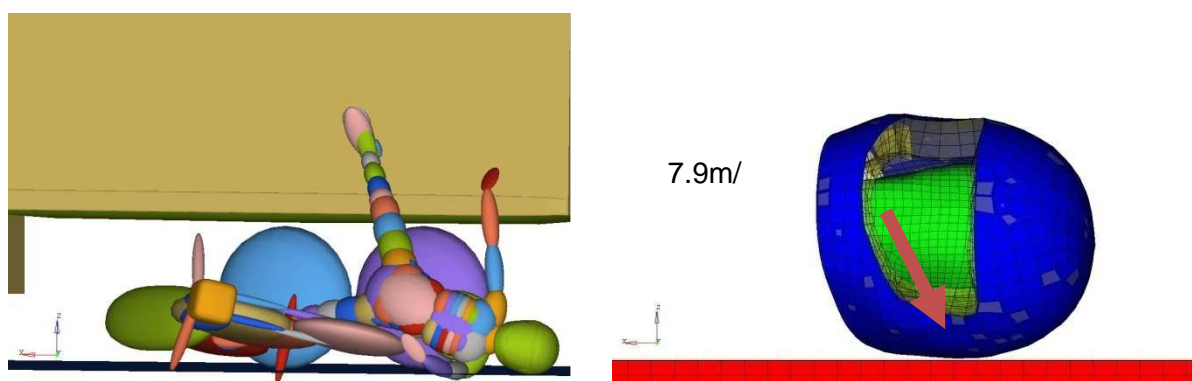


Figure 2-55. Configuration initiale de l'impact au sol pour le cas INRETS 1993014. A gauche position du corps au moment de l'impact au sol calculé sous MADYMO permettant le positionnement initial des MEF (à droite) avant le choc sous RADIOSS avec une vitesse d'impact calculé de l'ensemble tête casque de protection de 7.9m/s.

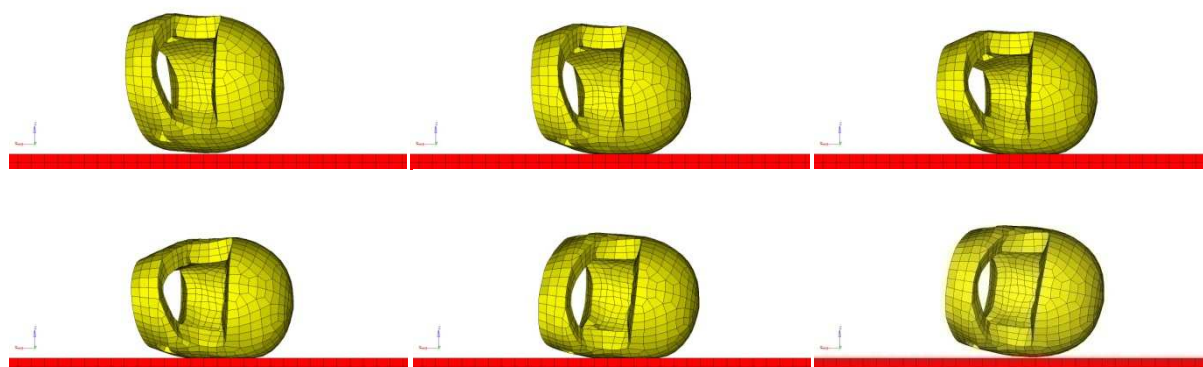


Figure 2-56. Illustration de la déformation du polystyrène expansé pendant l'impact pour le cas INRETS 1993014.

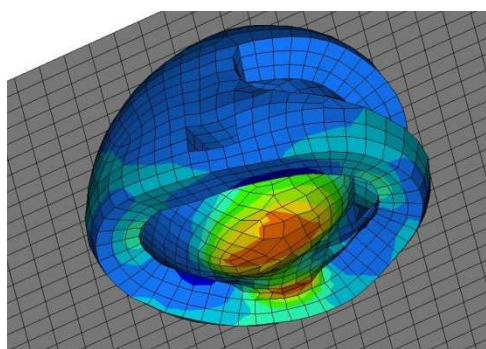


Figure 2-57. Illustration de la déformation maximale du polystyrène expansé pendant le choc avec une déformation maximale de 65% pour le cas INRETS 1993014.

2.4.8. Cas INRETS 2003034

Par temps clair et trafic fluide, la conductrice d'une Peugeot 306 circule sur une route départementale. Elle aborde une intersection en croix sur son axe principal avec l'intention de tourner à gauche. Elle met le clignotant, ralentit et perçoit un véhicule qui circule en sens inverse. Ce dernier arrive à faible allure avec le clignotant à gauche. Après un moment d'hésitation, la conductrice de la Peugeot 306 estime avoir le temps d'effectuer sa

manœuvre de tourne à gauche. Ceci avant que l'autre véhicule arrive à sa hauteur. C'est au moment où la conductrice de la Peugeot 306 effectue sa manœuvre qu'elle perçoit sur sa droite un booster. Son tourne à gauche est déjà bien engagé mais l'accident est inévitable. L'avant du booster viendra percuter l'arrière droit de la Peugeot 306 en choc fronto latéral. Sous le choc, la conductrice immobilisera son véhicule dans l'intersection. Le booster glissera sur plusieurs mètres avant de se stabiliser sur la chaussée (figure 2-58).

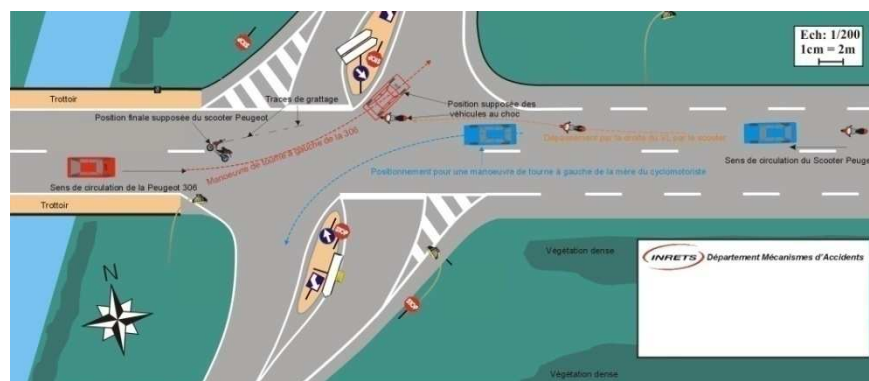


Figure 2-58. Représentation du scénario de l'accident.

Le motocycliste a eu un traumatisme crânien sans perte de connaissance avec dermabrasion de la hanche droite, de l'épaule gauche et du coude droit.

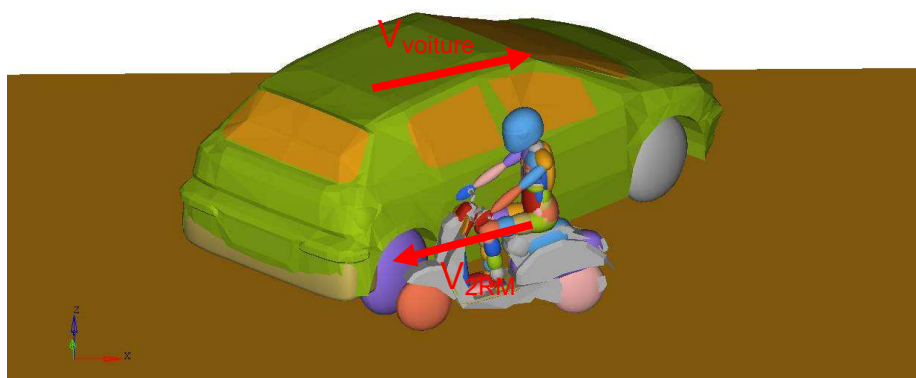


Figure 2-59. Conditions initiales du choc avec $V_{voiture} = 5 \text{ m/s}$ et $V_{2RM} = 9 \text{ m/s}$.

Les conditions initiales de l'accident sont décrites dans la figure 2-59 avec une vitesse de 5 m/s pour la voiture et de 9 m/s pour la moto.

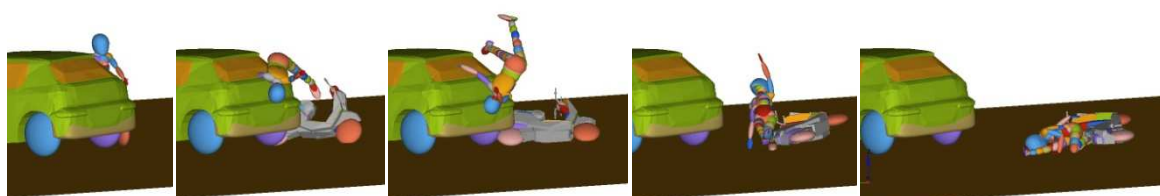


Figure 2-60. Extrait de la reconstruction de l'accident avec le logiciel MADYMO.

Les vitesses et les conditions initiales sont implémentées dans le logiciel Madymo afin de reconstruire l'accident, comme illustré en figure 2-60. Les accélérations de la tête sont alors extraites et introduites dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-61a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone frontale droite alors que le maximum de contraintes de cisaillement se situe entre le cerveau et le cervelet côté droit.

Un maxima de 42kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas INRETS 2003034 est calculé ce qui correspond à 95% de risque d'apparition de lésions neurologiques sévères.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous durax est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -162kPa correspondant à un risque lésionnel de 87% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-13.

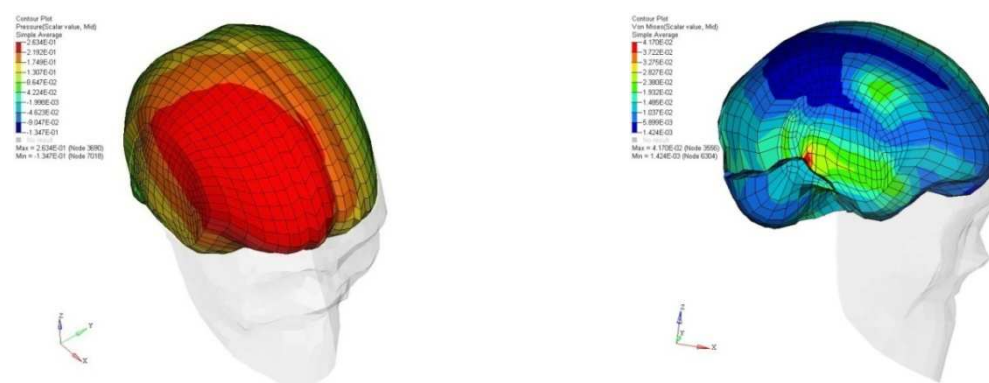


Figure 2-61. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas INRETS 2003034.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
42 kPa	95 % (neurologiques sévères)	-162 kPa	87 %

Tableau 2-13. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas INRETS 2003034.

Les résultats obtenus lors de la simulation numérique ne correspondent pas avec les lésions réellement occasionnées. Ils surestiment largement la survenue des lésions.

Afin de comprendre le comportement du casque en situation de choc réel, nous avons reproduit numériquement le cas INRETS 2003039 en positionnant l'ensemble tête casque par rapport au sol comme illustré en figure 2-62. Position et vitesse de la tête casquée ont été extraites de la reconstruction MADYMO. Le MEF de la tête casquée a alors été lancé à une vitesse de 4m/s sur un MEF de sol. La déformation du polystyrène expansé au cours du choc est proposée au travers de la figure 2-63. Une déformation maximale de celui-ci de 17% a été calculée (figure 2-64).

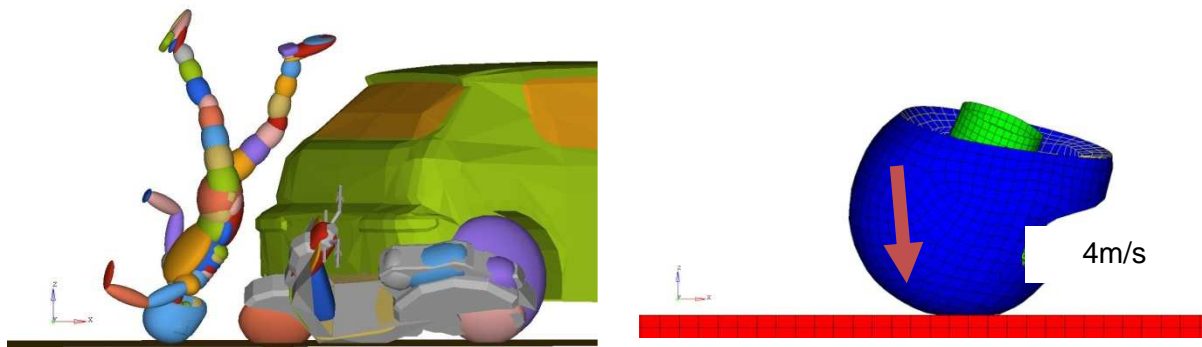


Figure 2-62. Configuration initiale de l'impact au sol pour le cas INRETS 2003039. A gauche position du corps au moment de l'impact au sol calculé sous MADYMO permettant le positionnement initial des MEF (à droite) avant le choc sous RADIOSS avec une vitesse d'impact calculé de l'ensemble tête casque de protection de 4m/s.

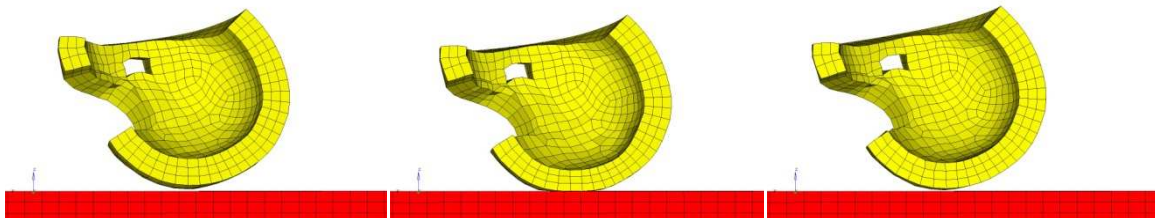


Figure 2-63. Illustration de la déformation du polystyrène expansé pendant l'impact pour le cas INRETS 2003039.

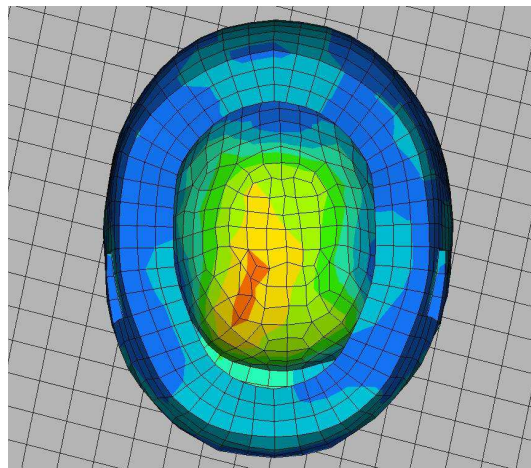


Figure 2-64. Illustration de la déformation maximale du polystyrène expansé pendant le choc avec une déformation maximale de 17% pour le cas INRETS 2003039.

2.4.9. Cas INRETS 2004039

Par temps clair et trafic faible, le conducteur d'une BMW 525 circule sur une route départementale, en entrée de village (Figure 2-65). M X approche par l'axe prioritaire d'une intersection en croix qu'il connaît bien. Fort de son expérience, il focalise sa recherche informationnelle sur le côté droit de l'axe secondaire et n'est plus attentif à ce qui se passe sur sa gauche. C'est pourquoi, il ne perçoit que trop tardivement l'arrivée d'une mobylette Motobécane (MBK) provenant de sa gauche. Surpris par l'imminence de la collision fronto-latérale qu'il n'a pas anticipée, M X n'a pas le temps de tenter une manœuvre d'urgence.

L'avant gauche de la BMW percute le côté droit de la mobylette. M X freine malgré tout. Sous le choc, le conducteur du deux roues est désarçonné de la mobylette et projeté sur le capot de la voiture où il heurte de sa tête casquée le côté droit du pare brise. Le bas du pare choc de la BMW entraîne la mobylette dans sa progression sur une dizaine de mètres avant de s'immobiliser dans sa voie de circulation. Quant au cyclomoteur, il finira sa course sur son flanc gauche 17 mètres après le point de choc, devant la BMW (figure 2-65).



Figure 2-65. Représentation du scénario de l'accident.

Le motocycliste a eu un traumatisme crânien avec hémorragie méningée ainsi que quelques pétéchies intra-parenchymateuses. Il a eu également une fracture du fémur droit, fracture ouverte du pied droit et défaillance neurologique.

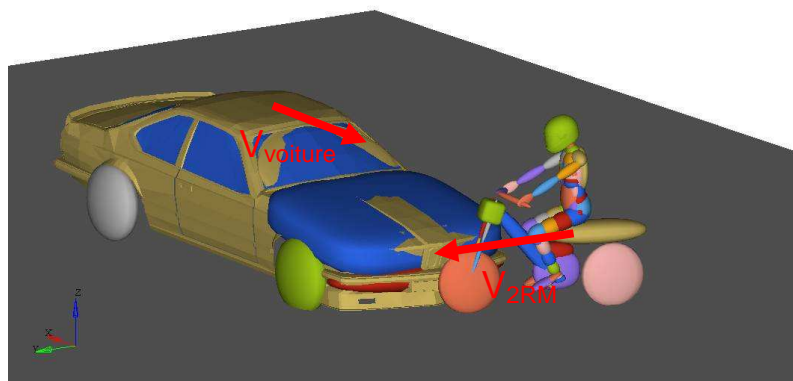


Figure 2-66. Conditions initiales du choc avec $V_{\text{voiture}} = 18 \text{ m/s}$ et $V_{2RM} = 13 \text{ m/s}$.

Les conditions initiales de l'accident sont décrites dans la figure 2-59 avec une vitesse de 18 m/s pour la voiture et de 13 m/s pour la moto.

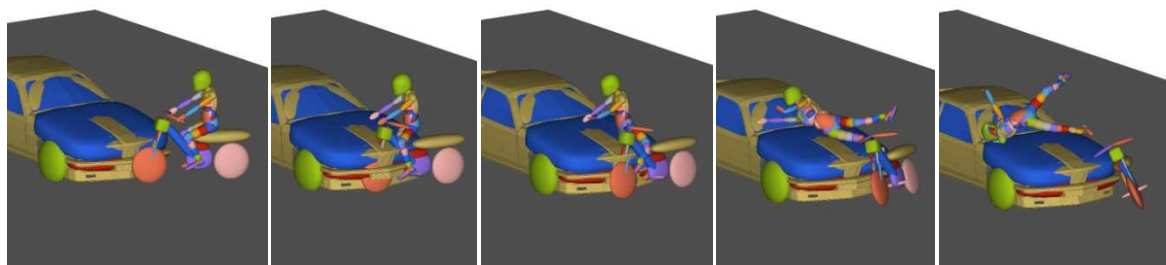


Figure 2-67. Extrait de la reconstruction de l'accident avec le logiciel MADYMO.

Les vitesses et les conditions initiales sont implémentées dans le logiciel MADYMO afin de reconstruire l'accident, comme illustré en figure 2-67. Les accélérations de la tête sont alors extraites et introduites dans le modèle par éléments finis de la tête humaine.

Les résultats numériques obtenus en termes de champs de pression et de cisaillement intracérébral sont illustrés en figure 2-68a et b. Le maximum de pression intracérébrale est localisé en zone vertex.

Un maxima de 35.6kPa en termes de contraintes de cisaillement intracérébrales pour le cas INRETS 2004039 est calculé ce qui correspond à 70% de risque d'apparition de lésions neurologiques sévères.

Le risque lésionnel encourus quant à l'apparition d'hématomes sous durax est donné par le minimum de pression dans le liquide cérébro-spinal, un minimum de -164kPa correspondant à un risque lésionnel de 88% est calculé. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2-14.

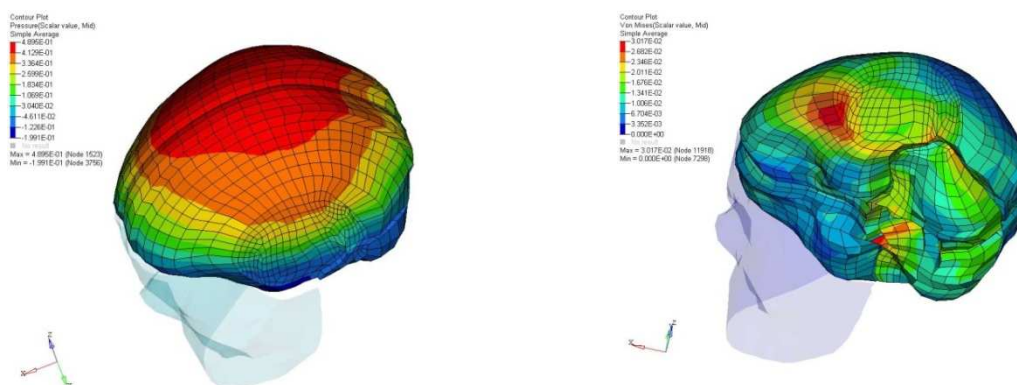


Figure 2-68. Illustration du champ de pression intracérébral (a) et du champ de contraintes de cisaillement intracérébral (b) calculé pour le cas INRETS 2004039.

Contraintes de Von Mises intracérébrales		Pression minimale dans le LCR	
Valeur	Risque de lésion	Valeur	Risque de lésion
35.6 kPa	70 % (neurologiques sévères)	-164 kPa	88 %

Tableau 2-14. Risques lésionnels calculés par le modèle éléments finis de l'Université de Strasbourg lors de la reconstruction du cas INRETS 2004039.

Pour ce cas, les lésions prédites sont bien corroborées avec les lésions réellement occasionnées lors de l'accident.

2.5. Conclusion

Sur la base d'accidents collectés par le CEESAR dans le cadre des projets MAIDS, RIDER et PROTEUS il a été proposé dans cette sous tâche de reconstruire la cinématique globale du motocycliste afin de définir les vitesses et positions de la tête casquée au moment du choc. Cette reconstruction a été conduite dans le cadre d'une collaboration CEESAR-UdS et a nécessité la modélisation de l'environnement et d'utiliser des modèles humains réalistes sous les logiciels PC-CRASH® et MADYMO®, des codes de calcul orientés « cinématique des corps rigides ». Une coopération entre PROMOTO et BioCASQ nous a permis de recueillir 10 cas d'accident de la base de données EDA de l'INRETS MA (Salon de Provence). L'INRETS LBA (Marseille) nous a également transféré un modèle de moto sous MADYMO®. Un total de 44 cas réels ont finalement été traités dont 8 cas ont été simulés avec de la tête par éléments finis (SUFEHM), comme reportés dans le tableau 2-15. Les résultats des reconstructions d'accident montrent des différences notables entre les lésions prédites et les lésions effectivement occasionnées. Ces différences sont essentiellement dues à la difficulté de reconstruire correctement les accidents avec peu d'éléments. Les cas les plus difficiles sont d'ailleurs les accidents avec des vols planés. Parmi les 8 cas simulés avec la tête par éléments finis, 6 cas sont en adéquation avec les accidents réels.

Cette analyse de la tête casquée en situation de choc a permis de faire la lumière sur les mécanismes de lésions spécifiques au motocycliste, notamment quant au problème de chargements de la tête occasionnés par les conditions aux limites du cou et du thorax. En effet, l'influence de ces parties lors du choc peut modifier le chargement cinétique de la tête, ce qui peut expliquer certaines différences entre les simulations et la réalité.

Référence	V _{2RM} [m/s]	V _{VL} [m/s]	Type d'obstacle			Reconstruction (PCCrash Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque)
			2RM	VL	Autre	
FRC03020	26.7	7.5	Moto	VL		PCCrash
FRC05001P	0	19.4			Piéton	
FRC06003	9.7	13.3	Moto	VL		PCCrash Madymo
FRC06015	15.0	0.0	Moto			PCCrash Madymo Radioss Tête seule
FRC06022	11.4	0.0	Scooter			PCCrash
FRC06023	12.5	0.0	Cyclo	VL		PCCrash
FRC07010	12.8	8.3	Moto	VL		PCCrash Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque
FRC07011	17.8	0.0	Moto	4X4		PCCrash Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque
FRC07012	9.7	0.0	Moto	Mono		PCCrash Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque
FRC07013	25.6	23.1	Moto	Mono		PCCrash
FRC07014	15.3	11.1	Scooter	scooter		PCCrash
FRC07021	14.7	0.0	Cyclo		Trottoir	PCCrash
FRC07028	31.4		Moto		Muret	PCCrash
FRC07030	3.1	0.0	Scooter	VL		PCCrash
FRC07035	12.2	0.0	Moto	VL		PCCrash
FRC07037	13.1	14.4	Moto	VL		PCCrash
FRC07040	31		Moto		Rail	PCCrash
FRC07041	12.8	0.0	Scooter	VL	Sol	PCCrash
FRC07049	3.1	0.0	Scooter	VL	Sol	PCCrash
FRC07054	12.5	0.0	Scooter	VL		PCCrash
FRC07056	15.3	12.5	Moto	VL		PCCrash
FRC07056	12.5	15.3	Moto	VL		PCCrash
FRC07059	12.2	0.0	Moto		Mur	PCCrash
FRC07062	14.2	3.6	Scooter	VL		PCCrash
FRC07062	3.6	14.2	Scooter	VL		PCCrash
FRC07065	3.3	0.0	Scooter		Sol	PCCrash
FRC07069	15.3	8.3	Moto	VL		PCCrash
FRC07100	11.9	2.5	Moto	VL		PCCrash
INRETS-1996014	8	0.0	Moto		Fourgo	Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque
INRETS-1997047	18	0.0	Moto	VL		
INRETS-1999047	19.4	0.0	Moto	VL		
INRETS-2001013	16.6		Scooter			
INRETS-2003034	5.5	8.3	Cyclo	VL		Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque
INRETS-2004039	12.5	16.6	Cyclo	VL		Madymo Radioss Tête seule Radioss Casque
INRETS-2005011	20.8	2.7	Moto	VL		
INRETS-2005042	7	2.7	Moto	VL		
INRETS-2006042	20.8	6.6	Moto	VL		
INRETS-2006045	9.7	12.5	Moto	VL		

Tableau 2-15. Récapitulatif des cas d'accidents réels recueillis.

3. Tâche 2 : Matériaux et structure du casque (**UdS**, SHARK)

3.1. Tâche 2.1 : Caractérisation expérimentale (**SHARK**, UdS)

3.1.1. Introduction

Les matériaux composites sont des matériaux composés de deux ou plusieurs constituants en contact intime à l'échelle microscopique. Ils possèdent ainsi des propriétés que les éléments seuls ne possèdent pas. Ce phénomène, qui permet d'améliorer la qualité de la matière face à une certaine utilisation (légèreté, rigidité à un effort, etc.), explique l'utilisation croissante des matériaux composites, dans différents secteurs industriels. Néanmoins, la description fine des composites reste complexe du point de vue mécanique.

3.1.2. Généralité sur les composites

Les principaux composants d'un matériau composite sont la matrice et le renfort.

La matrice est l'élément liant qui a pour but de transmettre les efforts mécaniques au renfort. Elle assure aussi la protection du renfort vis à vis des diverses conditions environnementales. Dans le cas des CMO (composites à matrices organiques), les principales matrices utilisées sont :

- Les résines polyester peu onéreuses qui sont généralement utilisées avec les fibres de verre et que l'on retrouve dans de nombreuses applications de la vie courante.
- Les résines vinylester sont surtout utilisées pour des applications où les résines polyester ne sont pas suffisantes. Elle est issue d'une modification d'une résine époxyde et est excellente pour des applications de résistance chimique.
- Les résines époxy qui possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques. Elles sont généralement utilisées avec les fibres de carbone pour la réalisation de pièces de structure et d'aéronautique.
- Les résines phénoliques utilisées dans les applications nécessitant des propriétés de tenue au feu et flammes imposées par les normes dans les transports civils.
- Les résines thermoplastiques comme le polypropylène ou le polyamide.

Le renfort est le squelette supportant les efforts mécaniques. Il peut se présenter sous de nombreuses formes : fibres courtes (mat) ou fibres continues (tissus ou textures multidirectionnelles) en fonction de l'application envisagée. Les fibres possèdent généralement une bonne résistance à la traction mais une résistance à la compression faible.

Parmi les fibres les plus employées on peut citer :

- Les fibres de verre qui sont utilisées dans le bâtiment, le nautisme et diverses applications non structurantes. Le coût de production de ces fibres est peu élevé, ce qui en fait l'une des fibres les plus utilisées à l'heure actuelle.
- Les fibres de carbone utilisées pour des applications structurantes. Elles sont obtenues par la pyrolyse d'un précurseur organique ou non sous atmosphère contrôlée. Le plus utilisé de ces précurseurs est le PolyAcryloNitrile (PAN). Le prix de ces fibres reste relativement élevé mais il n'a cessé de diminuer avec l'augmentation des volumes de production. On les retrouve dans de nombreuses applications dans l'aéronautique, le spatial ainsi que les sports et loisirs de compétitions (Formule 1, mâts de bateaux).
- Les fibres d'aramide (ou Kevlar qui est une dénomination commerciale) utilisées dans les protections balistiques comme les gilets pare-balles.

- Les fibres de carbure de silicium sont une bonne réponse à l'oxydation du carbone dès 500°C. Elles sont utilisées dans des applications très spécifiques travaillant à haute température et sous atmosphère oxydante (spatial et nucléaire). Leur coût de production est très élevé ce qui limite donc leur utilisation.
- Pour les composites d'entrée de gamme, un intérêt croissant est porté aux fibres végétales, comme le chanvre ou le lin. Ces fibres ont de bonnes propriétés mécaniques pour un prix modeste, et sont particulièrement écologiques puisque ce sont des produits naturels.

3.1.3. Rappel mécanique sur les stratifiés

Lorsqu'un solide est soumis à des efforts extérieurs, il subit des contraintes internes réparties en pression et en cisaillement et qui forment une matrice symétrique $[\sigma_{ij}]$ appelée tenseur de contrainte comme le montre la figure 3-1. Ces contraintes s'accompagnent de déformations réparties en dilatation et en distorsion formant également une matrice symétrique $[\varepsilon_{ij}]$ appelée tenseur des déformations.

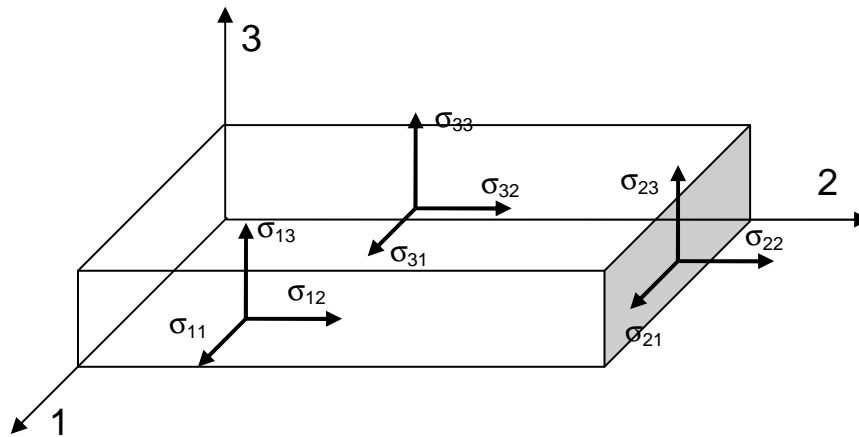


Figure 3-1. Répartition des contraintes sur les faces d'un volume parallélépipédique élémentaire.

Dans la plupart des applications structurales des composites, les matériaux peuvent être pris comme des plaques, c'est-à-dire que le renfort est parallèle au plan de la plaque. Les efforts dans la direction 3 sont ainsi considérés nuls. Les seules contraintes restantes sont alors σ_{11} , σ_{22} et σ_{12} (ou σ_{21} car symétrique) notées σ_1 , σ_2 et σ_6 . De la même manière, les déformations dans la direction 3 sont considérées comme nulles ainsi les déformations restantes sont ε_{11} , ε_{22} et ε_{12} notées ε_1 , ε_2 et ε_6 .

Les lois de Hooke s'écrivent alors :

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Avec $Q_{11} = \alpha E_1$, $Q_{22} = \alpha E_2$, $Q_{66} = \alpha G_{12}$ et $Q_{12} = Q_{21} = \alpha E_1 \nu_{12} = \alpha E_2 \nu_{21}$ et $\alpha = \frac{1}{1 - \nu_{12} \nu_{21}}$

Les rigidités Q_{ij} sont à la base des calculs concernant les matériaux stratifiés.

3.1.4. Caractérisation expérimentale des propriétés mécaniques d'un stratifié

Déterminer les propriétés mécaniques d'un stratifié revient à déterminer les modules élastiques, les coefficients de poisson et les contraintes à la rupture. Elles sont introduites par des essais mécaniques simples réalisés suivant les axes de symétrie.

3.1.4.1. Traction longitudinale ($\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = \sigma_6 = 0$)

On observe un allongement longitudinal :

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} \quad \text{Eq. 3.2}$$

Et une contraction transversale :

$$\varepsilon_2 = -\frac{\nu_{21}}{E_1} \sigma_1 = -\nu_{21} \varepsilon_1 \quad \text{Eq. 3.3}$$

Avec E_1 : module de Young longitudinal
 ν_{21} : coefficient de poisson longitudinal

3.1.4.2. Traction transversale ($\sigma_2 \neq 0, \sigma_1 = \sigma_6 = 0$)

Nous avons :

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Et

$$\varepsilon_1 = -\frac{\nu_{12}}{E_2} \sigma_2 = -\nu_{12} \varepsilon_2 \quad \text{Eq. 3.5}$$

Avec E_2 : module de Young transversal
 ν_{12} : coefficient de poisson transversal

3.1.4.3. Essai de cisaillement ($\sigma_6 \neq 0, \sigma_1 = \sigma_2 = 0$)

Comme cet essai est pratiqué suivant les axes de symétrie, on a simplement :

$$\varepsilon_6 = \frac{\sigma_6}{G_{12}} \quad \text{Eq. 3.6}$$

Avec G_{12} : module de cisaillement

3.1.5. Présentation d'un casque composite RSF2I

Le casque utilisé pour ce projet est un casque commercial de la marque Shark (casque RSF2I). La coque de ce casque est en composite verre – époxyde, et la coiffe est en polystyrène expansé. Une illustration de ce casque est donnée figure 3-2.



Figure 3-2. Casque RSF2I.

La coque de ce casque est divisée en quatre zones ayant chacune des propriétés mécaniques différentes. La répartition de ces zones sur la coque est donnée figure 3-3.

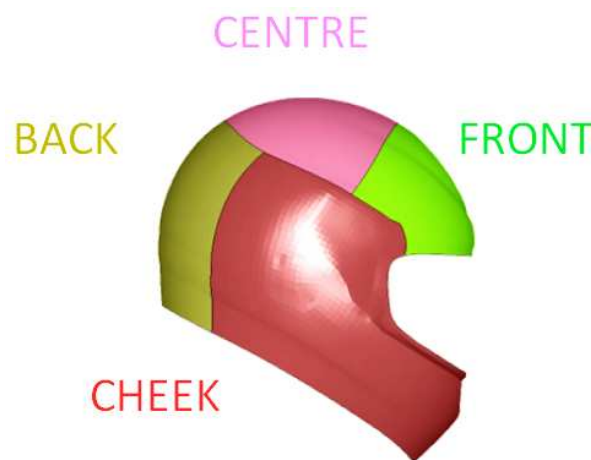


Figure 3-3. Répartition des différentes zones sur la coque du casque.

Chacune des zones considérées correspond à un empilement différent de plis de base. Les caractéristiques de chaque zone sont données dans le tableau 3-1. Quatre plis de bases sont utilisés pour ce casque : BX400, CSM450, CSM115, 385EE. Tous ces plis sont à matrice époxyde et à renfort en fibres de verre, mais la répartition et l'orientation de ces fibres est différente pour chaque pli.

Le pli BX400 est biaxial, c'est-à-dire composé de fibres orientées à $\pm 45^\circ$, de densité surfacique égale à 400g/m^2 . Les fibres utilisées pour ce pli ainsi que l'organisation de ces fibres dans la matrice sont illustrées figure 3-4.

Les plis CSM450, CSM115 et 385EE sont appelés mat, c'est-à-dire que les fibres n'ont pas une direction privilégiée. Ces trois plis seront par la suite considérés comme isotropes dans le plan. Une représentation de ce mat est donnée figure 3-5.

	e (mm)	Nb plis	Organisation
CENTRE	2.682	5	BX400 BX400 BX400 BX400 385EE
FRONT	3.054	6	385EE BX400 BX400 BX400 CSM450 CSM115
BACK	2.771	4	BX400 BX400 BX400 CSM450
CHEEK	3.349	6	CSM115 BX400 BX400 BX400 BX400 CSM450

Tableau 3-1. Caractéristiques de chaque zone composant la coque.

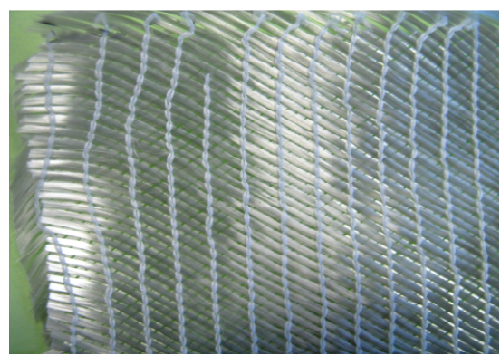
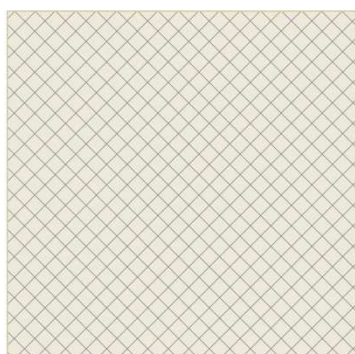


Figure 3-4. Fibres de verre composant le BX400.

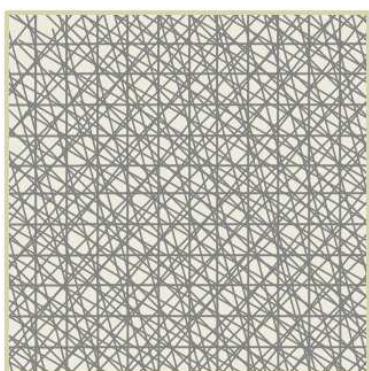


Figure 3-5. Fibres de verre composant le mat.

3.1.6. Les essais expérimentaux

3.1.6.1. Méthodologie

Afin de modéliser numériquement le casque composite, il est nécessaire de connaître tous les paramètres utilisés au niveau des lois de comportement du matériau de chaque zone. Ainsi, pour une modélisation multicouche, nous avons besoin de déterminer les modules pour chaque pli. La méthode retenue pour obtenir les propriétés élastiques de chaque pli est une méthode mixte numérique – expérimentale. A partir des plaques fournies par le constructeur, il a été possible de déterminer les modules d'Young homogénéisés de chaque zone constituant le casque. La difficulté a consisté ensuite à déterminer les propriétés élastiques de chaque pli à partir de ces données globales. La méthodologie utilisée pour déterminer les caractéristiques de chaque pli est représentée figure 3-6.

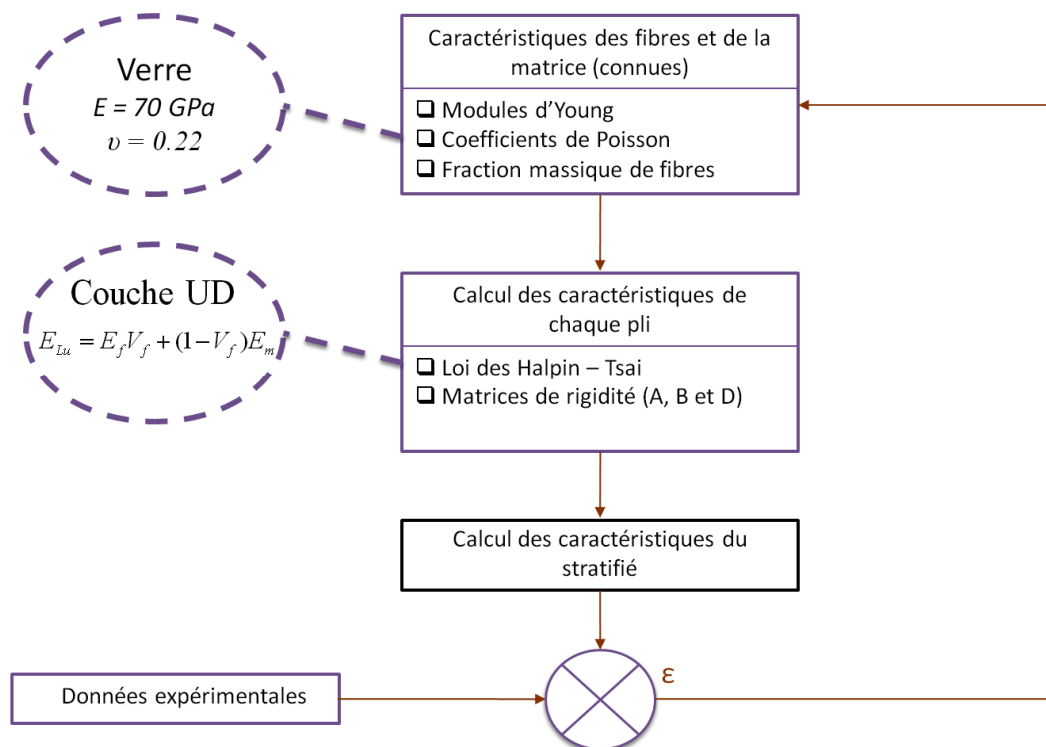


Figure 3-6. Méthodologie utilisée pour déterminer les caractéristiques de chaque pli pour chacune des zones constituant la coque.

Dans le cas du matériau biaxial, le calcul se divise en deux étapes : le calcul des modules d'élasticité pour un pli unidirectionnel puis pour un stratifié équilibré constitué de deux plis (c'est-à-dire un pli orienté à $+45^\circ$ et l'autre pli orienté à -45°).

Les caractéristiques mécaniques de départ du renfort et de la matrice sont considérées comme connues. Dans notre cas, le renfort est composé de fibres de verre et la matrice de résine époxyde, dont les modules d'Young et coefficient de Poisson sont obtenus à partir de données de la littérature. Ces données sont récapitulées dans le tableau 3-2.

	$\rho \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$	E (GPa)	ν
Verre	2600	73	0.22
Résine époxyde	1200	3	0.35

Tableau 3-2. Récapitulatif des caractéristiques du renfort et de la matrice.

Le module d'Young longitudinal est obtenu en utilisant une loi des mélanges donnée par l'eq. 3.7.

$$E_{Lu} = E_f V_f + (1 - V_f) E_m \quad \text{Eq. 3.7}$$

Où E_f est le module d'Young des fibres ;

E_m est le module d'Young de la matrice ;

V_f est la fraction volumique de fibres.

Le module d'Young transversal est donné par l'eq. 3.8.

$$E_{Tu} = \left(\frac{V_f}{E_f} + \frac{1 - V_f}{E_m} \right)^{-1} \quad \text{Eq. 3.8}$$

Enfin, le coefficient de Poisson de la couche unidirectionnelle est donné par l'eq. 3.9.

$$\nu_{LTu} = \nu_f V_f + \nu_m (1 - V_f) \quad \text{Eq. 3.9}$$

Où ν_f est le coefficient de Poisson des fibres ;

ν_m est le coefficient de Poisson de la matrice.

A partir de ces caractéristiques obtenues pour une couche unidirectionnelle, on peut déterminer les propriétés de la couche biaxiale.

Les modules d'Young longitudinaux, transversaux et de cisaillement sont donnés par les équations eq. 3.10 et eq. 3.11.

$$E_L = E_T = (1 - \alpha) [k \alpha_u E_{Lu} + (1 - k) \alpha_u E_{Tu}] \quad \text{Eq. 3.10}$$

$$G_{LT} = \left(\frac{V_f}{G_f} + \frac{1 - V_f}{G_m} \right)^{-1} \quad \text{Eq. 3.11}$$

Où $k = \frac{1}{2}$, le stratifié étant considéré comme équilibré (c'est-à-dire qu'il y a autant de fibres orientées à +45° qu'à -45°).

Le calcul des coefficients α_u et α est donné par les équations eq. 3.12 et eq. 3.13.

$$\alpha_u = \frac{1}{1 - \frac{E_{Tu}}{E_{Lu}} v_{LTu}^2} \quad \text{Eq. 3.12}$$

$$\alpha = \frac{4v_{LTu}^2}{\left(1 + \frac{E_{Lu}}{E_{Tu}}\right)^2} \quad \text{Eq. 3.13}$$

Le calcul des modules de cisaillement G_m et G_f est donné par les équations eq. 3.14 et eq. 3.15 :

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + v_m)} \quad \text{Eq. 3.14}$$

$$G_f = \frac{E_f}{2(1 + v_f)} \quad \text{Eq. 3.15}$$

En ce qui concerne le mat, le calcul est différent du cas du matériau biaxial.

Les trois modules élastiques et le coefficient de Poisson sont donnés par les équations eq. 3.16, eq. 3.17 et eq. 3.18.

$$E_L = E_T = \frac{(V_1 - V_4)(V_1 + V_4)}{V_1} \quad \text{Eq. 3.16}$$

$$v_{LT} = \frac{V_4}{V_1} \quad \text{Eq. 3.17}$$

$$G_{LT} = V_5 \quad \text{Eq. 3.18}$$

Les paramètres V_1 , V_2 et V_5 sont donnés par les équations eq. 3.19, eq. 3.20 et eq. 3.21.

$$V_1 = \frac{1}{8}(3Q_{11} + 3Q_{22} + 2Q_{12} + 4Q_{66}) \quad \text{Eq. 3.19}$$

$$V_4 = \frac{1}{8}(Q_{11} + Q_{22} + 6Q_{12} - 4Q_{66}) \quad \text{Eq. 3.20}$$

$$V_5 = \frac{V_1 - V_4}{2} \quad \text{Eq. 3.21}$$

Les paramètres Q_{11} , Q_{22} , Q_{12} et Q_{66} sont obtenus au moyen des équations eq. 3.22, eq. 3.23, eq. 3.24 et eq. 3.25.

$$Q_{11} = \alpha_u E_{Lu} \quad \text{Eq. 3.22}$$

$$Q_{22} = \alpha_u E_{Tu} \quad \text{Eq. 3.23}$$

$$Q_{12} = \alpha_u \nu_{LTu} E_{Tu} \quad \text{Eq. 3.24}$$

$$Q_{66} = G_{LTu} \quad \text{Eq. 3.25}$$

Où α_u , E_{Lu} , E_{Tu} et G_{LTu} sont les mêmes paramètres que ceux utilisés pour le calcul du biaxial.

3.1.6.2. Essais sur échantillons coque

Dans un premier temps, une campagne d'essais expérimentaux sur échantillons provenant directement de la coque du casque au niveau de la zone CENTRE a été effectuée en vibration et en flexion 3 points.

– Test en vibration

Le principe du test en vibration est de découper un échantillon de 200 mm de longueur et 20 mm de largeur et d'encaster une extrémité dans un étau. Un capteur accélérométrique est alors placé en son autre extrémité avec une masse supplémentaire afin de réduire les erreurs. Une vibration de l'échantillon est alors donnée en écartant l'extrémité libre de sa position d'équilibre. Ce test est effectué pour deux longueurs de vibration, comme le montre la figure 3-7. Quatre échantillons, découpés au niveau de la zone CENTRE, ont été testés.

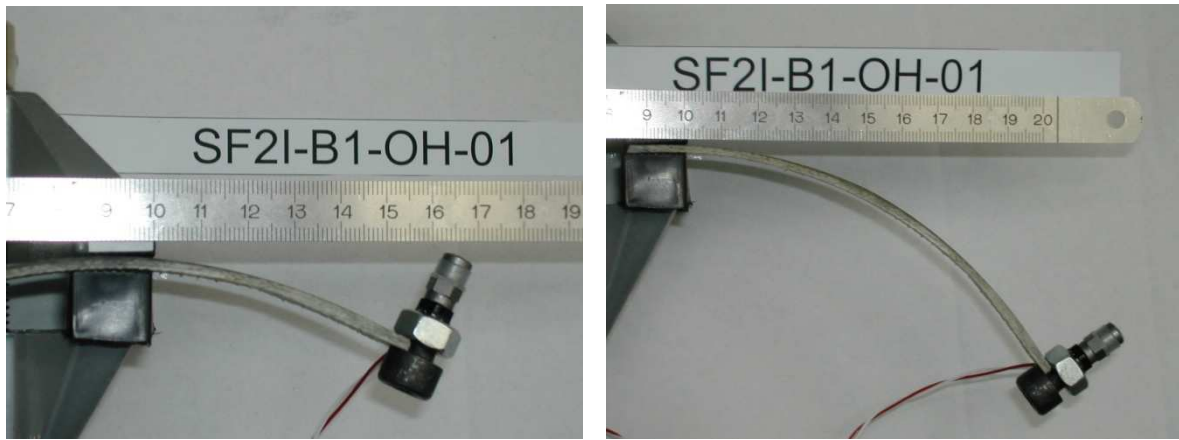


Figure 3-7. Test en vibration sur échantillon coque pour 2 longueurs de vibration.

Le type de résultat obtenu est illustré en figure 3-8. Le pic représente la fréquence de résonance de la poutre. Par ailleurs, il existe une relation mécanique qui relie la fréquence de résonance d'une poutre en vibration au module d'Young en assimilant l'échantillon à une poutre droite.

$$E = \frac{(2\pi f_0)^2 \cdot I^3}{3 \cdot I_{xx}} \cdot (M_{acc} + 0.23m_s) \quad \text{Eq. 3.26}$$

Où I est la longueur de vibration, f_0 la fréquence propre de vibration, M_{acc} la masse de l'accéléromètre, m_s la masse de l'échantillon et I_{xx} le moment d'inertie.

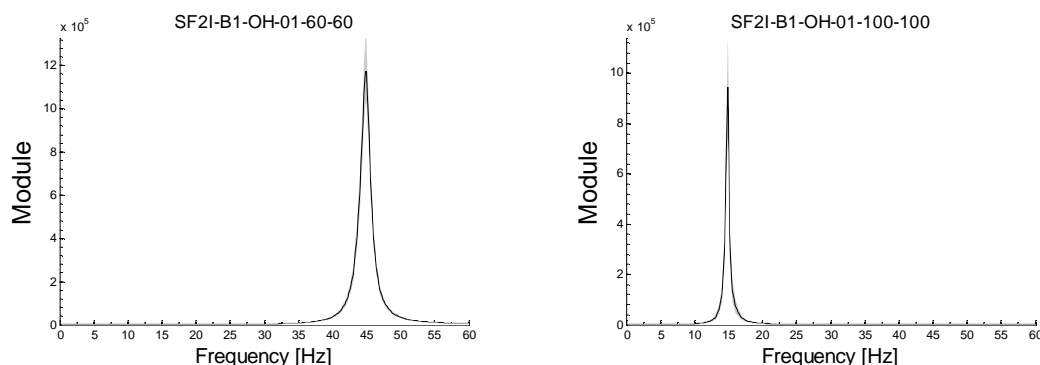


Figure 3-8. Représentation du comportement en fréquence de l'échantillon pour deux longueurs de vibration.

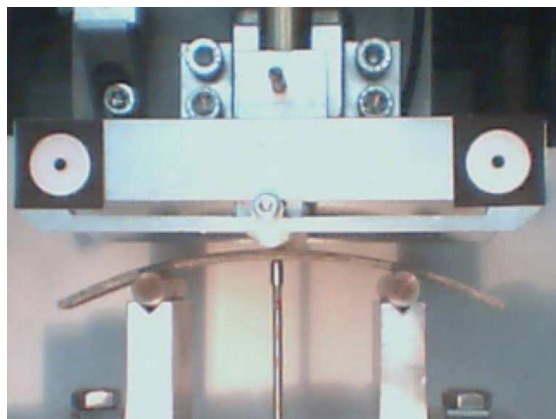
Les résultats en termes de module d'élasticité sont répertoriés dans le Tableau 3-3. On observe des variations du simple au double dues principalement aux variations géométriques sur un échantillon. En effet, il est nécessaire de posséder des échantillons calibrés avec une faible erreur géométrique. Par ailleurs, les valeurs obtenues donnent un module moyen de 5.5 GPa avec une erreur de déviation standard de 1.6 GPa.

Echantillon	Longueur de vibration	E [GPa]	E Moyen [GPa]
1	100 mm	3.00	4.3 ± 1.8
	60 mm	5.59	
2	100 mm	3.91	5.5 ± 2.3
	60 mm	7.15	
3	100 mm	6.11	6.9 ± 1.1
	60 mm	7.74	
4	100 mm	4.70	5.2 ± 0.7
	60 mm	5.77	

Tableau 3-3. Résultat des modules d'élasticité pour les tests en vibration.

– Test en flexion 3 points

Afin de corroborer les résultats obtenus en vibration, nous avons testé les mêmes échantillons en flexion 3 points. De la même manière que les tests en vibration, il existe des équations qui permettent de lier la flèche et la force au module élastique (0.1) et (0.2).



La flèche est donnée par la relation suivante

$$y = \frac{FL^3}{48EI_{xx}} \quad (0.1) \text{ soit } F = \frac{48EI_{xx}}{L^3} y \quad (0.2)$$

Avec $I_{xx} = \frac{bh^3}{12}$ le moment d'inertie de la section suivante :

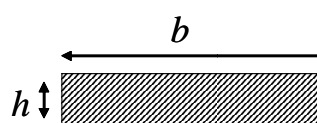


Figure 3-9. Dispositif d'essai pour la flexion 3 points et procédure calculatoire du module d'élasticité.

La Figure 3-10 représente la force en fonction de la flèche pour les quatre échantillons coque. Les valeurs des modules d'élasticité sont tabulées dans le Tableau 3-4. On observe que les valeurs déterminées en flexion sont sensiblement semblables à celles obtenues à travers les tests en vibration.

Echantillon	Longueur de flexion	E [GPa]	E Moyen [GPa]
1	60 mm	3.50	3.8 ± 0.4
	80 mm	4.09	
2	60 mm	6.60	6.0 ± 0.8
	80 mm	5.46	
3	60 mm	6.59	6.8 ± 0.3
	80 mm	7.05	
4	60 mm	5.15	5.2 ± 0.2
	80 mm	5.40	

Tableau 3-4. Résultat des modules d'élasticité pour les tests en traction.

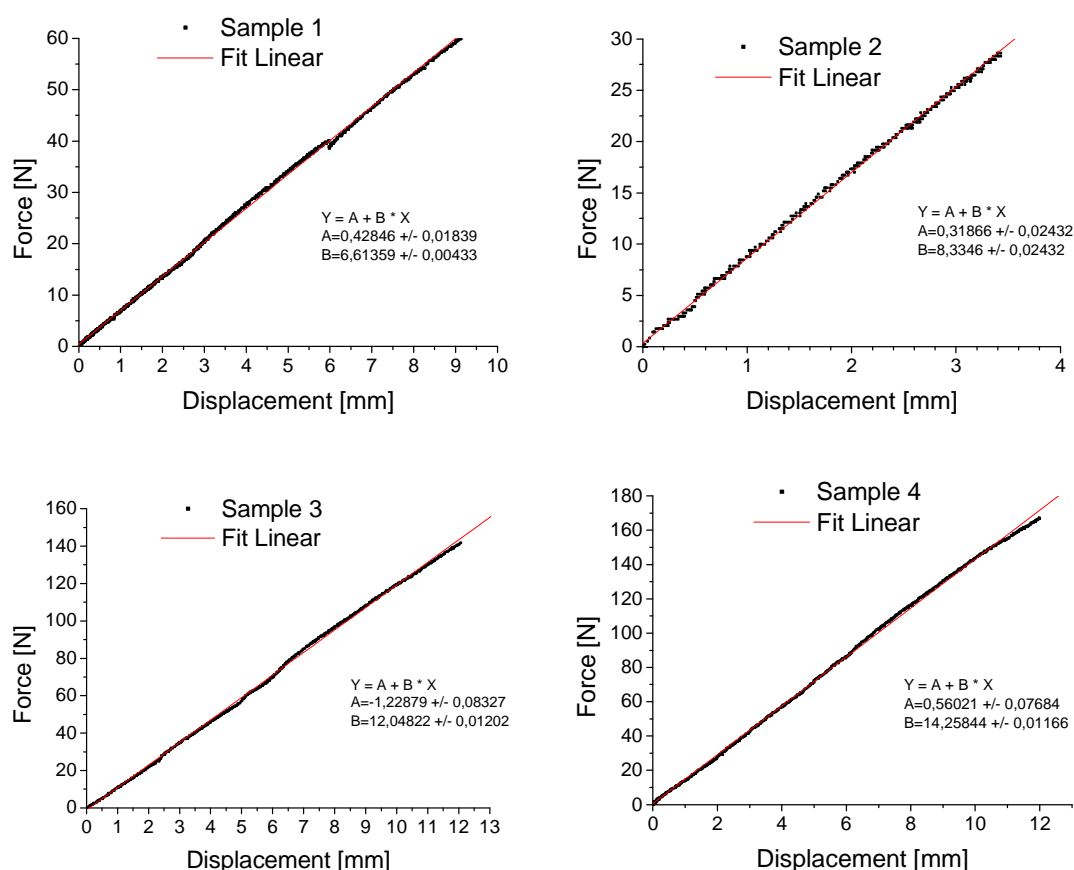


Figure 3-10. Représentation des résultats des tests en flexion 3 points pour les 4 échantillons en termes de force en fonction de la flèche pour une longueur de 80 mm.

3.1.6.3. Essais sur échantillons plans

Etant donnée l'imprécision due à la géométrie et aux hypothèses simplificatrices du fait de la forme non plane et des dimensions non constantes, nous avons décidé de procéder à des tests expérimentaux sur échantillons plan calibrés en largeur et longueur.

Pour cela, SHARK a développé un procédé qui permet de créer des plaques de 300x300mm² dont l'ordonnancement des plis est le même que pour les différentes zones de la coque RSF2I. Chaque plaque a dû être ensuite découpée afin d'obtenir des échantillons de 200x20mm² (figure 3-11).

Quelle que soit la zone considérée, les éprouvettes sont découpées selon différentes orientations comme le montre la figure 3-11 :

- à 0° pour l'étude du comportement longitudinal, ces éprouvettes seront qualifiées de type L,
- à 90° pour l'étude du comportement transversal, ces éprouvettes seront qualifiées de type T,
- à 45° pour l'étude du comportement en cisaillement, ces éprouvettes seront qualifiées de type LT

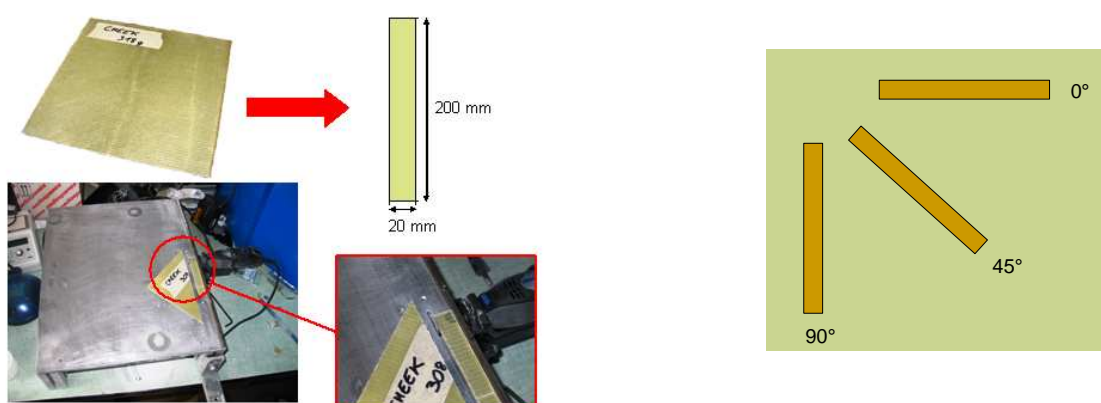


Figure 3-11. Dispositif de découpe des échantillons et orientation des échantillons.

La largeur des échantillons est de 20.8 mm avec une dispersion de 0.4 %, ce qui est nettement plus faibles que sur les échantillons coque. L'épaisseur des échantillons est de 1.9 mm avec une dispersion de 8%. Pour des moyens de commodité, chaque orientation correspond à une plaque. Au final, le nombre total d'échantillons obtenus est de 204 échantillons et la répartition de ces échantillons par zone et par direction est donné tableau 3-5.

Zone	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons par direction		
		<i>L</i>	<i>T</i>	<i>LT</i>
BACK	56	20	20	16
CENTRE	34	10	10	14
FRONT	57	20	20	17
CHEEK	57	20	20	17

Tableau 3-5. Récapitulatif du nombre d'échantillons obtenus par zone et par direction.

– Tests de traction quasi-statique

En traction, afin que les échantillons ne soient pas détériorés par les mors, il est convenu de coller des talons aux extrémités. Les talons généralement utilisés sont en duralumin ou en verre/résine. Nous avons donc découpé des talons de 40x20mm² et collé ces talons de chaque côté de l'échantillon. La figure 3-12 montre le dispositif des essais en traction.

Le matériau utilisé étant très résistant, un problème d'adhérence des talons subsistait pour des fortes charges. Il a cependant été possible d'obtenir un module d'élasticité pour chaque zone et pour chaque direction. Un exemple de courbe expérimentale obtenue est présentée figure 3-13. L'ensemble des résultats obtenus sont présentés tableau 3-6.



Figure 3-12. Dispositif d'essais pour les tests en traction.

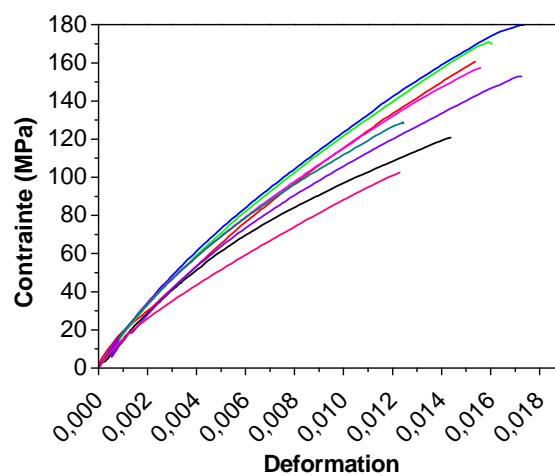


Figure 3-13. Exemple de courbes contrainte-déformation obtenues expérimentalement à une vitesse de 10 mm.min⁻¹.

	E_L (GPa)	E_T (GPa)	G_{LT} (GPa)
BACK	11.1	11.5	8.5
CENTRE	10.7	9.7	8.4
FRONT	19.1	10.2	14.6
CHEEK	20.7	23.3	13.2

Tableau 3-6. Résultats obtenus lors des tests en traction quasistatique.

– Tests en vibration

Le dispositif expérimental est le même que dans le paragraphe §3.1.5. Pour chaque échantillon, on effectue 10 tests consécutifs afin d'obtenir une valeur moyenne et éviter les erreurs dues au découpage des échantillons. Un exemple de courbe mesurée par l'accéléromètre est donné figure 3-14.

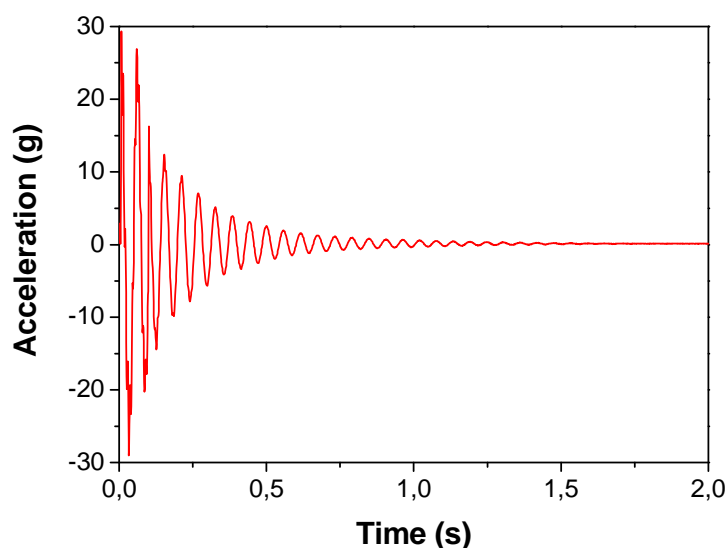


Figure 3-14. Exemple de courbe d'accélération mesurée lors des tests en vibration.

La procédure d'obtention du module d'Young est la même que celle décrite dans le paragraphe 3.1.5. Les valeurs de modules d'Young obtenues pour chaque zone et pour chaque direction au cours des tests de vibration sont données dans le tableau 3-7.

Zone	Direction	Module d'élasticité (GPa)	Ecart type (GPa)
BACK	<i>L</i>	11.2	2.9
	<i>T</i>	13.4	3.7
	<i>LT</i>	11.3	2

CENTRE	<i>L</i>	15.8	3.4
	<i>T</i>	19.7	4
	<i>LT</i>	14.6	2.2
FRONT	<i>L</i>	11.6	3.3
	<i>T</i>	13.7	1.7
	<i>LT</i>	16	1.2
CHEEK	<i>L</i>	19	2.3
	<i>T</i>	24.6	1.2
	<i>LT</i>	13.5	1.1

Tableau 3-7. Récapitulatif des résultats obtenus lors des tests de vibration.

– Tests sur coque entière

Afin de pouvoir modéliser numériquement la rupture de la coque en composite, nous avons réalisé des tests expérimentaux d'impact sur coque seule.

Le dispositif expérimental utilisé est présenté figure 3-15. La coque est encastrée au bâti au niveau de l'attache de la visière et elle est en contact direct avec la plateforme de force. Un impacteur cylindrique est lancé sur la coque dans la zone vertex à l'aide d'un vérin pneumatique (figure 3-16). Deux tests ont été réalisés pour deux vitesses d'impact différentes : 3.2 et 4.8 m.s⁻¹. Pour chaque test, on enregistre la force d'impact au moyen de la plateforme de force et le déplacement de la coque au niveau de l'impact à l'aide d'un capteur laser. Les courbes force – déplacement obtenues lors de ces tests sont données figure 3-17.

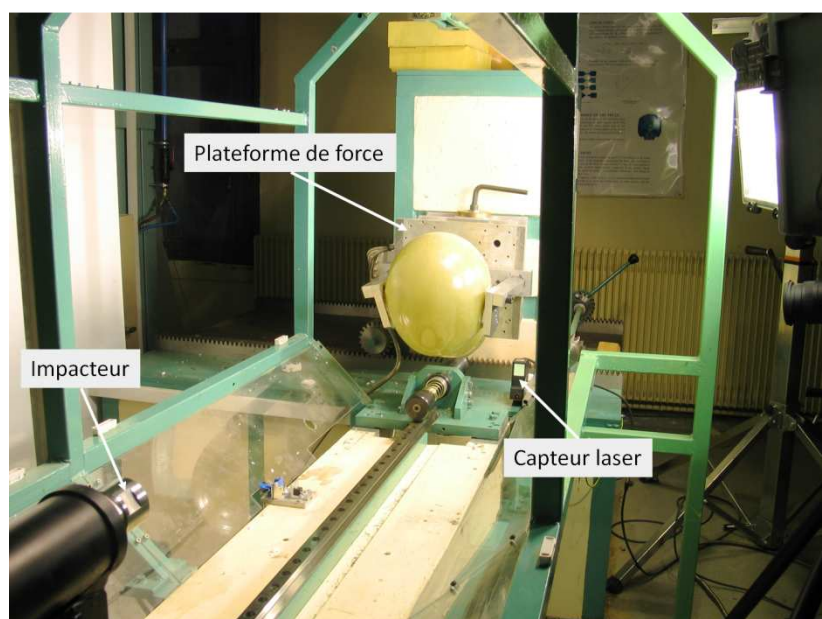


Figure 3-15. Dispositif expérimental utilisé pour les tests de rupture à l'impact.

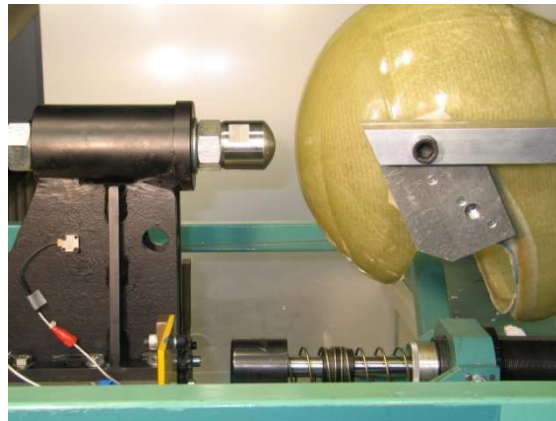


Figure 3-16. Configuration de l'impacteur et de la coque au moment de l'impact.

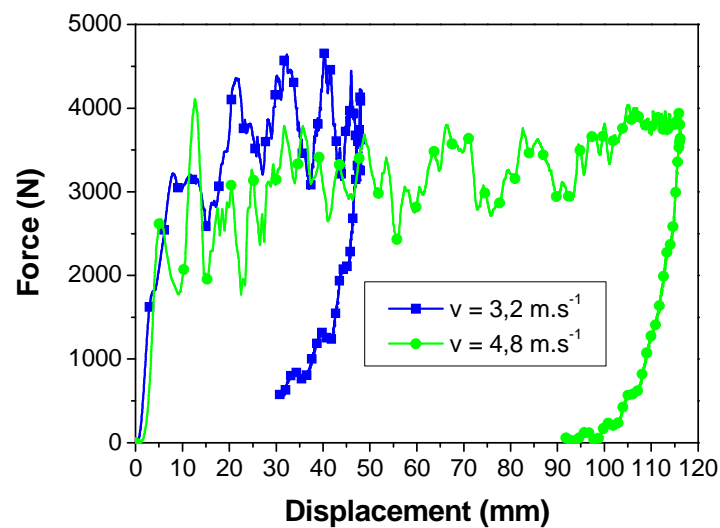


Figure 3-17. Courbe force-déplacement mesurée lors des tests expérimentaux pour les deux vitesses d'impact.

3.1.7. Conclusion

Nous avons donc effectué un certain nombre d'essais expérimentaux en vue de déterminer les propriétés matérielles du composite utilisées sur le casque RSF2I. Des premiers essais sur échantillons provenant de la coque ont permis d'évaluer le module d'élasticité, mais ont montré très vite une limite quant à la précision des résultats. Des essais sur échantillons plaques ont permis de caractériser de manière plus précise le comportement mécanique du composite. Dans la suite, les caractéristiques élastiques retenues sont celles obtenues lors des tests en vibration dynamique, dans la mesure où le modèle sera utilisé pour des simulations de crash.

3.2. Tâche 2.1 : Modélisation des matériaux et des structures (**UdS**, SHARK)

3.2.1. Introduction

L'objet de cette partie est de présenter les lois de comportement utilisées pour modéliser les différentes composantes du casque, à savoir la coque en composite et la coiffe en polystyrène expansé. Nous allons tout d'abord présenter le modèle retenu pour la coiffe, qui est basé sur des données issues de la littérature, puis la modélisation de la coque, fondée sur les tests expérimentaux présentés dans le paragraphe précédent.

3.2.2. Modélisation de la coiffe en polystyrène expansé

Le matériau amortissant est en polystyrène expansé, dont les propriétés mécaniques sont bien connues. Dans le casque RSF2I, on trouve deux zones de densités différentes : la partie centrale et le menton, avec une densité de 55 kg/m^3 , et les joues et le front avant, avec une densité de 85 kg/m^3 . Ces deux zones sont illustrées en figure 3-18.

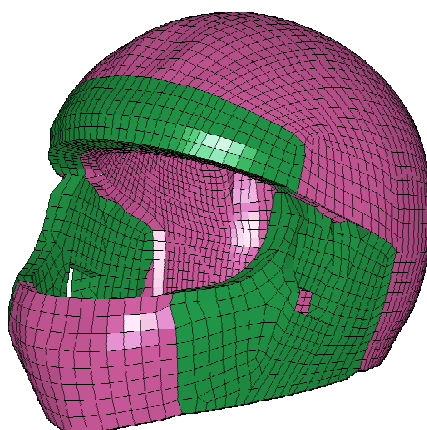


Figure 3-18. Illustration des deux zones composant la coiffe.

Les caractéristiques des deux types de polystyrène expansé utilisés pour la coiffe ont été obtenues à partir de données issues de la littérature (Deck et al. 2003 pour la zone à 85 kg/m^3 , Pinnoji et al. 2006 pour celle à 55 kg/m^3) et sont résumées dans le tableau 3-8.

	Coiffe + Menton	Front + Joues
$\rho \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$	55	85
$E \text{ (MPa)}$	15	28
ν	0.01	0.01

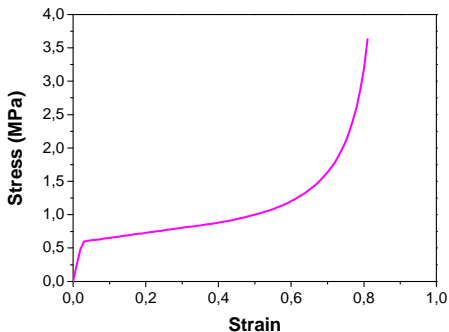
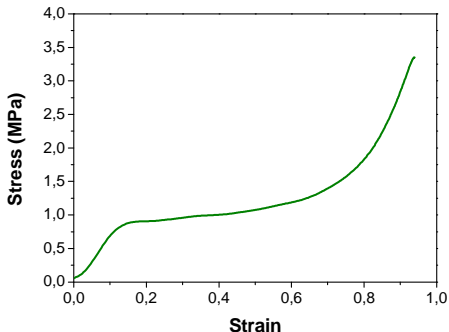
		
Référence	(Pinnoi et al., 2006)	(Deck et al., 2003)

Tableau 3-8. Propriétés mécaniques du matériau amortissant.

Dans le modèle numérique, les courbes contrainte-déformation ont été utilisées comme loi de comportement pour les deux zones de polystyrène. Le coefficient de poisson est fixé à une valeur proche de zéro du fait de la grande compressibilité du matériau.

3.2.3. Modélisation de la coque en composite

Comme présenté précédemment, les caractéristiques élastiques de la coque ont été déterminées à l'aide d'une méthode couplée expérimentale – numérique basée sur des tests expérimentaux en vibration. Les valeurs finales obtenues pour chaque pli sont présentées dans le tableau 3-9.

	E₁ (GPa)	E₂ (GPa)	G₁₂ (GPa)	ν₁₂
BX400	14	14	11	0.29
CSM450	13	13	9	0.32
CSM115	9	9	6	0.31
385EE	16	16	13	0.3

Tableau 3-9. Propriétés mécaniques utilisées sous LS-DYNA pour chaque pli.

3.3. Conclusion

L'objectif de cette tâche était de caractériser les différents composants du casque. La coiffe a été modélisée au moyen d'une loi tabulée contrainte déformation issue de données de la littérature. La coque, quant à elle, a fait l'objet d'une campagne expérimentale complète. Des tests de flexion ont tout d'abord été réalisés sur des échantillons coque, mais ils ont montré une trop grande variabilité due à l'imprécision des échantillons. Il a donc été décidé de réaliser des tests de traction quasistatique et de vibration sur des échantillons plans dont la géométrie était plus facile à contrôler. Ces tests ont permis d'obtenir les caractéristiques élastiques des différentes zones du composite. Dans la suite, seules les valeurs obtenues lors des tests de vibration seront retenues, dans la mesure où le modèle

sera utilisé pour des simulations de crash. Enfin, la rupture du composite a été caractérisée au moyen de tests d'impact pour deux vitesses différentes.

4. Tâche 3 : Modélisation et optimisation du casque (UdS, SHARK)

4.1. Tâche 3.1 : Modélisation et validation du casque (UdS, SHARK)

4.1.1. Introduction

L'objet de cette tâche était de modéliser puis de valider le modèle de casque RSF2I. La géométrie de ce casque fournie par Shark a tout d'abord permis de réaliser un maillage complet de ce casque. Les propriétés mécaniques des différentes composantes du casque ont été implémentées dans le modèle à partir des valeurs obtenues lors des tests expérimentaux. La coque du casque a été validée en termes de rupture vis-à-vis des tests expérimentaux présentés précédemment. Le casque entier a ensuite été validé en chocs normatifs à la fois sur enclume cornière puis sur enclume plate en termes de HIC et d'accélération linéaire résultante de la fausse tête.

4.1.2. Aspects géométriques et maillage

4.1.2.1. Introduction

Le casque utilisé lors de cette étude est un casque intégral de motard (appelé RSF2I) de la marque Shark. Il possède une coque externe en composite sous laquelle se trouve une couche de matériau amortissant (polystyrène expansé).

4.1.2.1. Aspects géométriques

La géométrie des différentes composantes du casque (coque externe, coiffe, joues et front) a été fournie sous forme de C.A.O. par Shark. Les géométries des différents composants du casque sont présentées figure 4-1.

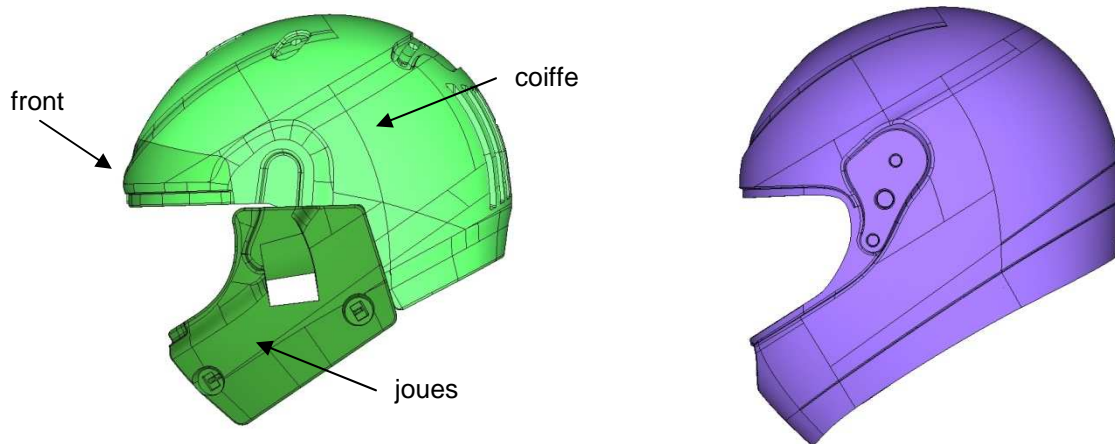


Figure 4-1. C.A.O. de la coiffe et de la coque fournie par Shark.

Shark a par ailleurs fourni des coques de casques réels sur lesquelles sont délimitées les différentes zones correspondant à des matériaux composites différents. Trois vues de ce casque réel avec le découpage des différentes zones sont représentées figure 4-2. Le découpage sur casque réel présenté ici est plus compliqué que celui retenu au final qui ne comptera que quatre zones.

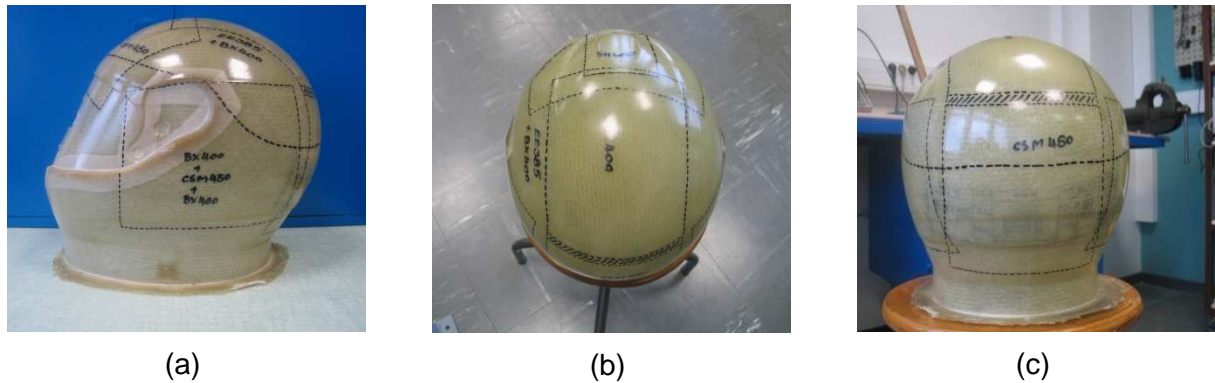


Figure 4-2. Différentes vues du casque fourni par Shark avec le découpage des différentes surfaces.

La première étape a consisté à reproduire le découpage des zones de la coque externe du casque réel sur la C.A.O. fournie. Le résultat de ce découpage pour trois vues du casque est donné figure 4-3.

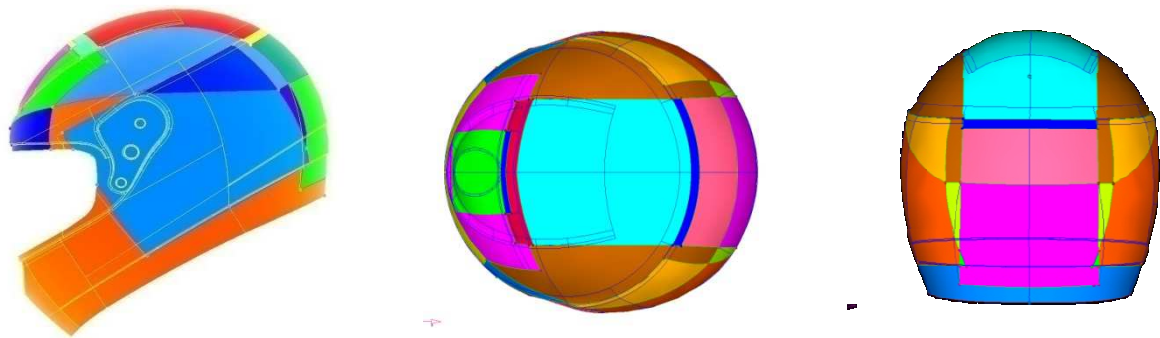


Figure 4-3 : Découpage des différentes surfaces sur la C.A.O. à partir du casque réel.

4.1.2.2. Critères de maillage

Le maillage du casque a été réalisé à partir du découpage des différentes surfaces avec le logiciel de maillage HYPERMESHTM. Une attention particulière a été portée à la qualité du maillage. En effet, la taille ou la distorsion des éléments a une influence directe sur le pas de temps de calcul : un petit pas de temps de calcul entraînera un coût (en temps de processeur) élevé. Dans le code de calcul utilisé, le pas de temps de calcul est déterminé en fonction de la taille des éléments, de leur distorsion et des propriétés mécaniques. Par exemple, pour des éléments brique, la condition de stabilité du calcul numérique est :

$$\Delta t \leq k \frac{\Delta L}{c}$$

avec : Δt pas de temps de calcul

k coefficient ($k=0.9$)

ΔL longueur caractéristique de l'élément, $\Delta L = \frac{\text{Volume d'élément}}{\text{Surface la plus grande d'élément}}$

c vitesse du son dans le matériau. Pour les matériaux élastiques, on a :

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \rho} + \frac{4}{3} \frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{K}{\rho} + \frac{4}{3} \frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\lambda + 2\mu}$$

Le mailleur HYPERMESH permet de vérifier la qualité du maillage à travers 12 paramètres. Pour chaque critère ont été spécifiés des seuils correspondant à cinq niveaux de qualité :

- Idéal : valeur idéale du critère testé,
- Bon : valeur en deçà de laquelle le critère est vérifié,
- Moyen : valeur alarmante au-delà de laquelle le critère s'approche du seuil d'inacceptabilité,
- Mauvais : seuil au-delà duquel le critère n'est plus valide,
- Très mauvais : valeur ultime du critère au-delà de laquelle tout élément est inacceptable.

Il a donc été possible de contrôler pour chacune des mailles si ces différents critères ont été respectés et éventuellement retoucher les éléments défectueux un par un. Le Tableau 4-1 rapporte les différents critères utilisés pour ce maillage. La taille initiale de maille a été fixée à 5 mm, ce qui offre un bon compromis entre précision du calcul et durée du pas de temps de calcul.

Critères	Idéal	Bon	Moyen	Mauvais	Très mauvais
Taille min.	5	4.8	3.8	3.5	3.3
Taille max.	5	5.3	5.75	6.5	8
Distorsion	0	5	13	15	30
Max angle quad	90	110	134	140	160
Min angle quad	90	70	46	40	20
Max angle triangle	60	80	112	120	150
Min angle triangle	60	53	43	40	30
Jacobien	1	0.9	0.7	0.6	0.3
% de triangles	2	6	8	10	15

Tableau 4-1. Critères de qualité utilisés lors du maillage surfacique de la coque.

4.1.2.3. Maillage de la coque

La coque externe a été maillée avec des éléments coques quadrilatéraux à quatre nœuds de longueur moyenne 5 mm. La coque maillée compte 7542 éléments coque. La figure 4-4 représente le maillage de la coque.

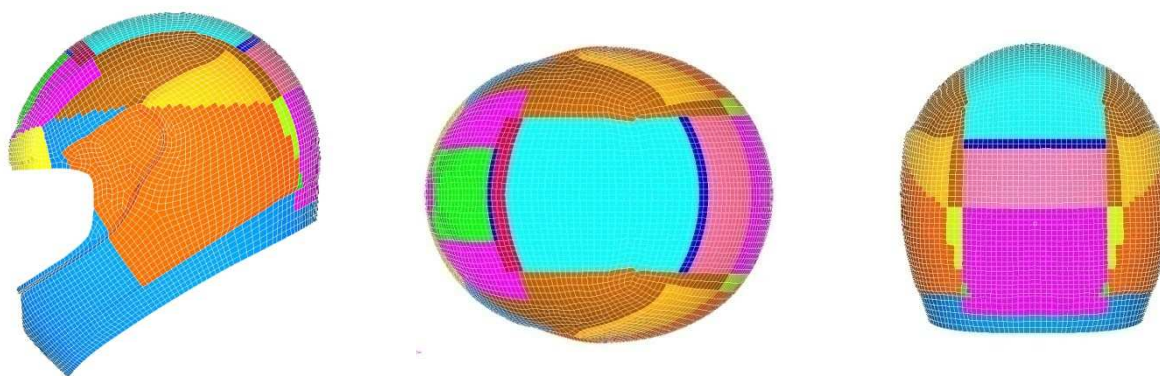


Figure 4-4 : Maillage de la coque.

Les caractéristiques du maillage de la coque sont présentées dans le tableau 4-2.

Caractéristiques du maillage	Coque
Taille min.	3.5 mm
Taille max.	7.3 mm
Distorsion	21°
Max angle quad	139°
Min angle quad	42°
Max angle triangles	
Min angle triangles	
Jacobien	0.6
% de triangles	0%

Tableau 4-2. Caractéristiques géométriques du maillage surfacique de la coque.

La qualité du maillage a ensuite été évaluée en terme de pourcentage d'erreur sur les différents éléments. Le pourcentage d'erreur sur les éléments coque a été calculé de la manière suivante :

$$\% \text{ d'erreur} = \frac{\text{Nombre d'éléments mauvais} + \text{Nombre d'éléments très mauvais}}{\text{Nombre total d'éléments}}$$

Les résultats obtenus pour le maillage de la coque sont rapportés dans le tableau 4-3.

Caractéristiques du maillage	% d'erreur
Taille min.	0
Taille max.	0.5
Distorsion	0.2
Max angle quad	0
Min angle quad	0
Max angle triangles	
Min angle triangles	
Jacobien	0

Tableau 4-3. Pourcentage d'erreur calculé pour chaque critère pour le maillage de la coque.

Le maillage de la coque ainsi réalisé présente un pourcentage d'erreur très faible (inférieur à 0.5 %).

4.1.2.4. Maillage de la coiffe

Le maillage de ces trois éléments a été réalisé à partir de la C.A.O. fournie par Shark. Le maillage volumique de la coiffe, des joues, du front et du menton (ces quatre éléments seront ultérieurement résumés sous le nom de coiffe) a été plus délicat à réaliser que le maillage de la coque. En effet, la géométrie de la coiffe est beaucoup plus complexe que celle de la coque, avec des rainures internes et externes ou encore des trous dans les joues pour le passage de la jugulaire.

Des éléments brique hexaédriques à huit nœuds ainsi que des éléments tétraédriques à 6 nœuds ont été utilisés pour modéliser le matériau amortissant. Le maillage de la coiffe compte 13543 éléments dont 13145 éléments hexaédriques et 398 éléments tétraédriques. Ce maillage est représenté figure 4-5.

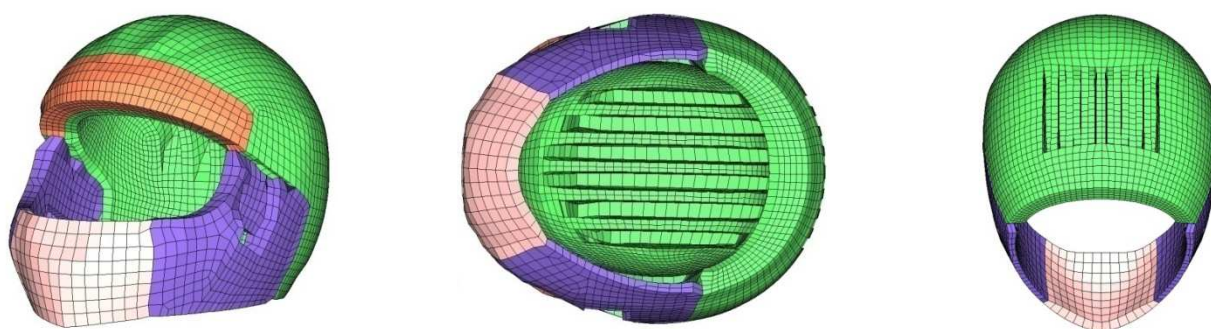


Figure 4-5 : Maillage de la coiffe (vert), des joues (violet), du front (orange) et du menton (rose).

Caractéristiques du maillage	Coque
Taille min.	2.35 mm
Taille max.	10 mm
Distorsion	80°
Max angle quad	157°
Min angle quad	24
Max angle triangles	140
Min angle triangles	17
Jacobien	0.29
% de pentaèdres	3

Tableau 4-4. Caractéristiques géométriques du maillage surfacique de la coiffe.

Les caractéristiques du maillage de la coiffe sont présentées dans le tableau 4-4. Les résultats en termes de pourcentage d'erreur pour le maillage de la coiffe sont présentés dans le tableau 4-5.

Caractéristiques du maillage	% d'erreur
Taille min.	2
Taille max.	21
Distorsion	0.4
Max angle quad	2
Min angle quad	1
Max angle pentaèdres	6
Min angle pentaèdres	74
Jacobien	2

Tableau 4-5. Pourcentage d'erreur calculé pour chaque critère pour le maillage de la coiffe.

Contrairement au maillage de la coque, le pourcentage d'erreur est plus élevé, notamment en ce qui concerne la taille maximale des éléments et l'angle minimal des pentaèdres. Ce résultat s'explique au vu de la plus grande complexité de la géométrie de la coiffe par rapport à celle de la coque.

4.1.2.5. Maillage de la tête ISO

Le maillage de la tête a également été réalisé à partir de la C.A.O. fournie par Shark. Cette géométrie est présentée Figure 4-6 pour la taille K (580 mm).

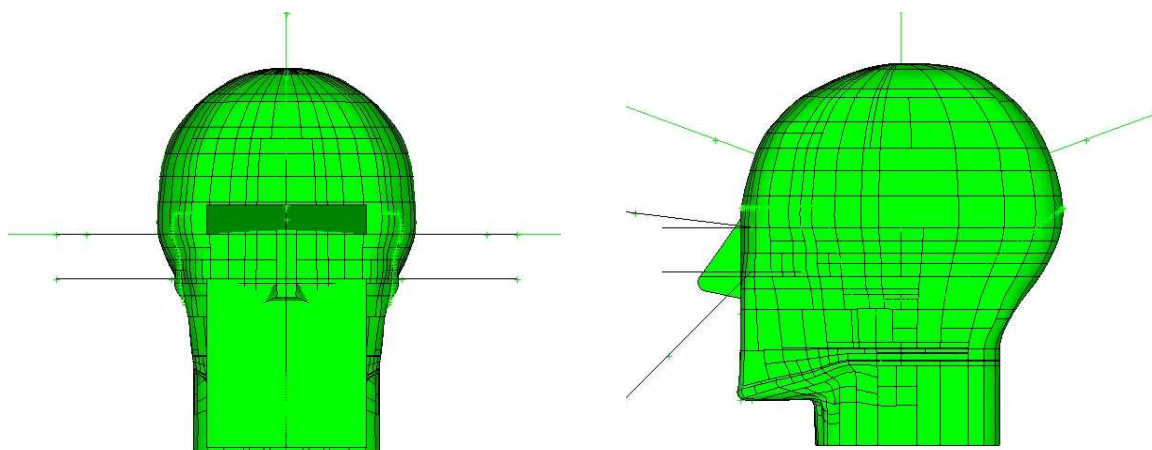


Figure 4-6. Vues de face et de côté de la C.A.O. de la tête fournie par Shark avec les différents axes nécessaires aux chocs normatifs.

La tête a été maillée avec des éléments coques quadrilatéraux à quatre nœuds de longueur moyenne 5 mm. Le nez n'a pas été pris en compte pour ce maillage. La tête maillée compte 3280 éléments coque. Le maillage de la tête est présenté figure 4-7.

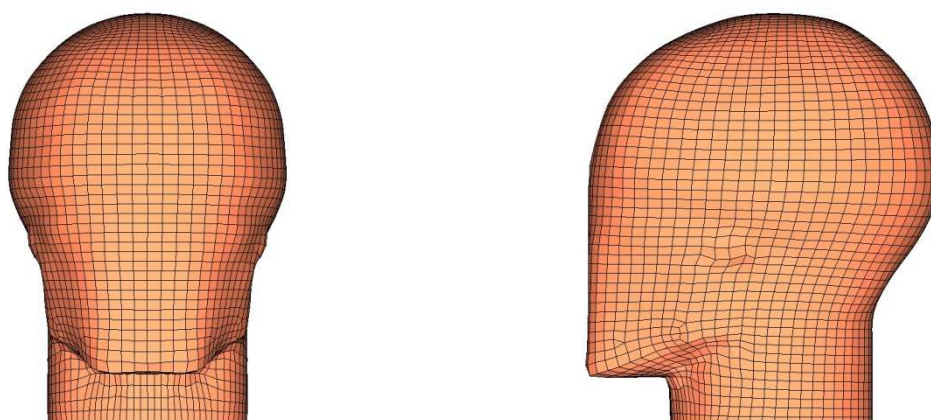


Figure 4-7. Maillage de la tête ISO pour la taille K (580 mm).

Ainsi, le maillage de l'ensemble tête-casque compte 24365 éléments, dont 10822 éléments coque et 13543 éléments brique. Ce maillage complet est présenté figure 4-8.

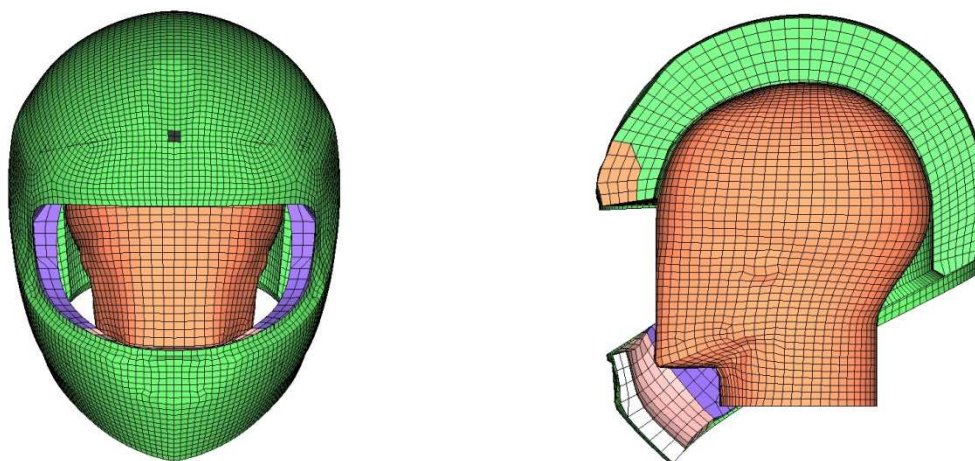


Figure 4-8. Vues de face et en coupe du maillage de l'ensemble tête-casque.

4.1.3. Validation du casque

4.1.3.1. Validation de la rupture de la coque en composite

Les tests expérimentaux de rupture présentés dans le paragraphe 3.1.6 ont été reproduits numériquement avec le logiciel LS DYNA® utilisé ici en mode explicite.

L'impacteur est maillé avec des éléments brique et est considéré comme rigide. Sa masse est fixée à 15 kg, qui est la masse équivalente du dispositif expérimental. La coque est encastrée au niveau de l'attache de la visière comme lors des tests expérimentaux. La figure 4-9 représente la position initiale de la coque lors des simulations numériques. On impose à l'impacteur le déplacement enregistré lors des tests expérimentaux, et on enregistre la force d'impact ainsi que le déplacement du point d'impact sur la coque.

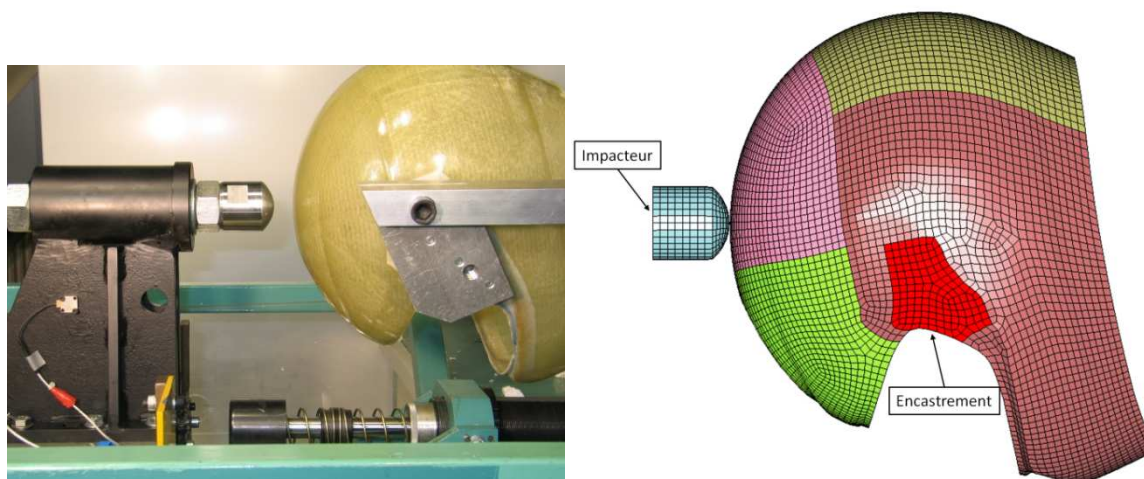


Figure 4-9. Configuration de l'impact.

Deux impacts ont été réalisés numériquement, qui correspondent à deux vitesses différentes : l'impact 1460605 pour une vitesse de 3.2 m/s et l'impact 1460603 pour une vitesse de 4.8 m/s. Pour chacun de ces impacts, les résultats numériques et expérimentaux seront comparés en termes de courbe force – déplacement et de traits de fracture de la coque.

Impact 1460605

Les résultats obtenus pour l'impact 1460605 en termes de courbe force – déplacement sont présentés figure 4-10. On obtient une bonne corrélation entre les deux courbes, aussi bien au niveau du déplacement maximal du point d'impact que de la force maximale d'impact.

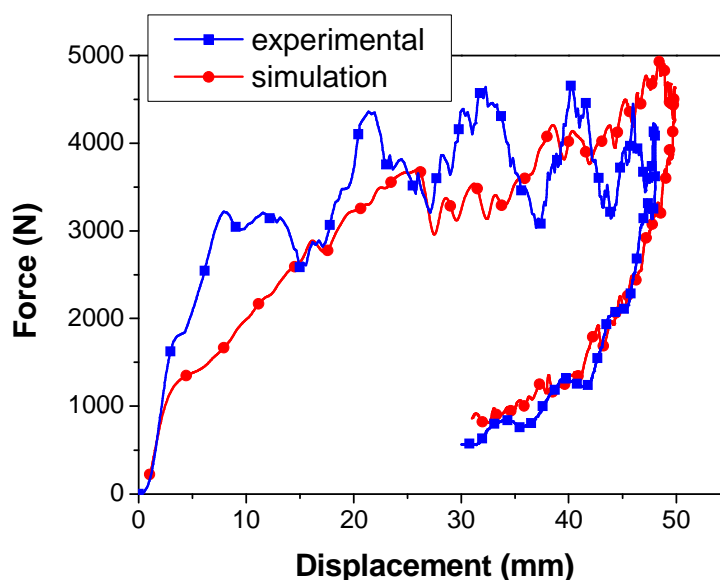


Figure 4-10. Comparaison des courbes force – déplacement expérimentale et numérique des tests de rupture.

En ce qui concerne la rupture, la simulation numérique montre des traits de fracture similaires à ceux obtenus numériquement comme représenté figure 4-11. Les différences observées s'expliquent principalement par la non-symétrie de la coque réelle contrairement au modèle numérique.

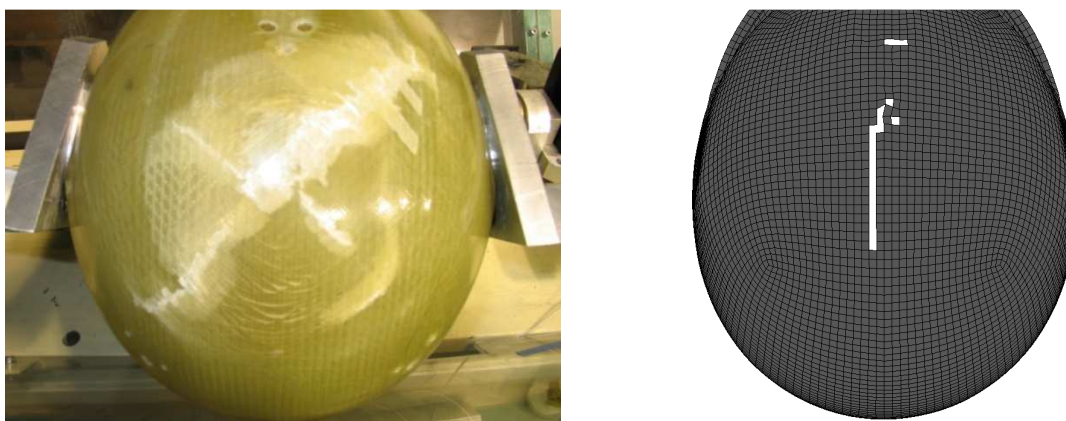


Figure 4-11. Comparaison des traits de fracture expérimentaux et numériques.

La figure 4-12, quant à elle, illustre la rupture par pli. Les zones blanches représentent la fracture globale (c'est-à-dire que chaque couche a rompu dans ces zones) et les zones noires la rupture par pli.

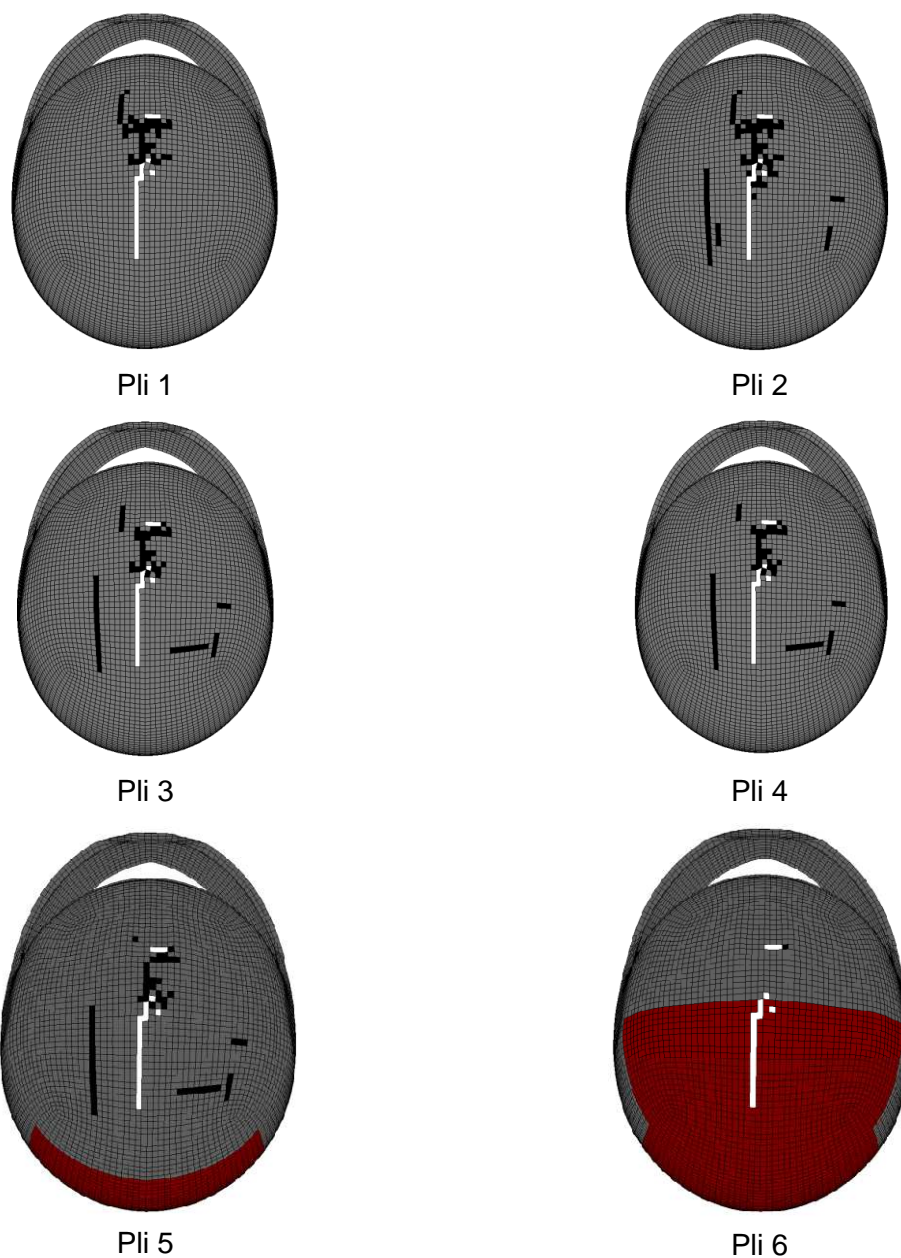


Figure 4-12. Traits de fracture obtenus par pli.

Impact 1460603

De la même manière que pour l'impact 1460605, on observe une bonne corrélation entre l'expérimental et le numérique en termes de courbe force – déplacement aussi bien pour la force maximale d'impact que pour le déplacement du point d'impact.

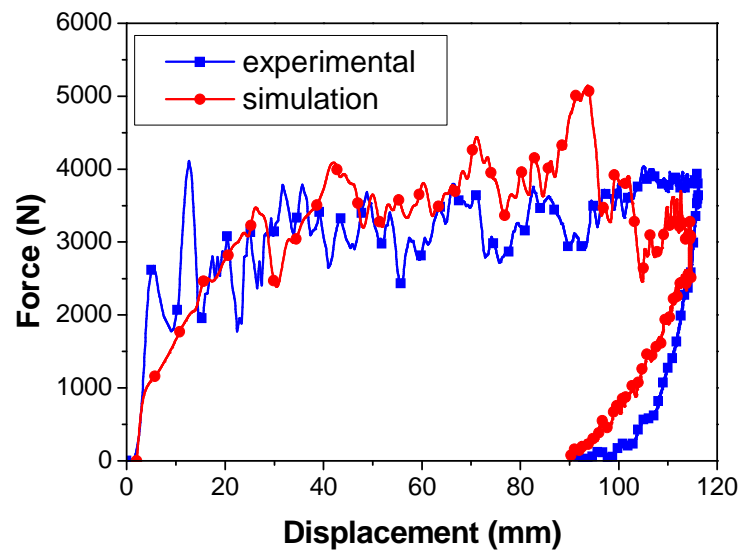


Figure 4-13. Comparaison des courbes force – déplacement expérimentale et numérique des tests de rupture.

Au niveau de la fracture, on obtient à nouveau des traits de fractures similaires pour l'expérimental et le numérique, avec des différences toujours dues à la non-symétrie de la coque réelle (figure 4-14 et figure 4-15).

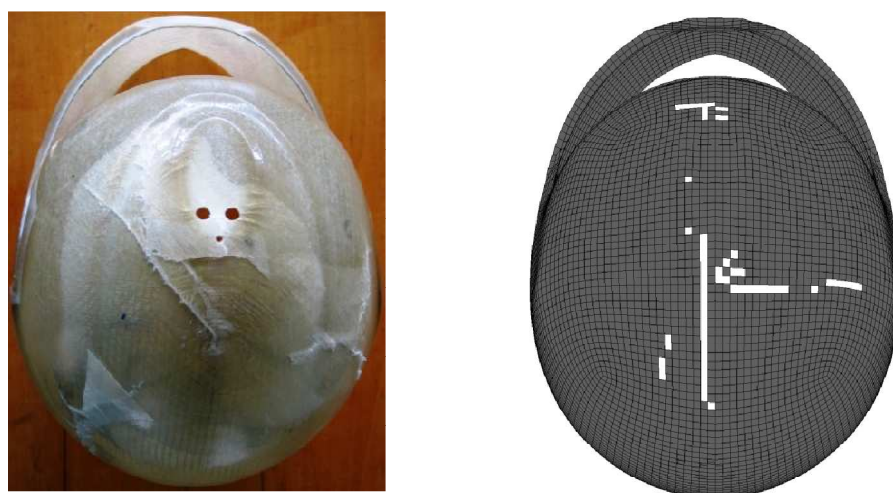


Figure 4-14. Comparaison des traits de fracture expérimentaux et numériques.

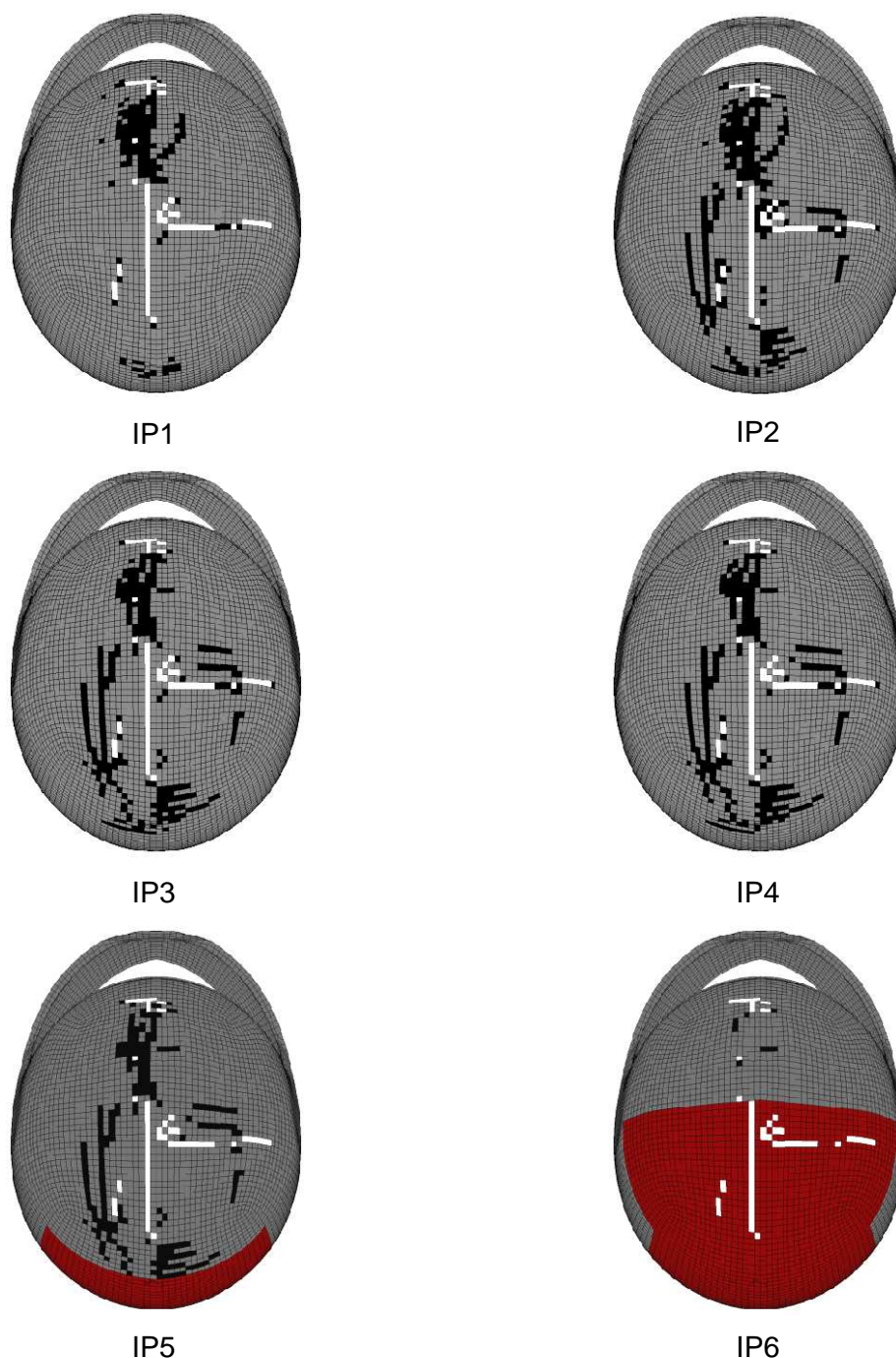


Figure 4-15. Traits de fracture obtenus par pli.

4.1.3.2. Validation du modèle complet de casque

Le modèle de casque a été validé en chocs normatifs sur les deux enclumes préconisées par la norme ECE R022. La norme ECE 22 05 est la norme en vigueur dans tous les pays de L'Union Européenne. Cette norme comporte quatre tests d'homologation : la capacité d'absorption au choc, la rigidité, la fiabilité du système de rétention et les essais d'abrasion des saillies. Nous ne présentons ici que le test qui nous intéresse en particulier, à savoir le test concernant la capacité d'absorption au choc.

Dans la Directive ECE 22.05, la capacité d'absorption du casque lors d'un impact est déterminée en enregistrant l'accélération de la fausse tête en fonction du temps lorsque la tête casquée est impactée à une vitesse spécifique sur une enclume fixe.

Les vitesses d'impact préconisées par cette norme sont de 7.5 (+0.15/-0.0) m/s et 5.5 (+0.15/-0.0) m/s respectivement pour les points B, P, R et pour le point S.

Les fausses têtes utilisées lors des essais doivent être en métal et leur fréquence de résonance ne doit pas être inférieure à 3000 Hz. Les caractéristiques générales de ces têtes sont présentées tableau 4-6 et un exemple de fausse tête utilisée est donnée figure 4-16. Dans la suite de cette étude, la fausse tête utilisée est de taille M et de masse 5.7 kg.

Symbole	Circonférence	Masse
A	50	3.1±0.1
E	54	4.1±0.1
J	57	4.7±0.1
M	60	5.6±0.1
O	62	6.1±0.1

Tableau 4-6. Caractéristiques générales des fausses têtes utilisées dans la norme ECE 22 05 pour les tests d'absorption au choc.



Figure 4-16. Exemple de fausse tête utilisée lors des tests normatifs expérimentaux dans la norme ECE 22 05.

L'appareillage d'essai (figure 4-18) comprend :

- Une enclume fixée rigidement à un socle : ce socle doit être en acier ou en béton, avoir une masse d'au moins 500 kg, sa surface ne doit pas se déformer et il ne doit présenter aucune fréquence de résonance pouvant affecter la mesure. Les deux types d'enclumes, plate et cornière, sont présentées figure 4-17.
- Un système de guidage de la chute libre : il doit être tel que la vitesse d'impact ne soit pas inférieure à 95% de la vitesse théorique.
- Un système mobile supportant la fausse tête casquée : ses caractéristiques ne doivent pas influencer sur la mesure de l'accélération au centre de gravité de la fausse tête.

Une fausse tête en métal munie d'un accéléromètre tridirectionnel.
 L'accéléromètre doit pouvoir supporter sans dommage une accélération maximale de 2000g, et ne doit pas peser plus de 50g.
 Un système permettant de mettre en concordance le point d'impact et le centre de l'enclume.

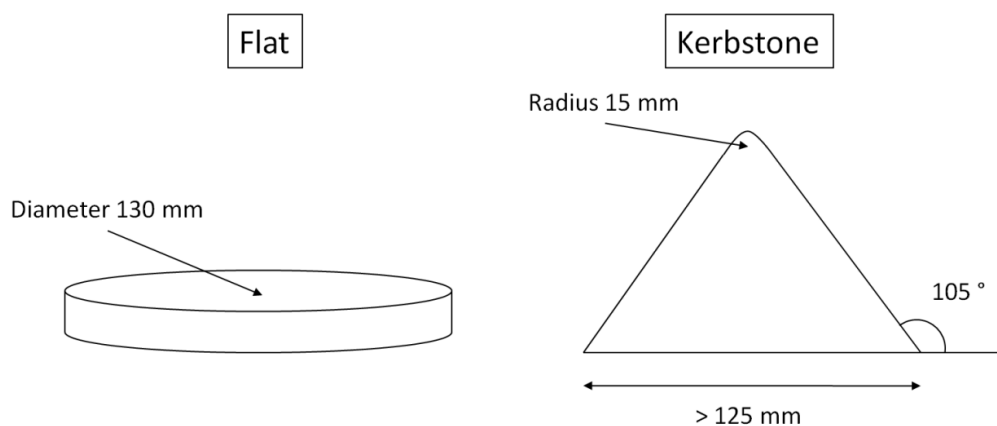


Figure 4-17. Type d'enclumes utilisées dans la Directive ECE 22.05.

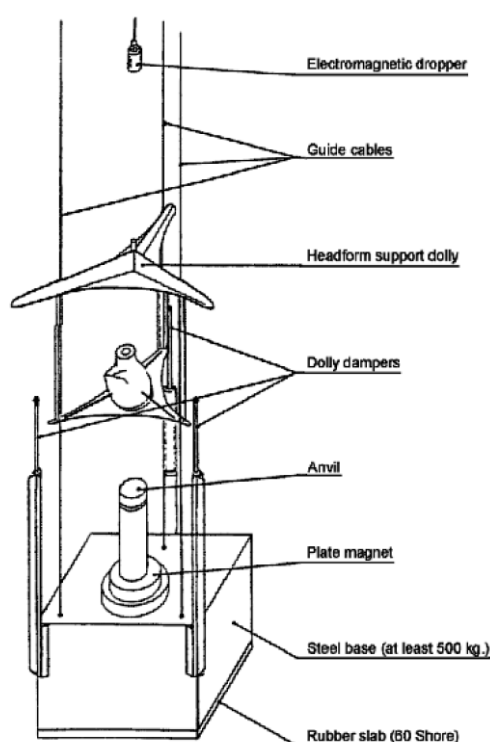


Figure 4-18. Machine de chute de la fausse tête utilisée pour les tests d'absorption au choc dans la norme ECE R22 05.

Les points d'impacts sont présentés figure 4-19 :

- B, à l'avant du casque, situé dans le plan de symétrie longitudinal vertical du casque et à un angle de 20° mesuré à partir de Z au-dessus du plan AA.

- X, à droite ou à gauche du casque, situé dans le plan vertical transversal médian et 12.7 mm en dessous du plan AA'.
- R, à l'arrière du casque, situé dans le plan de symétrie longitudinal vertical du casque et à un angle de 20° mesuré à partir de Z au-dessus du plan AA'.
- P, dans la zone d'un rayon de 50 mm, dont le centre coïncide avec l'intersection entre l'axe vertical central et la face extérieure de la couronne du casque
- S, dans la zone de la protection maxillaire inscrite dans un angle de 20° divisée de façon symétrique par le plan longitudinal vertical du casque.

Les impacts sur les points B, X et R doivent être situés dans un rayon de 10 mm autour des points définis.

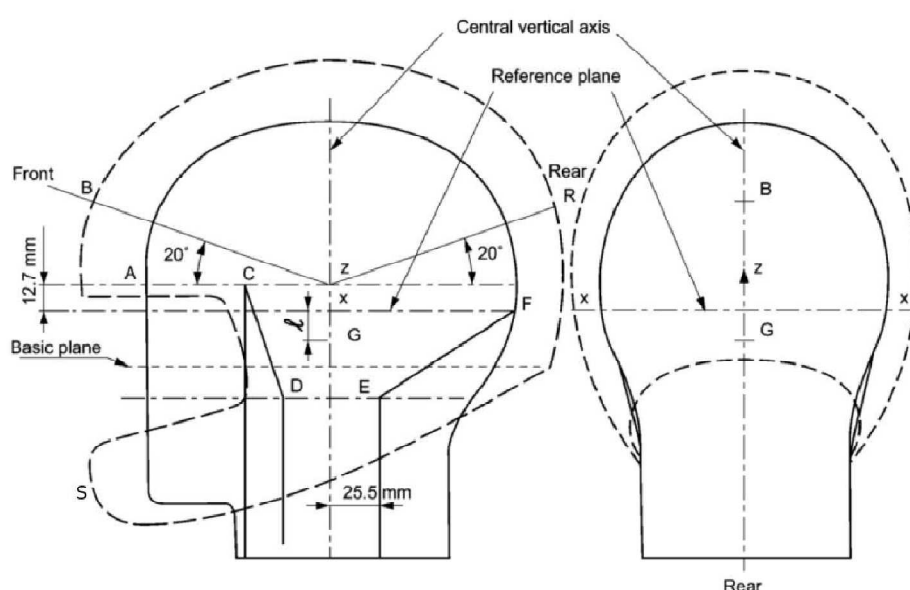


Figure 4-19. Localisation des points d'impacts sur le casque pour les tests d'absorption de la norme ECE 22 05.

Pour chaque casque, les tests doivent être effectués sous plusieurs conditionnements et avec deux types d'enclumes. Le récapitulatif des tests à effectuer est présenté dans le tableau 4-7. Il a été décidé de n'effectuer des tests qu'à température ambiante dans la suite, ce qui correspond aux conditions les plus classiques d'utilisation du casque.

Conditionnement	Enclumes
Conditions ambiantes (+20°C)	Plate et cornière
Chaleur (+50°C)	Cornière
Froid (-20°C)	Plate
Rayonnement ultraviolet et humidité	Plate ou cornière

Tableau 4-7. Récapitulatif des tests à effectuer en termes de conditionnement et de type d'enclume dans le cadre de la norme ECE R22 05.

Quelques restrictions doivent être apportées à ces tests, notamment en ce qui concerne le point S. Pour celui-ci, seule l'enclume plate est utilisée pour les tests sous

conditionnement froid. Les autres points doivent, quant à eux, être testés pour chaque condition.

La capacité d'absorption sera considérée comme satisfaisante si l'accélération résultante mesurée au centre de gravité de la fausse tête n'excède jamais 275 g, et si le critère de blessure à la tête (HIC) n'excède pas 2 400.

Pour l'enclume cornière, des impacts expérimentaux ont été réalisés chez Shark et le modèle sera donc validé par rapport à ces tests. En ce qui concerne l'enclume plate, aucun test expérimental n'étant disponible, le casque a été validé de façon globale en termes de HIC et d'accélération maximale du centre de gravité de la fausse tête.

Validation du MEF du casque sur enclume cornière vis-à-vis de tests expérimentaux

La fausse tête et le casque sont lâchés d'une hauteur de 2.87m, ce qui correspond à une vitesse d'impact de 7.5 m/s comme préconisé dans la directive ECE R022. La surface d'impact est de type cornière et le casque a été impacté aux quatre points d'impact (B, P, R, X).

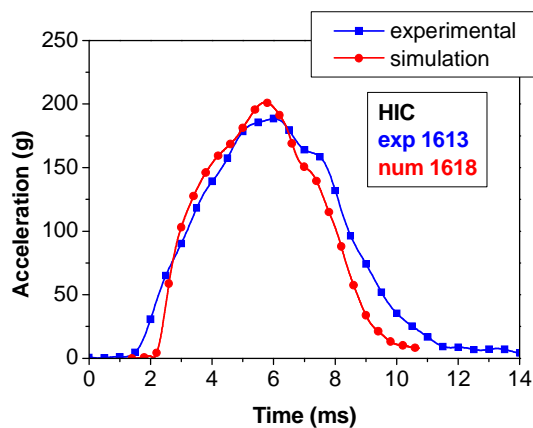


Figure 4-20. Comparaison entre l'accélération linéaire résultante obtenue expérimentalement et numériquement pour le point B.

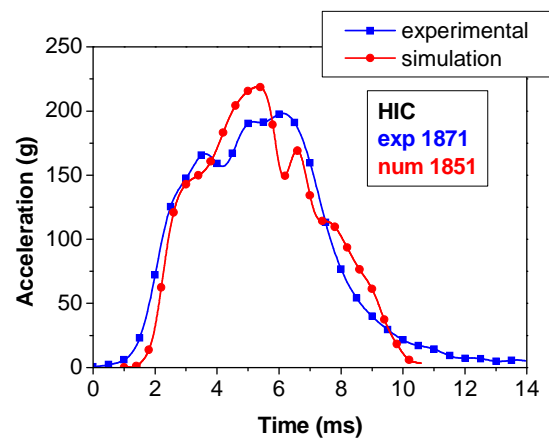


Figure 4-21. Comparaison entre l'accélération linéaire résultante obtenue expérimentalement et numériquement pour le point P.

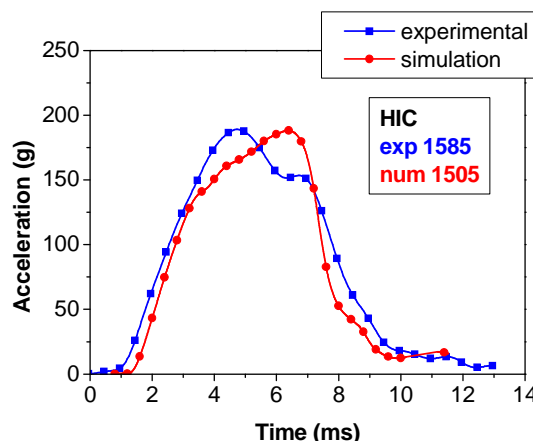


Figure 4-22. Comparaison entre l'accélération linéaire résultante obtenue expérimentalement et numériquement pour le point R.

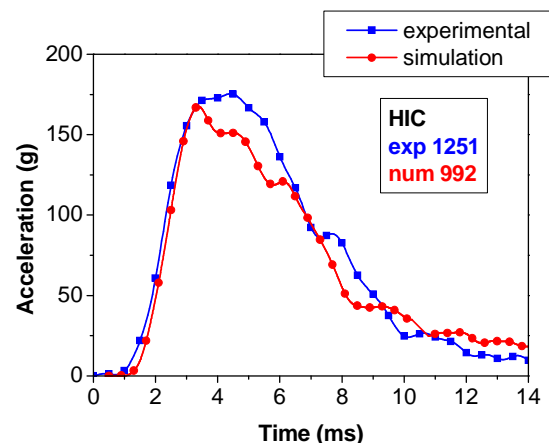


Figure 4-23. Comparaison entre l'accélération linéaire résultante obtenue expérimentalement et numériquement pour le point B.

Quel que soit le point d'impact considéré, on observe un très bon accord entre les valeurs obtenues lors des simulations et celles obtenues expérimentalement, que ce soit en termes de HIC ou d'accélération résultante linéaire de la fausse tête, comme le montre le tableau 4-8.

Point d'impact	HIC		Erreur
	Expérimental	Numérique	
B	1613	1618	0.3%
P	1871	1851	1.1%
R	1585	1505	5%
X	1251	992	20%

Tableau 4-8. Erreur en termes de HIC entre les valeurs expérimentales et numériques pour les quatre points d'impact sur enclume cornière.

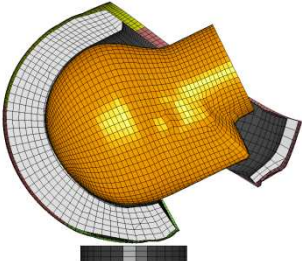
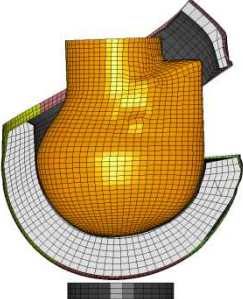
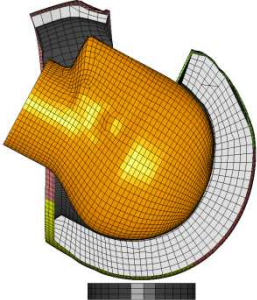
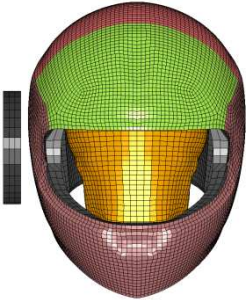
Point d'impact	Configuration du choc	HIC	γ_{\max} (g)
B		1852	219
P		2141	220
R		1972	228
X		968	204

Tableau 4-9. Tableau récapitulatif des résultats en termes d'accélération du centre de gravité de la fausse tête et de HIC pour les quatre types de chocs normatifs.

Des simulations en choc normatif sur enclume plate ont également été réalisées afin de valider le casque sur ce type d'enclume. Du fait de l'absence de données expérimentales sur

enclume plate, les critères de validation sont uniquement le HIC et l'accélération linéaire du centre de gravité de la fausse tête. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 4-9.

Les valeurs normatives d'homologation étant 2400 pour le HIC et 275 g pour l'accélération maximale, les valeurs obtenues lors des simulations sont en-deçà de ces limites quel que soit le point d'impact. Cependant, les valeurs obtenues sont plus élevées que lors des chocs sur enclume cornière, notamment pour les points B, P et R.

4.1.4. Conclusion

L'objet de cette tâche était de modéliser puis de valider le modèle de casque RSF2I. La géométrie de ce casque fournie par Shark a tout d'abord permis de réaliser un maillage complet de ce casque. Les propriétés mécaniques des différentes composantes du casque ont été implémentées dans le modèle à partir des valeurs obtenues lors des tests expérimentaux. La coque du casque a été validée en termes de rupture vis-à-vis des tests expérimentaux présentés précédemment. Le casque entier a ensuite été validé en chocs normatifs à la fois sur enclume cornière puis sur enclume plate en termes de HIC et d'accélération linéaire résultante de la fausse tête.

4.2. Tâche 3.2 : Optimisation du casque ((UdS, SHARK))

4.2.1. Introduction

L'objectif de cette tâche est tout d'abord d'évaluer la dangerosité des chocs normatifs à l'aide d'un modèle de tête anatomique (SUFEHM). La seconde étape a consisté à proposer une optimisation du casque validé vis-à-vis de critères biomécaniques. Cette optimisation a été réalisée en deux étapes : le polystyrène expansé constituant la coiffe a tout d'abord été modifié puis il a été proposé un nouveau matériau pour cette même coiffe.

4.2.2. Couplage du casque validé avec le modèle SUFEHM

Afin d'évaluer de façon plus précise le risque de lésion, le modèle éléments finis de la tête anatomique de Strasbourg a été couplé au modèle de casque validé comme représenté. Ce modèle de tête a déjà été présenté dans la tâche 1, donc nous rappelons juste les limites de tolérance associées à ce modèle sous LS-DYNA :

- Pour les lésions neurologiques, un risque de 50% d'avoir un hématome sous-dural est obtenu pour une énergie de déformation du liquide cérébrospinal de 4950 mJ ;
- Pour les hématomes sous durs ou sous arachnoïdiens, un risque de 50% d'avoir une lésion neurologique modérée (respectivement sévère) est obtenu pour une contrainte intracérébrale de Von Mises de 28 kPa (respectivement 53 kPa).

Le couplage du casque avec le modèle SUFEHM est illustré figure 4-24.

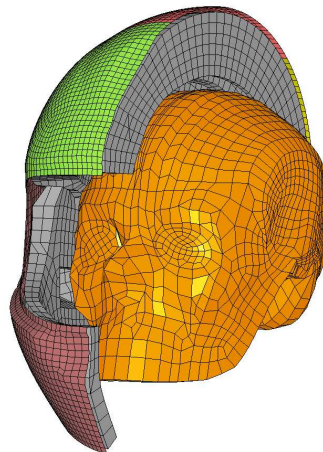


Figure 4-24. Illustration du couplage tête anatomique – casque de protection.

4.2.2.1. Chocs sur enclume cornière

Le modèle SUFEHM a été utilisé pour effectuer les mêmes simulations qu'avec la fausse tête sur enclume cornière. Les résultats en termes de contraintes intracérébrales de Von Mises sont présentés figure 4-25 et tableau 4-10. Quel que soit le point d'impact considéré, la valeur obtenue est supérieure (points B, P et X) ou égale (point R) à la limite préconisée de 28 kPa. Toutes les directions d'impact entraînent donc un risque d'au moins 50% d'avoir des lésions neurologiques modérées. En revanche, aucune valeur n'est supérieure à la limite de 53 kPa qui correspond à un risque de lésions neurologiques sévères.

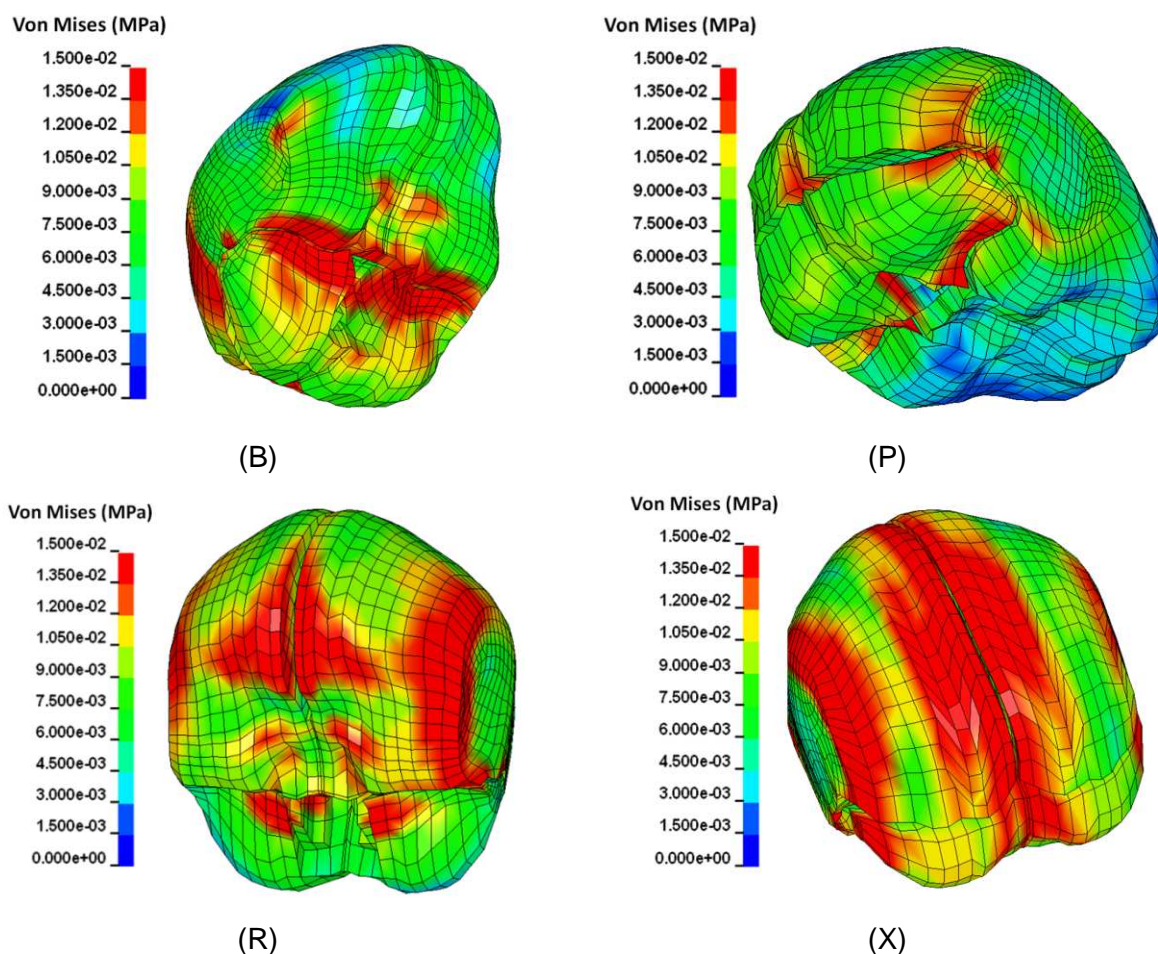


Figure 4-25. Maximum du champ de contraintes de cisaillement pour les quatre points d'impact normatifs (B, P, R et X) pour des chocs sur enclume cornière.

Point d'impact	Contraintes intracérébrales de Von Mises (kPa)	Pourcentage de risque	
		Modérées	Sévères
B	36.2	83 %	14 %
P	30.3	60 %	8 %
R	28.0	49 %	6 %
X	48.1	98 %	37 %

Tableau 4-10. Evaluation du pourcentage de risque de lésion neurologique encouru lors de chocs normatifs sur enclume cornière.

En ce qui concerne les risques d'hématomes sous-duraux, les résultats présentés dans le tableau 4-11 montrent un risque élevé d'avoir un hématome quel que soit le point d'impact.

Point d'impact	Energie de déformation du LCS (mJ)	Pourcentage de risque
B	6851	87 %
P	5418	62 %
R	8063	96 %
X	6176	78 %

Tableau 4-11. Evaluation du pourcentage de risque d'hématome sous-dural encouru lors de chocs normatifs sur enclume cornière.

4.2.2.2. Chocs sur enclume plate

Les impacts sur enclume plate montrent la même tendance que ceux sur enclume cornière, avec toutefois des valeurs un peu plus élevées, que ce soit en terme d'énergie de déformation du liquide cérébrospinal ou de contraintes de cisaillement intracérébrales.

D'après la figure 4-26, les champs de contraintes intracérébrales sont répartis de la même manière que lors des chocs sur enclume cornière. Ici encore, les zones du cerveau pour lesquelles le cisaillement est le plus élevé sont la fosse postérieure pour les chocs frontaux (37.76 kPa) et vertex (25.85 kPa), les lobes frontaux pour le choc occipital (26.84 kPa) et juste derrière l'impact pour le choc latéral (50.78 kPa). Comme lors des chocs sur enclume cornière, on peut noter la valeur particulièrement élevée obtenue en choc latéral.

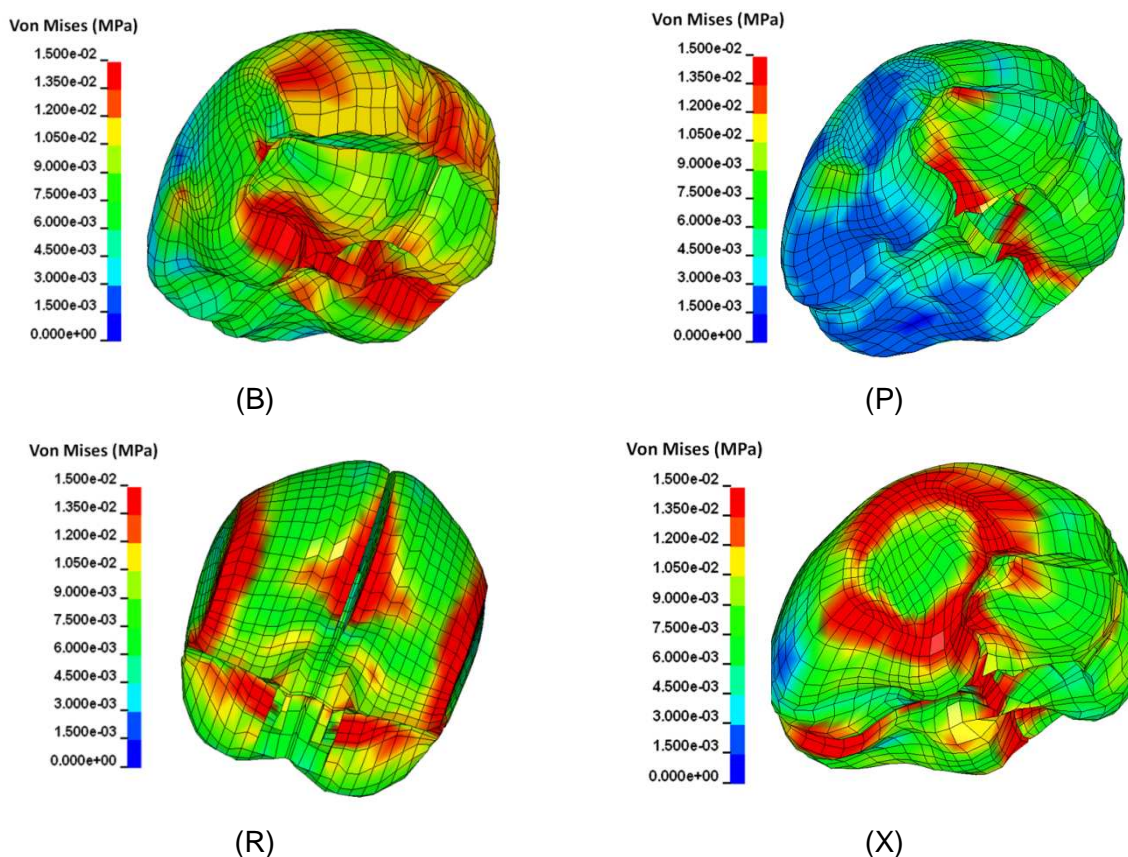


Figure 4-26. Maximum du champ de contraintes de cisaillement pour les quatre points d'impact normatifs (B, P, R et X) pour des chocs sur enclume plate.

Point d'impact	Contraintes intracérébrales de Von Mises (kPa)	Pourcentage de risque	
		Modérées	Sévères
B	37.7	86 %	16 %
P	25.8	39 %	5 %
R	26.8	44 %	6 %
X	50.8	99 %	44 %

Tableau 4-12. Evaluation du pourcentage de risque de lésion neurologique encouru lors de chocs normatifs sur enclume cornière.

En termes d'énergie de déformation du liquide cérébrospinal, les résultats obtenus sont très similaires à ceux observés sur enclume cornière. En effet, toutes les valeurs sont supérieures à la limite de tolérance de 4950 mJ quelle que soit la direction de l'impact (tableau 4-13). L'influence de la direction de l'impact est cependant visible, avec un pourcentage par rapport à la limite de 5.2 pour le point P et de 76.5 pour le point R.

Point d'impact	Energie de déformation du LCS (mJ)	Pourcentage de risque
B	7292	91 %
P	5209	57 %
R	8737	98 %
X	6687	85 %

Tableau 4-13. Evaluation du pourcentage de risque d'hématome sous-dural encouru lors de chocs normatifs sur enclume plate.

4.2.2.3. Conclusion

Les simulations de chocs normatifs réalisés avec le modèle SUFEHM ont montré un risque élevé d'hématome sous-dural quel que soit le point d'impact ou l'enclume considérée. Il serait intéressant de considérer ces aspects pour le développement de futures normes, qui permettraient de protéger une tête humaine et non plus une fausse tête.

4.2.3. Optimisation du casque vis-à-vis de critères biomécaniques

4.2.3.1. Introduction

Cette optimisation de la coiffe en polystyrène expansé est basée sur la modification de la masse volumique de ce polystyrène constituant la coiffe. En effet, au lieu d'une coiffe homogène de masse volumique constante, celle-ci a été découpée en trois couches (système de « poupées russes ») ayant chacune une masse volumique différente. Les masses volumiques sont croissantes en allant de l'intérieur du casque vers l'extérieur : la couche interne a une masse volumique de 20 kg.m^{-3} , la couche médiane de 55 kg.m^{-3} et la couche supérieure de 85 kg.m^{-3} (comme illustré en figure 4-27). Les propriétés mécaniques de ces trois couches sont issues de la littérature (Deck et al. 2003, Pinnoji et al. 2006) et sont présentées dans le tableau 4-14 (respectivement tableau 4-15 et tableau 4-16) pour la couche de masse volumique 20 kg.m^{-3} (respectivement 55 kg.m^{-3} et 85 kg.m^{-3}).

Ce modèle modifié est ensuite impacté en chocs normatifs pour les quatre points d'impact sur les deux enclumes (cornière et plate). La vitesse d'impact est toujours fixée à 7.5 m.s^{-1} .

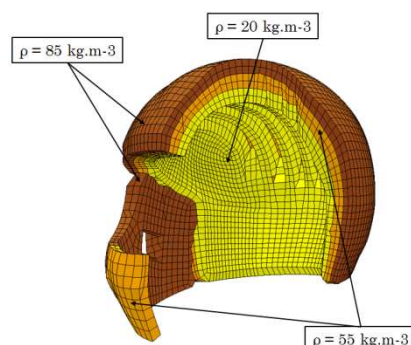


Figure 4-27. Illustration des trois zones de masse volumique différentes de la coiffe.

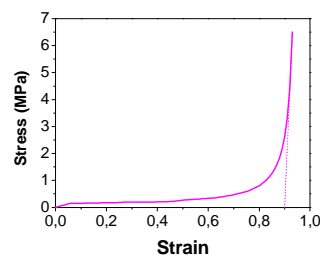
Propriétés mécaniques		
ρ (kg.m ⁻³)	20	
E (MPa)	4	
ν	0.01	
Référence	(Pinnoji et al., 2006)	

Tableau 4-14. Propriétés mécaniques du polystyrène expansé de masse volumique 20 kg.m⁻³.

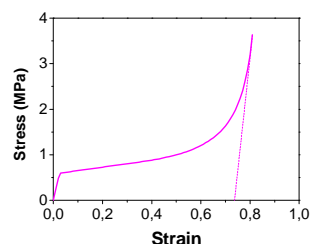
Propriétés mécaniques		
ρ (kg.m ⁻³)	55	
E (MPa)	15	
u	0.01	
Référence	(Pinnoji et al., 2006)	

Tableau 4-15. Propriétés mécaniques du polystyrène expansé de masse volumique 55 kg.m⁻³.

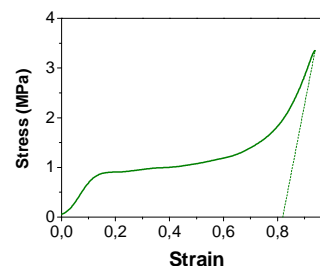
Propriétés mécaniques		
ρ (kg.m ⁻³)	85	
E (MPa)	28	
u	0.01	
Référence	(Deck et al. 2003)	

Tableau 4-16. Propriétés mécaniques du polystyrène expansé de masse volumique 85 kg.m⁻³.

4.2.3.2. Résultats obtenus avec la tête ISO

Les résultats obtenus lors des simulations de chocs normatifs sur les deux enclumes (cornière et plate) sont présentés dans cette section, aussi bien en termes d'accélération résultante linéaire du centre de gravité de la fausse tête et de HIC que d'écrasement maximum de la coiffe en polystyrène expansé. Les valeurs obtenues avec le modèle modifié sont comparées à celles issues des chocs normatifs de validation présentés dans le précédent chapitre.

Les résultats obtenus en termes d'évolution temporelle de l'accélération linéaire résultante du centre de gravité de la fausse tête sont présentés en figure 4-28 et figure 4-29 pour les quatre points d'impact lors de chocs sur les deux types d'enclumes. Sur chaque graphique

sont représentés les courbes obtenues pour le modèle de référence (gris) et celles obtenues pour le modèle modifié (vert).

En termes de durée de l'impact, les résultats obtenus avec le modèle modifié montrent que :

- cette durée reste équivalente au modèle de référence pour les points B et X quelle que soit l'enclume considérée (8 ms pour le point B et 10 ms pour le point X) ;
- cette durée augmente pour les points P et R pour les deux enclumes.

En ce qui concerne le maximum de l'accélération linéaire résultante du centre de gravité de la fausse tête (voir aussi tableau 4-17), nous obtenons :

- une augmentation de ce pic pour le point B quelle que soit l'enclume considérée : pour l'enclume cornière (respectivement plate), ce maximum passe de 201 g avec le modèle de référence (respectivement 219 g) à 243 g avec le modèle modifié (respectivement 251 g) ;
- une diminution de ce pic pour le point R pour les deux enclumes : le maximum passe de 188 g avec le modèle de référence à 160 g avec le modèle modifié pour l'enclume cornière et de 228 g à 181 g pour l'enclume plate ;
- pour le point P, une diminution du pic lors du choc sur enclume cornière (179 g contre 219 g avec le modèle de référence) mais une augmentation lors du choc sur enclume plate (224 g contre 220 g avec le modèle de référence) ;
- pour le point X, une augmentation du pic lors du choc sur enclume cornière (174 g contre 167 g avec le modèle de référence) mais une diminution lors du choc sur enclume plate (177 g contre 204 g avec le modèle de référence) ;

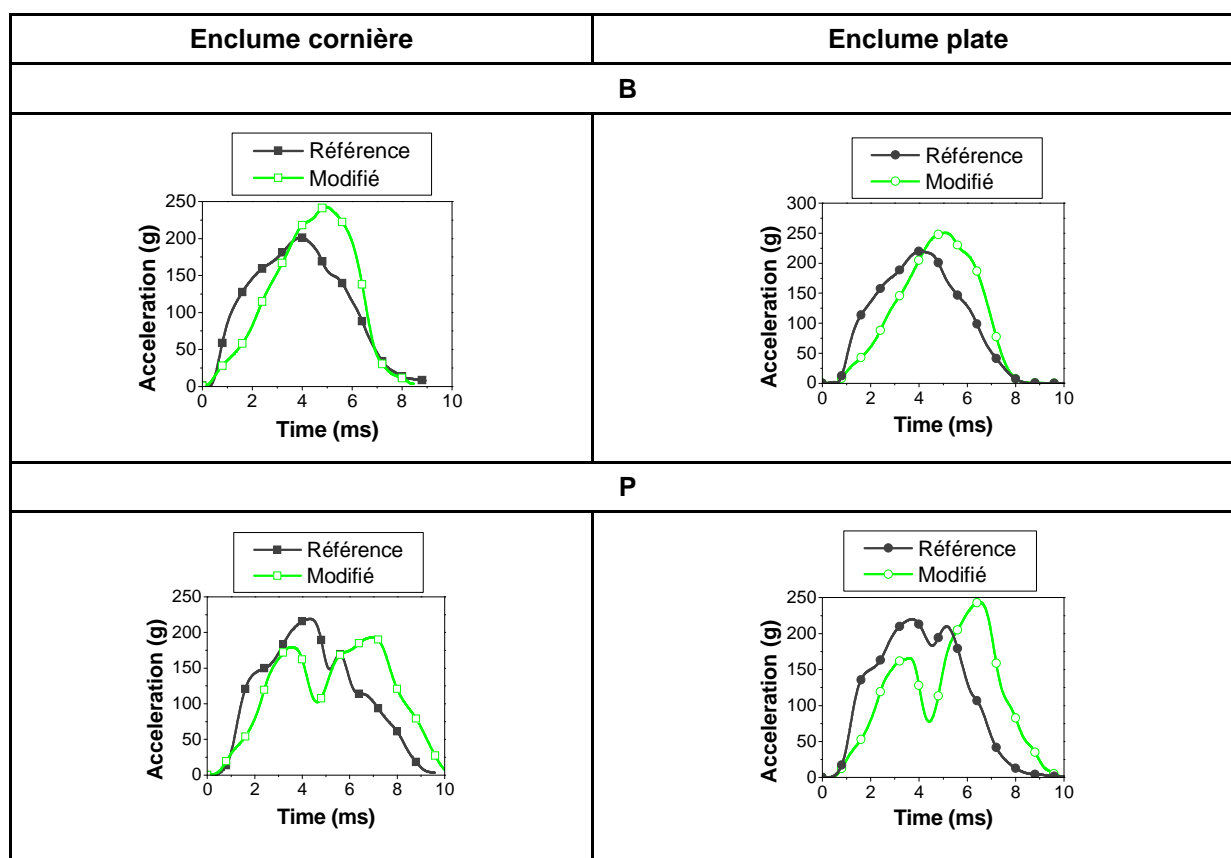


Figure 4-28. Comparaison des résultats obtenus en termes d'évolution temporelle de l'accélération linéaire résultante du centre de gravité de la fausse tête avec le modèle de référence et le modèle modifié pour les quatre points d'impact sur les deux types d'enclume.

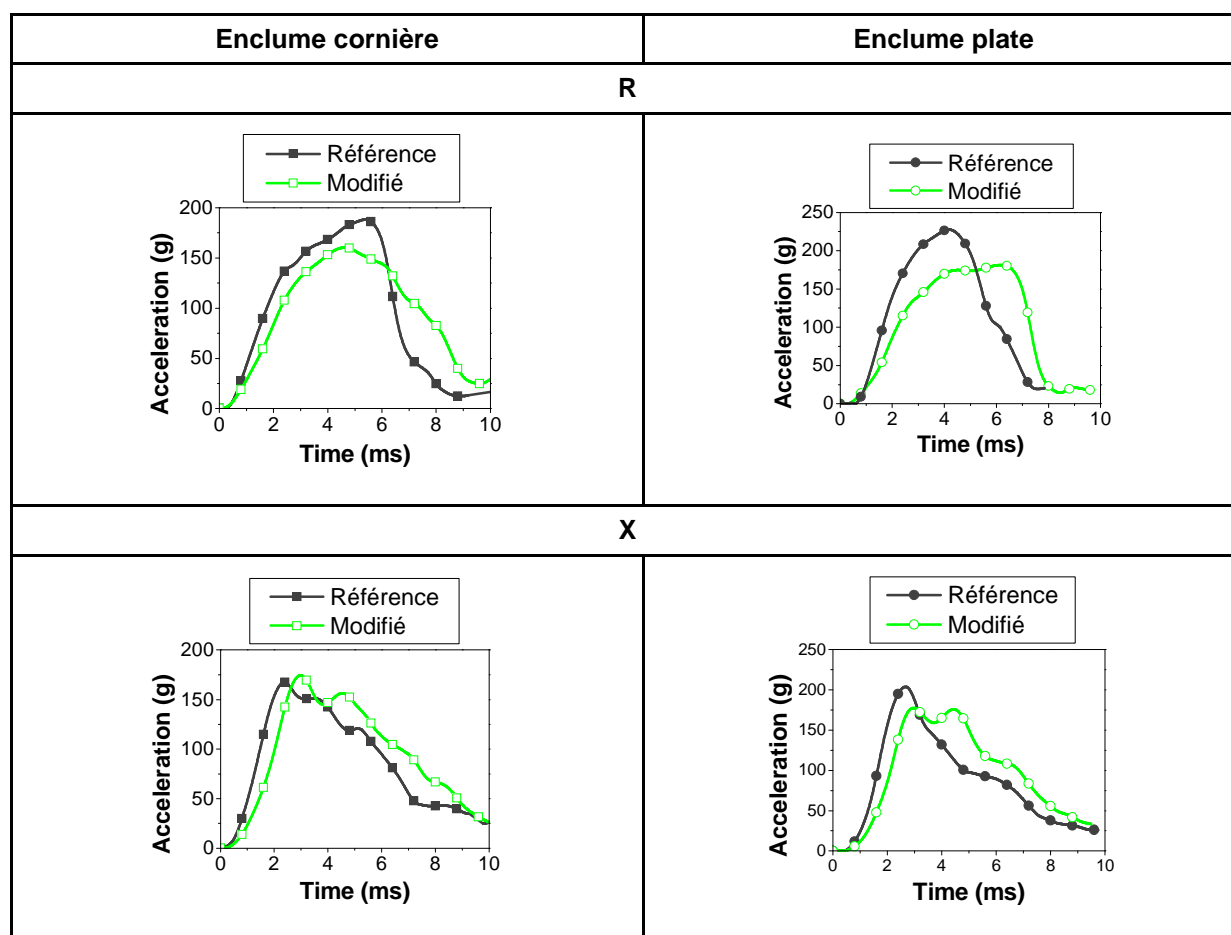


Figure 4-29. Comparaison des résultats obtenus en termes d'évolution temporelle de l'accélération linéaire résultante du centre de gravité de la fausse tête avec le modèle de référence et le modèle modifié pour les quatre points d'impact sur les deux types d'enclume (suite).

Les résultats obtenus en termes de HIC pour les quatre points d'impact sur les deux enclumes sont présentés tableau 4-17.

La modification de la coiffe en polystyrène expansé permet de diminuer le HIC pour :

- le point P, avec une diminution de 1 % pour les chocs sur enclume cornière et de 13.2 % pour les chocs sur enclume plate ;
- le point R, avec une diminution de 22 % lors des chocs sur enclume cornière et de 15.8 % lors des chocs sur enclume plate.

Par contre, le HIC augmente avec le modèle modifié pour :

- le point B, avec une augmentation de 36.7 % et 26 % respectivement pour un choc sur enclume cornière et plate ;
- le point X, avec une augmentation de 13.8 % lors d'un choc sur enclume cornière et de 23.7 % lors d'un choc sur enclume plate.

Cependant, même pour les cas où le HIC et le γ_{max} augmente, les valeurs obtenues restent en-deçà de la limite normative de 2400 et 275 g pour les quatre points d'impact.

B		Y_{max} (g)	HIC	Différence (HIC)
Cornière	Référence	201	1618	+ 36.7 %
	Modifié	243	2211	
Plate	Référence	219	1852	+ 26 %
	Modifié	251	2329	

P		Y_{max} (g)	HIC	Différence (HIC)
Cornière	Référence	219	1851	- 1 %
	Modifié	179	1832	
Plate	Référence	220	2141	- 13.2 %
	Modifié	244	1858	

R		Y_{max} (g)	HIC	Différence (HIC)
Cornière	Référence	188	1505	- 22 %
	Modifié	160	1174	
Plate	Référence	228	1972	- 15.8 %
	Modifié	181	1660	

X		Y_{max} (g)	HIC	Différence (HIC)
Cornière	Référence	167	992	+ 13.8 %
	Modifié	174	1129	
Plate	Référence	204	968	+ 23.7 %
	Modifié	168	1197	

Tableau 4-17. Comparaison des résultats obtenus en termes d'accélération linéaire résultante du centre de gravité de la fausse tête et en termes de HIC avec le modèle de référence et le modèle modifié pour les quatre points d'impact sur les deux types d'enclumes.

4.2.3.3. Résultats obtenus avec le modèle SUFEHM

Le modèle modifié est ensuite couplé avec le modèle éléments finis de la tête humaine SUFEHM. Les simulations sont toujours effectuées en chocs normatifs sur enclumes cornière et plate à une vitesse de 7.5 m.s⁻¹. Les résultats sont présentés ici en termes de maximum des contraintes de Von Mises intracérébrales (pour les lésions neurologiques modérées ou sévères) et de maximum de l'énergie totale de déformation du liquide cébrospinal (pour les hématomes sous-duraux) pour les deux enclumes.

- Résultats obtenus en termes de contraintes de Von Mises intracérébrales**

Les résultats obtenus en termes de maximum de contraintes de Von Mises intracérébrales sont présentés figure 4-31 et figure 4-33. La figure 4-31 compare les valeurs obtenues avec le modèle modifié à celles du modèle de référence ainsi qu'aux limites de

tolérance spécifiques à ce paramètre. La figure 4-33 permet, quant à elle, de quantifier l'apport du modèle modifié en termes de pourcentages par rapport au modèle de référence.

L'utilisation du modèle modifié permet de diminuer les valeurs des maxima des contraintes de Von Mises pour les deux enclumes et pour tous les points d'impact, excepté pour le point B sur enclume cornière où cette valeur augmente. Ces maxima sont désormais inférieurs à la limite de tolérance pour les lésions neurologiques modérées pour les points P et R sur les deux enclumes, tandis qu'ils restent supérieurs pour les points B et X.

Pour les chocs sur enclume cornière, le gain maximum est obtenu pour le point R, avec une diminution de la contrainte maximale de 18 %. Pour les chocs sur enclume plate, le gain maximum est obtenu pour les points R et X, avec un gain de 16 %.

En termes de pourcentages de risque de lésions neurologiques modérées et sévères, les résultats sont présentés dans le tableau 4-18.

En ce qui concerne les lésions neurologiques modérées, nous obtenons les résultats suivants :

- les meilleurs résultats sont obtenus pour le point R, avec un risque de 27 % sur enclume cornière et de 25 % sur enclume plate ;
- pour le point P, le risque diminue également pour les deux enclumes, et passe sous les 50 % pour les chocs sur enclume cornière (41 %) ;
- pour les points B et X, les valeurs obtenues restent équivalentes à celles du modèle de référence, et demeurent très élevées : sur enclume cornière (respectivement plate), le risque est de 84 % (respectivement 86%) pour le point B et est de 97 % (respectivement 94 %) pour le point X.

En termes de lésions neurologiques sévères, les valeurs obtenues sont très faibles pour les points P et R quelle que soit l'enclume considérée (inférieures à 5 %). Le risque lors de chocs en zone frontale reste équivalent à celui du modèle de référence, avec des valeurs de l'ordre de 15 %. Pour le point X, bien qu'elles diminuent, les valeurs obtenues restent critiques, avec un risque de lésions sévères de 33 % pour l'enclume cornière et de 25 % pour l'enclume plate.

Maximum des contraintes intracérébrales de Von Mises (kPa)

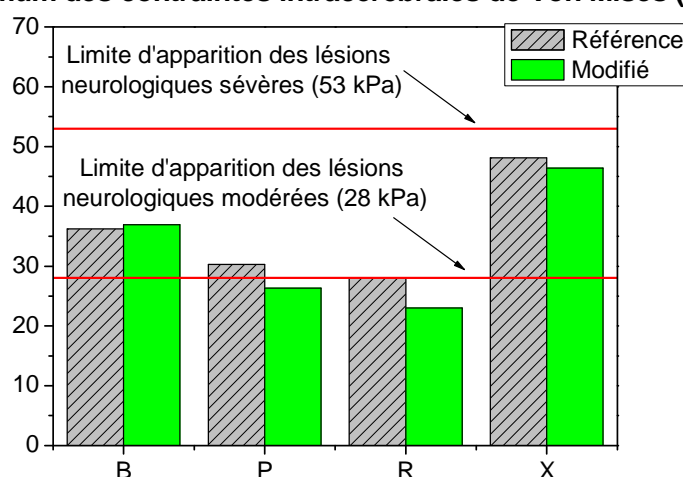


Figure 4-30. Comparaison des maxima des contraintes de Von Mises intracérébrales du modèle de référence et du modèle modifié pour l'enclume cornière.

Maximum des contraintes intracérébrales de Von Mises (kPa)

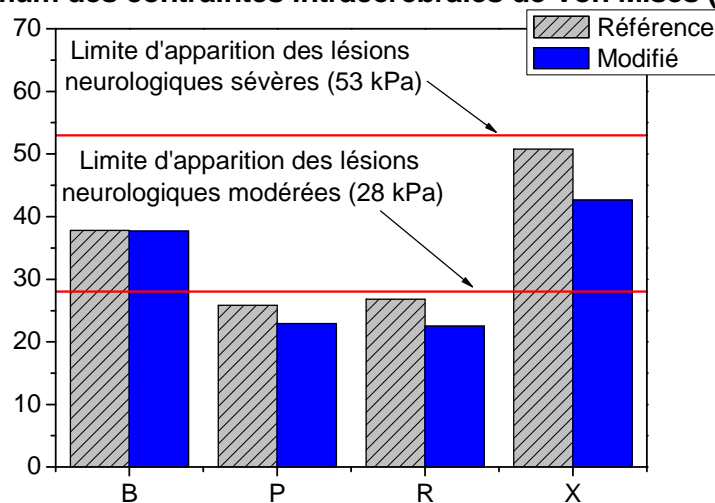


Figure 4-31. Comparaison des maxima des contraintes de Von Mises intracérébrales du modèle de référence et du modèle modifié pour l'enclume plate.

Pourcentage de maximum de Von Mises calculé / valeurs obtenues avec le modèle de référence

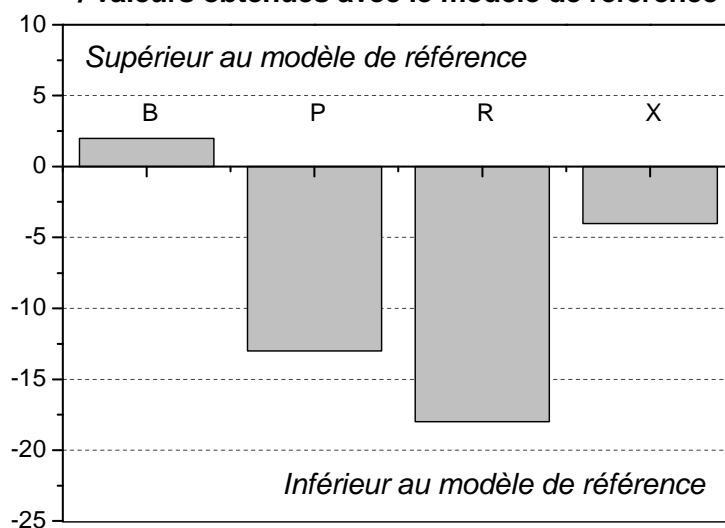


Figure 4-32. Pourcentage du maximum de contraintes de Von Mises calculé par rapport aux valeurs obtenues avec le modèle de référence pour les quatre configurations de choc pour l'enclume cornière.

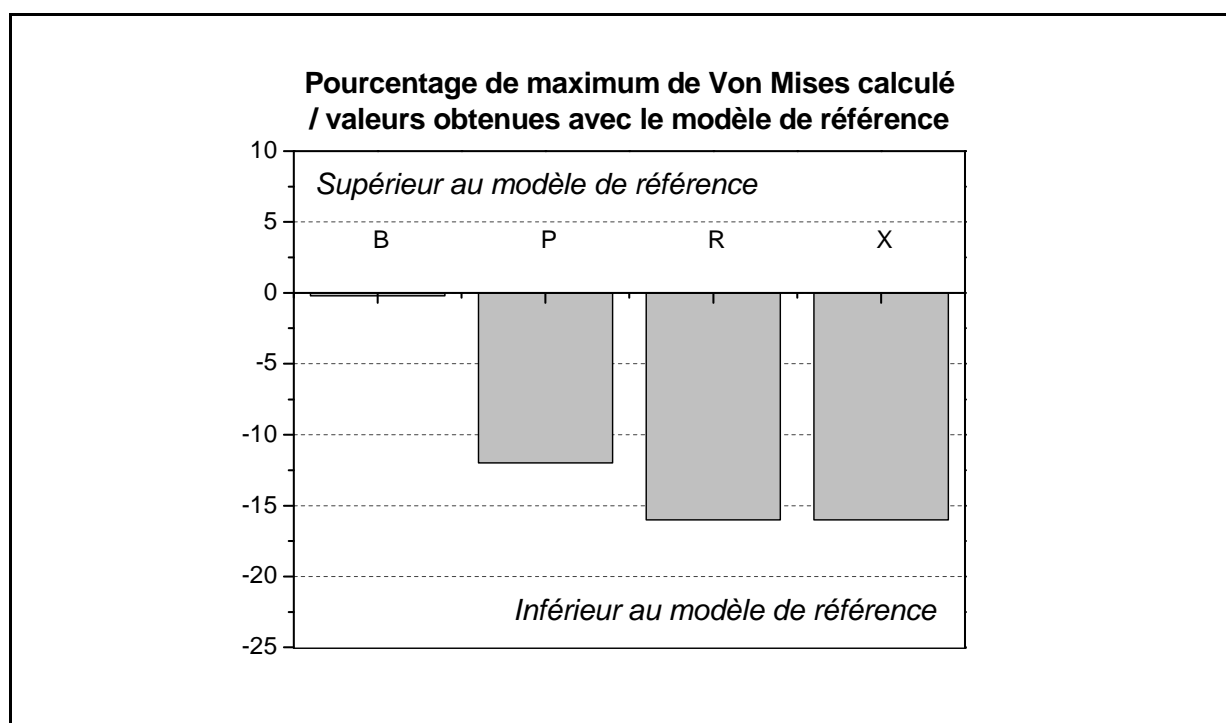


Figure 4-33. Pourcentage du maximum de contraintes de Von Mises calculé par rapport aux valeurs obtenues avec le modèle de référence pour les quatre configurations de choc pour l'enclume plate.

		% de risque (lésions neurologiques modérées)		% de risque (lésions neurologiques sévères)	
		Référence	Modifié	Référence	Modifié
Cornière	B	83	84	14	15
	P	60	41	8	5
	R	49	27	6	4
	X	98	97	37	33
Plate	B	86	86	16	16
	P	39	27	5	4
	R	44	25	6	4
	X	99	94	44	25

Tableau 4-18. Comparaison du modèle de référence et du modèle modifié en termes de pourcentages de risque d'avoir des lésions neurologiques modérées/sévères pour un choc sur les deux types d'enclumes.

- Résultats obtenus en termes d'énergie totale de déformation du liquide cérebrospinal**

Les résultats obtenus en termes de maxima de l'énergie de déformation du liquide cérebrospinal pour les quatre points d'impact lors de chocs sur les deux types d'enclumes sont présentés figure 4-34 et figure 4-35. Le modèle modifié permet de diminuer cette énergie de déformation du LCS pour les quatre points sur les deux enclumes, excepté pour le point P sur enclume cornière.

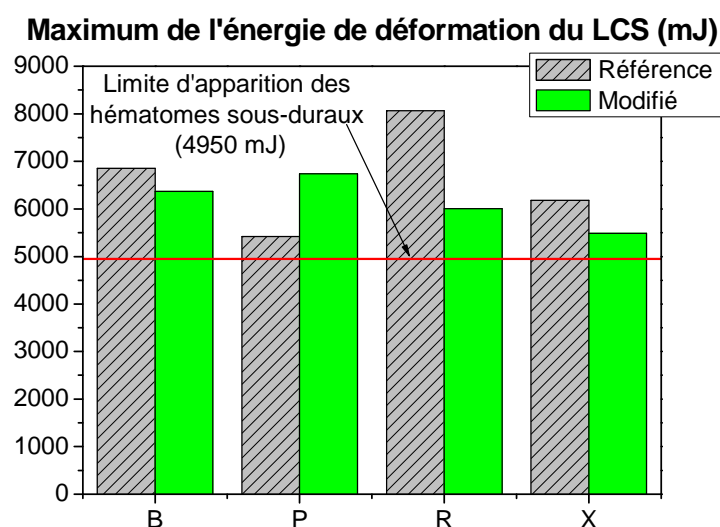
Les meilleurs résultats sont à nouveau obtenus pour le point R, avec un gain de 26 % lors de chocs sur enclume cornière et de 33 % lors de chocs sur enclume plate.

En ce qui concerne le pourcentage de risque d'avoir un hématome sous-dural, les résultats sont présentés dans le tableau 4-19. Nous obtenons les résultats suivants :

pour l'enclume cornière, les valeurs sont supérieures à 64 % quel que soit le point d'impact considéré, et atteignent 86 % pour le point P.

pour l'enclume plate, les valeurs restent très élevées pour les points B et R (respectivement 87 % et 71 %), diminuent fortement pour le point X (54 %) et sont inférieures à 50 % pour le point P (22 %).

Cornière



Plate

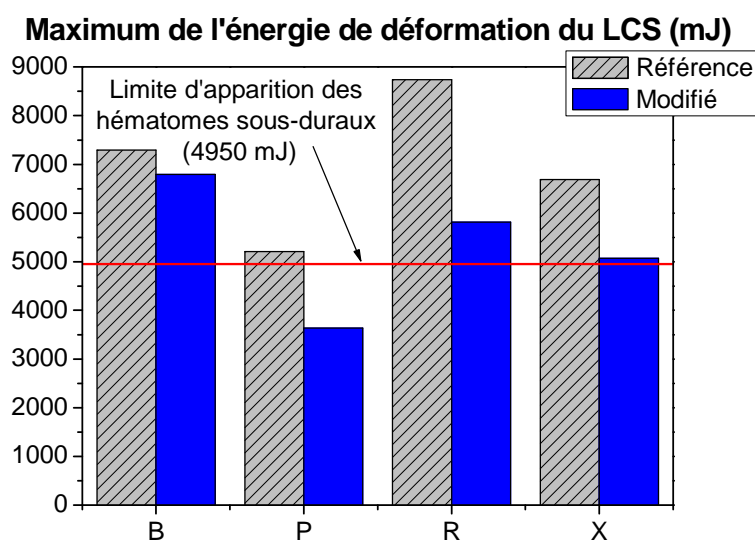
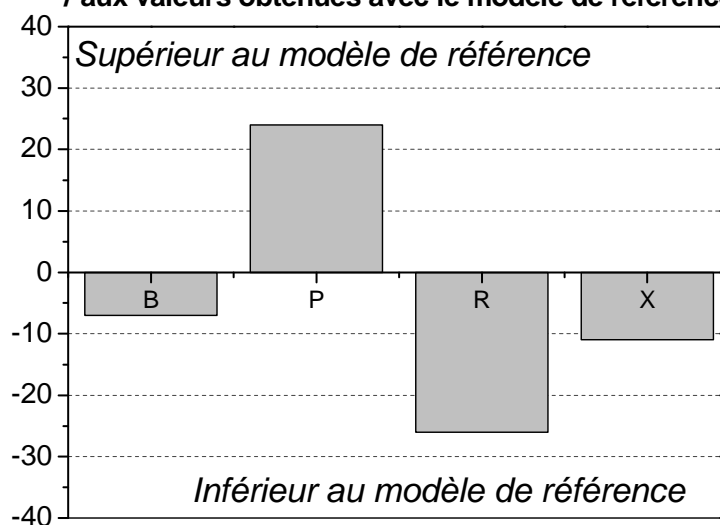


Figure 4-34. Comparaison des maxima de l'énergie totale de déformation du liquide cébrospinal du modèle de référence et du modèle modifié pour un choc pour les deux types d'enclumes.

Cornière

Pourcentage d'énergie de déformation du liquide cérébrospinal calculée
/ aux valeurs obtenues avec le modèle de référence



Plate

Pourcentage d'énergie de déformation du liquide cérébrospinal calculée
/ aux valeurs obtenues avec le modèle de référence

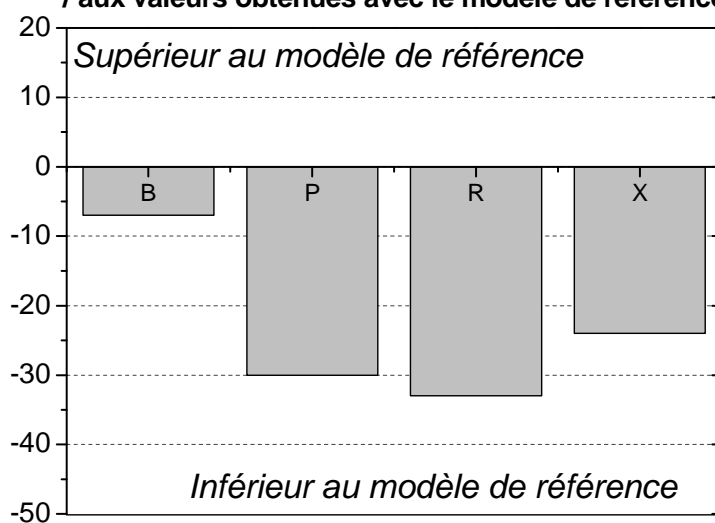


Figure 4-35. Pourcentage d'énergie totale de déformation du liquide cérébrospinal calculé par rapport aux valeurs obtenues avec le modèle de référence pour les quatre configurations de choc.

		% de risque (hématomes sous-duraux)	
		Référence	Modifié
Cornière	B	87	81
	P	62	86
	R	96	75
	X	78	64
Plate	B	91	87
	P	57	22
	R	98	71
	X	85	54

Tableau 4-19. Comparaison du modèle de référence et du modèle modifié en termes de pourcentages de risque d'avoir des hématomes sous-duraux pour les deux enclumes.

4.2.3.4. Conclusion

L'optimisation proposée dans ce paragraphe consistait à modifier la masse volumique du polystyrène expansé constituant la coiffe du casque. En effet, nous avons séparé cette coiffe en trois couches d'égale épaisseur et de masse volumique croissante. Le couche interne avait une masse volumique de 20 kg.m^{-3} , la couche médiane une masse volumique de 55 kg.m^{-3} et la couche externe une masse volumique de 85 kg.m^{-3} .

Des simulations ont été effectuées en chocs normatifs sur les deux enclumes préconisées par la norme ECE 22 05 (cornière et plate) avec deux modèles de tête différents (tête ISO et SUFEHM). L'ensemble des résultats obtenus avec ces deux modèles de têtes sont récapitulés dans le tableau 20.

Les résultats obtenus en termes de paramètres globaux (γ_{\max} et HIC) lors des chocs effectués avec la fausse tête sur les deux types d'enclumes montrent des valeurs inférieures aux limites préconisées par la norme ECE 22 05 (respectivement 275 g et 2400) quel que soit le point d'impact considéré. De plus, le pourcentage d'écrasement du polystyrène expansé augmente pour les quatre points d'impact et pour les deux enclumes.

En termes de risques de lésions neurologiques modérées obtenus avec le SUFEHM, le modèle modifié utilisé donne les résultats suivants :

- ce risque diminue pour les quatre points d'impact sur les deux enclumes, excepté pour le point B lors de chocs sur enclume cornière ;
- les meilleurs résultats sont obtenus pour les points P et R, dont le pourcentage de risque est désormais inférieur à 41 % pour les deux enclumes ;
- les points B et X conservent des pourcentages de risque très élevés (supérieurs à 84 %) pour les deux enclumes.

En ce qui concerne le risque de lésions neurologiques sévères, les résultats obtenus avec le modèle modifié montrent que :

- ce risque est très faible (inférieur à 5 %) pour les points P et R, et ce pour les deux types d'enclumes ;
- ce risque est modéré pour le point B (15 % et 16 % pour les deux enclumes) et reste équivalent à celui du modèle de référence ;
- ce risque, bien qu'ayant diminué, demeure critique pour le point X, avec une valeur de 33 % pour l'enclume cornière et de 25 % pour l'enclume plate.

En termes de risques d'hématomes sous-duraux, seule la valeur obtenue lors d'un choc vertex (P) sur enclume plate est inférieure à 50 % (22 %). Pour les autres points, bien que les valeurs aient diminué, ce risque reste supérieur à 64 % pour des chocs sur enclume cornière et supérieur à 54 % pour des chocs sur enclume plate. Nous pouvons cependant noter que la valeur obtenue lors d'un choc latéral (X) sur enclume plate est proche des 50 % (54 %).

Cependant, malgré l'amélioration apportée par la modification de la masse volumique du polystyrène expansé, la plupart des valeurs obtenues pour les contraintes de Von Mises intracrânielles et pour l'énergie de déformation du liquide cérébrospinal restent supérieures aux limites de tolérance relatives à ces paramètres (respectivement 28 kPa et 53 kPa pour les lésions neurologiques modérées et sévères, et 4950 mJ pour les hématomes sous-duraux), et ce pour les deux enclumes. Seul le point P lors d'un choc sur enclume plate présente un risque faible à la fois en termes de lésions neurologiques et d'hématomes sous-duraux.

De plus, la comparaison des résultats obtenus en termes de paramètres globaux et en termes de paramètres intracrâniens montre qu'une optimisation en termes de HIC n'entraîne pas toujours une optimisation en termes de critères biomécaniques. Par exemple, un choc sur enclume cornière en zone vertex avec le modèle modifié entraîne une diminution du HIC mais une augmentation du risque d'avoir un hématome sous-dural.

		Enclume cornière				Enclume plate			
		B	P	R	X	B	P	R	X
Y _{max} (g)	Ref	201	219	188	167	219	220	228	204
	Mod	243	179	160	174	251	244	181	177
HIC	Ref	1618	1851	1505	992	1852	2141	1972	968
	Mod	2211	1832	1174	1129	2329	1858	1660	1197
Pourcentage d'écrasement du polystyrène expansé	Ref	42	44	36	57	41	47	43	41
	Mod	54	67	52	71	53	68	49	54
σ _{VMmax} (kPa)	Ref	36.2	30.3	28	48.1	37.8	25.9	26.8	50.8
	Mod	36.9	26.3	23	46.4	37.7	22.9	22.5	42.7
% risque de lésions neurologiques modérées/sévères	Ref	83/14	60/8	49/6	98/37	86/16	39/5	44/6	99/44
	Mod	84/15	41/5	27/4	97/33	86/16	27/4	25/4	94/25
IE _{CSFmax} (mJ)	Ref	6851	5418	8063	6173	7292	5209	8737	6687
	Mod	6366	6736	6005	5486	6791	3637	5812	5070
% risque d'hématomes sous-duraux	Ref	87	62	96	78	91	57	98	85
	Mod	81	86	75	64	87	22	71	54
Pourcentage d'écrasement du polystyrène expansé	Ref	41	46	27	24	41	48	28	18
	Mod	45	53	39	36	44	59	35	30

Tableau 20. Récapitulatif des résultats obtenus avec le modèle modifié pour les deux types d'enclumes et pour les deux têtes (en rouge, les valeurs supérieures et en vert les valeurs inférieures aux valeurs de référence).

4.2.4. Essais d'impact sur les casque MetalFoam

Les coques de casque motocyclistes en mousse d'aluminium ont été fabriquées par ALULIGHT, en Autriche et les coiffes en mousse EPS ont été fabriquées par ALTA Pack Limited, en Inde. Les impacts ont été effectués suivant la norme casque : frontal (point B) et vertex (point P) points. Au total 16 tests ont été effectués aux points frontal et vertex avec diverses densités de mousse EPS.

Le dispositif d'essais consiste en une catapulte pneumatique horizontale illustré en figure 4-36. Grâce à un détendeur, l'air comprimé pousse le piston du vérin afin de propulser le chariot jusqu'à la vitesse désirée. Le réglage de la vitesse se fait par réglage de la pression. Le chariot est ensuite bloqué à 300 mm de la plateforme de force ce qui permet à la tête munie d'un casque de venir impacter celle-ci de manière libre.

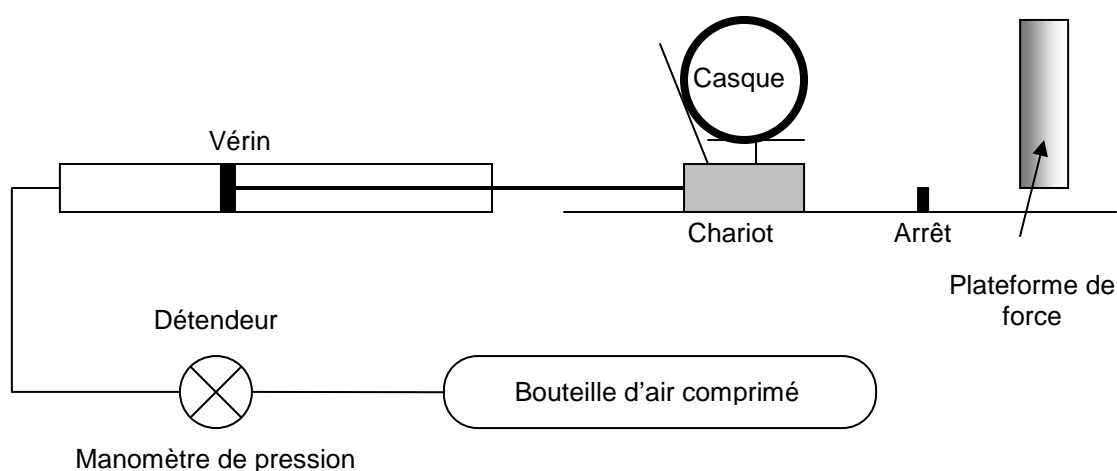


Figure 4-36. Dispositif d'essais d'impact.



Figure 4-37. Dispositif expérimental et casque en mousse d'aluminium impacté.

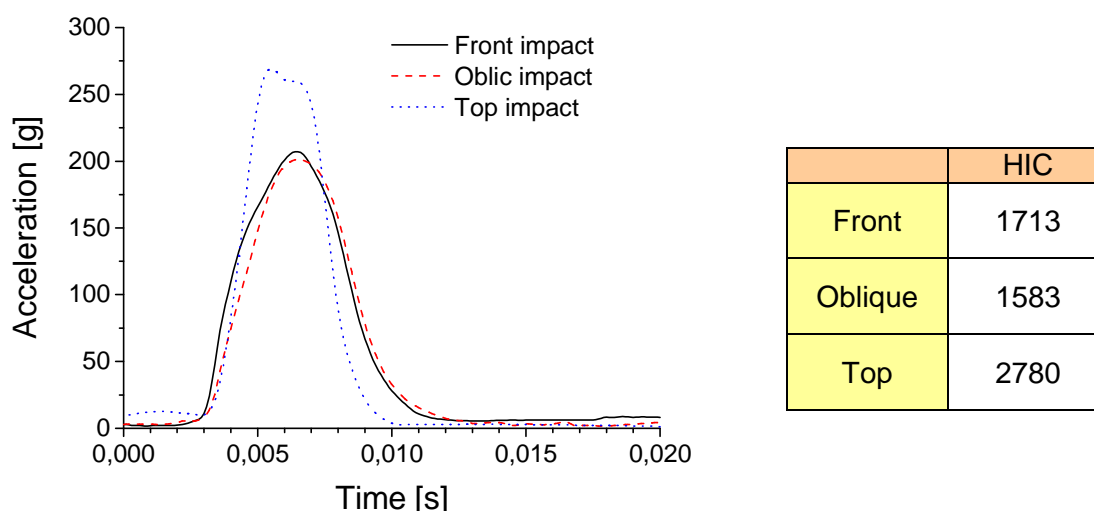


Figure 4-38. Représentation des courbes d'accélération pour chaque direction d'impact et tableau des valeurs en termes de HIC.

Les courbes accélérométriques de l'impact sont illustrées en figure 4-38. En ce qui concerne l'impact frontal et l'impact oblique, les courbes se superposent assez bien, en revanche l'impact au sommet donne une accélération maximale plus élevée ce qui est également observé au niveau des HIC. Ce phénomène est expliqué par le fait que la tête n'impacte pas au même moment que le casque. En effet, l'accélération horizontale du chariot sépare légèrement la tête du casque. A cause de ce phénomène, nous envisageons de faire des tests d'impact en chute libre chez SHARK.

4.2.5. Conclusion

Les deux types d'optimisation proposés dans cette section ont montré des résultats encourageants, notamment en ce qui concerne la mousse d'aluminium. Les essais préliminaires effectués avec ce matériau ont montré l'intérêt qu'il pourrait y avoir à développer ce type de matériau, qui propose les mêmes caractéristiques d'amortissement que les matériaux existants avec un gain de poids non négligeable.

5. Conclusion

Sur la base d'accidents collectés par le CEESAR dans le cadre des projets MAIDS, RIDER et PROTEUS il a été proposé de reconstruire la cinématique globale du motocycliste afin de définir les vitesses et positions de la tête casquée au moment du choc. Cette reconstruction a été conduite dans le cadre d'une collaboration CEESAR-UdS et a nécessité la modélisation de l'environnement et d'utiliser des modèles humains réalistes sous les logiciels PC-CRASH® et MADYMO®, des codes de calcul orienté « cinématique des corps rigides ». Une coopération entre PROMOTO et BioCASQ nous a permis de recueillir 10 cas d'accident de la base de données EDA de l'INRETS MA (Salon de Provence). L'INRETS LBA (Marseille) nous a également transféré un modèle de moto sous MADYMO®. Un total de 44 cas réels ont finalement été traités dont 8 cas ont été simulés avec de la tête par éléments finis (SUFEHM). Les résultats des reconstructions d'accident montrent des différences notables entre les lésions prédites et les lésions effectivement occasionnées. Ces différences sont essentiellement dues à la difficulté de reconstruire correctement les accidents avec peu d'éléments. Les cas les plus difficiles sont d'ailleurs les accidents avec des vols planés. Parmi les 8 cas simulés avec la tête par éléments finis, 6 cas sont en adéquation avec les accidents réels. Cette analyse de la tête casquée en situation de choc a permis de faire la lumière sur les mécanismes de lésions spécifiques au motocycliste, notamment quant au problème de chargements de la tête occasionnés par les conditions aux limites du cou et du thorax. En effet, l'influence de ces parties lors du choc peut modifier le chargement cinétique de la tête. Ce qui peut expliquer certaines différences entre les simulations et la réalité. La modélisation a également une importance considérable pour la reconstruction d'accident, c'est pourquoi il est nécessaire de bien caractériser les structures qui sont mises en jeu ainsi que les comportements de matériaux.

C'est pourquoi la caractérisation des matériaux et de la structure d'un casque de motocycliste a été effectuée. Trois familles de matériaux interviennent typiquement dans la réalisation des casques :

- les matériaux amortissant du calotin
- les thermoplastiques homogènes de la coque externe (ou calotte)
- les composites, des matériaux alternatifs pour la calotte.

Si les deux premiers ont été caractérisés et modélisés dans le cadre du projet PROTEUS, les coques en matériaux composites n'ont fait l'objet ni de caractérisation expérimentale, ni de modélisation. Les matériaux composites permettent d'envisager des coques qui contribuent à la dissipation d'énergie, ce qui explique pourquoi ils sont de plus en plus présents dans le domaine du casque.

Dans ce projet, les matériaux intervenants dans la fabrication des composites et les composites eux-mêmes et disponibles chez SHARK ont été caractérisés à l'UdS au moyen de tests statiques (traction-compression), dynamiques (vibration et choc).

Des échantillons de plaques composites et de calottes entières ont été réalisés par SHARK puis transmis à l'UdS pour tests mécaniques. Pour ces structures les relevés expérimentaux ont consisté en des essais de traction et de vibration multidirectionnels dans le but de quantifier l'anisotropie. Des essais de chocs ont également été réalisés dans le but de déterminer les paramètres de ruptures à implémenter dans la modélisation par éléments finis. Les essais de caractérisation des matériaux et des structures de la sous tâche 2.1 ont rendu possible la modélisation des lois de comportement qui constituent le casque composite RSF21 de SHARK.

Des lois élastiques fragiles en sandwich et élastoplastiques tabulées ont été identifiées pour les calottes en composite et les calotins en polystyrène expansé en fonction de leur densité.

Pour la modélisation des matériaux composites il a été fait appel à des méthodes d'homogénéisations en implémentant à la fois les caractéristiques des matrices et celles des fibres. La modélisation proposée de la coque en composite va au-delà d'une modélisation unidirectionnelle en reproduisant numériquement le comportement anisotrope des structures en situation dynamique et sous endommagement.

Cette modélisation a été obtenue étape par étape en identifiant une loi anisotrope à partir des essais de traction et de vibration multidirectionnels. Ces lois ont été ensuite vérifiées en situation dynamique sous impact.

La CAO de 1 casque composite SHARK a été transférée à l'UdS. L'UdS a procédé alors au maillage de la calotte et du calotin puis a intégré les lois de comportement des matériaux et structures adéquates issus de la tâche 2.2. Le modèle de casque a été couplé au modèle de fausse tête adaptée, ce qui a nécessité le transfert et le maillage de la géométrie de la fausse tête ISO EN 960 de SHARK vers l'UdS.

La validation du modèles de casque composite RS2I a été effectuée dans les conditions de chocs normatifs (R 22.05) avec les paramètres de validations qui sont l'accélération linéaire maximale de la fausse tête (<275 g) et le HIC (< 2400). Diverses configurations de chocs (B, P, R, X) ont été simulées lors de cette procédure de validation, aussi bien sur enclume plate que cornière.

Le modèle de casque élaboré dans la sous tâche 3.1 a été couplés au modèle de la tête humaine (SUFEHM) pour une évaluation de leur capacité protectrice vis-à-vis de la tête biologique. Il est apparu un risque lésionnel non nul quant à l'apparition d'hématome sous-duraux et ce pour les quatre impacts normatifs.

L'optimisation du casque validé est basée sur la modification de la densité du polystyrène expansé constituant la coiffe. En effet, au lieu d'une coiffe homogène de densité constante, celle-ci a été découpée en trois zones d'égale épaisseur ayant chacune une densité différente. Les densités sont croissantes en allant de l'intérieur du casque vers l'extérieur : la couche interne a une densité de 25 kg.m^{-3} , la couche médiane de 55 kg.m^{-3} et la couche supérieure de 85 kg.m^{-3} .

Les résultats montrent qu'une optimisation vis-à-vis du HIC diffère totalement d'une optimisation vis-à-vis de critères biomécaniques. En effet, en termes de HIC, seul le point P est optimisé lorsqu'on modifie le modèle de casque, alors que les points B, R et X le sont quand on considère un modèle de tête anatomique. D'autre part, les résultats obtenus restent à améliorer car les valeurs d'énergie interne du liquide cérébrospinal restent supérieures à la limite de tolérance. Une modification des densités utilisées pour ces simulations sera envisagée afin d'obtenir une meilleure optimisation du casque.

Par ailleurs, une campagne expérimentale a été menée sur des calottes en mousse d'aluminium surmontant un calotin en polystyrène expansé. Les essais préliminaires effectués avec ce matériau ont montré l'intérêt qu'il pourrait y avoir à développer ce type de matériau, qui propose les mêmes caractéristiques d'amortissement que les matériaux existants avec un gain de poids non négligeable.

Le projet BioCASQ est un projet de recherche fondamentale coordonné par L'université de Strasbourg. Il associe aussi SHARK, constructeur de casque de motocyclistes, ainsi que le CEESAR, spécialisé dans l'analyse d'accident. Le projet a commencé en décembre 2005 et a duré 42 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 370 000 € pour un coût global de l'ordre de 660 974 €. Les résultats obtenus ont permis d'élargir notre base de données d'accidents. Cette base de données va permettre d'améliorer notre connaissance sur les limites de tolérances de la tête au choc. Par ailleurs, le modèle par éléments finis du casque composite est une première en la matière dans ce type de modélisation. Le casque est validé par rapport à un casque réel en composite et peut donc constituer un outil pour la reconstruction d'accidents.

6. Références

- Deck, C., Nicolle, S., Willinger, R. (2004). Human head FE modelling: Improvement of skull geometry and brain constitutive laws. Proc. on the IRCOBI conference, 2004 Graz, pp. 79-92.
- Diaw B., Modèle elements finis du couplage tête humaine – casque de protection et reconstruction numérique d'accidents, Thèse de Doctorat, Univ. Strasbourg I, 1999.
- Kang H.S., Willinger R., Diaw B., Chinn B., Validation of a 3D anatomic human head model and replication of head impact in motorcycle accident by finite element modelling, Proc. of the 41th STAPP Car Crash Conf., pp. 329-338, 1997.
- Marjoux D. et al. : Head injury prediction capability of the HIC, HIP, Simon and ULP criteria, IRCOBI Conference, Madrid (Spain), September 2006.
- Nahum A.M., Smith R., Ward C.C., Intracranial pressure dynamics during head impact, Proc. of the 21th STAPP Car Crash Conf., pp. 339-366, 1977.
- Schuck L.Z., Advani S.H., Rheological response of human brain tissue in shearing, Journal of Biomechanical Engineering, 1972.
- Trosseille X., Tarrière C., Lavaste F., Guillon F., Domont A., Development of a FEM of the human head according to a specific test protocol, Proc. of the 36th STAPP Car Crash Conf., pp. 235-253, SAE n°922527, 1992.
- Willinger R., Baumgartner D., Human head tolerance limits to specific injury mechanisms, International journal of Crashworthiness, Vol 8, No 6, 2003, pp.605-617.
- Willinger R., Kang H.S., Diaw B.M., 3D human head finite element model validation against two experimental impacts, Annals of Biomed. Eng., vol. 27(3), pp. 403-410, 1999.
- Willinger R., Taleb L., Pradoura P., Head biomechanics from finite element model to physical model, Proc. of the IRCOBI Conf., Brunnen, pp. 245-260, 1995.
- Willinger R. Taleb L., Kopp C.M., Modal and temporal analysis of head mathematical models, Journal of Neurotrauma, vol. 12, n°4, pp. 743-754, 1995.
- Yogonandan N, Pintar F.A., Sances A., Walsh P.R., Ewing C.L., Snyder T., Snyder R.G., Biomechanics of skull fracture, Proc. Of the Head Injury Symposium, Washington DC, pp. 227-236, 1994.
- Zhou C., Kahlil T.B., Dragovic L.J., Head injury assessment of a real world crash by finite element modelling, Proc. of the AGARD Conf., 1996.

7. Annexes

Planning BIOCASQ

Le tableau ci-dessous donne le planning en semestres du déroulement des différentes étapes de projet.

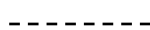
Tâches	Sem - 1	Sem - 2	Sem - 3	Sem - 4	Sem - 5	Sem - 6	Sem - 7
T1 :Interaction tête-casque							
1.1- Conditions aux limites du trauma							
1.2- Simulation de l'interaction							
T2 :Matériaux & Structures casque							
2.1- Caractérisation expérimentale							
2.2- Modélisation des matériaux							
T3 :Optimisation du casque							
3.1- Modélisation du casque							
3.2- Optimisation du casque							



Planning initial prévu au début du projet (janvier 2006).



Planning modifié dont les tâches ont été exécutées au 21 juin 2009.



Planning modifié au 07 octobre 2008.

FRC03020

Véhicules impliqués : Suzuki SV650/ Renault Clio

Conséquences :

Motard DCD, pas d'autopsie demandée (Cf voir Hervé).

Tibia et péroné Gauche fracture ouverte,

Rate et lésion interne

Perte de connaissance initiale reprise de conscience puis de nouveau perte de connaissance,

Hématome et plaies importantes aux deux membres supérieurs.

Plaies ouvertes au niveau du crâne et de la face.

Circonstances :

L'OV marque le stop, elle veut traverser le CD 3. Elle redémarre mais sans voir (percevoir le MC qui arrive de sa gauche). La moto avait son phare allumé. La vitesse d'approche était importante (reconstruction environ 95 km/h au choc). Le MC freine et perd le contrôle de sa machine lors du freinage (route en très mauvais état de nombreux bosses et nids de poules. La moto une fois au sol percute l'arrière de l'OV. La conductrice est surprise par le bruit et tarde à réagir. Elle est au milieu du carrefour lorsque la collision a lieu. La moto et le motard sont solidaires (durant la glissade et le choc initial). Ils percutent l'OV au niveau de la roue arrière gauche (pour l'avant de la moto) et au niveau du pied milieu gauche pour le motard. Le casque n'a pu être récupéré (trop de sang). Déformations importantes :

- Grattage avec délamination coté gauche (choc initial au sol et ripage),
- Eclats et enfoncement au niveau du dessus de la visière (visière ??? pas retrouvée),
- Enfoncement avec fracture du la mentonnière, (le guidon a du percuter le casque !)
- Grattage moins important sur le coté droit (après collision).

Sous le choc l'OV fait pratiquement un 360° et s'immobilise sur la bas coté, dans l'herbe. La fourche avant de la moto est sectionnée et la moto termine sur le coté droit de la chaussée.

1	1	52	99	9	Bas de caisse	Guidon moto !
1	6	04	06	2	Sol (choc initial)	
1	5	02	04	3	Bas de caisse	
2	1	60	06	3	Bas de caisse	
2	4	34	04	2		

Casque ARAI (taille 57) double anneau resté sur la tête.

BIOCASQ Cas n° FRC03020									
								304	
L'OV traverse le carrefour sans voir le MC qu arrivait sur sa gauche.									
L'OV avait un STOP									
Date de l'accident :					Lieu :				
Conditions atmosphériques : de jour					Force de l'orde : Gendarmerie				
SITUATION DE CONDUITE									
		OV		MOTO					
RENAULT		VÉHICULE							
Clio		Modèle		SUZUKI					
		Poids		SV650					
1 personne à l'avant		Charge		aucune					
2000		Année de mise en circule		2002					
		Empattement d'origine							
		Empat / réduc D / réduc G		Plus de fourche avant					
		Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle							
		INFRASTRUCTURE							
Route locale		Types de voies		Départementale					
bitume		Revêtement		bitume		Mauvais état			
plat		Profil en long		plat					
inter en X		Tracé en plan		inter en X					
		CONDUCTEUR		Homme 37					
		Expérience		-					
		Taille / poids		environ 75 kilo !					
		PASSAGER(S)							
		Taille / poids							
		Taille / poids							
		Taille / poids							
		Vitesse déclarée							
		Trajet							
PRE-COLLISION									
20		Vitesse initiale reconstruite		96 au choc					
		Distance au point de choc							
		Tps écoulé du PE au POI							
0,8		Adhérence utilisée		0,8					
		ÉVÈNEMENT INITIATEUR							
		Le pilote est surpris par la manœuvre de l'OV							
		Vitesse excessive à l'approche d'un carrefour							
		FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)							
		Vitesse excessive à l'approche d'un carrefour							
		Arrêt de la par de l'OV et redémarrage !							
		CONTRE-MESURE(S)							
		BILAN LÉSIONNEL							
voir bilan									
COLLISION									
		Latéral		Choc		Frontal		couché coté droit	
				Vitesse au choc		96km/h			
				Énergie de déformation					
				Angle entre les véhicules		85°			
				Angle de dérive		aucun			

FRC05001P

Circonstances :

Accident de la circulation piéton.

Le motard est 42 ans il s'agit d'un SDF d'origine Ukrainienne.

Pas pu m'entretenir avec lui (barrière de la langue).

Taille et poids 1.75 m pour 72 kg

Suicide ou traversée ?

Cas pour référence sans casque

Description de l'accident :

La zone est limitée à 90 km/h et 200 m avant il y a un radar


Le conducteur de la Clio (véhicule qui percute le piéton) aperçoit dans les phares de la voiture qui de devance une forme. Il lève le pied. Il n'est pas certain de ce qu'il a vu mais hésite à changer de voie Il aborde un passage sous un pont la forme aperçu est après. Il est 21h00 il fait nuit.

Il voit clairement devant lui une forme, arrêtée, au milieu de sa voie. Il freine brutalement et bloque ses freins (traces sur environ 18 m) avant de percuter le piéton qui se remettait à avancer il le percute au niveau de la jambe gauche.

Le piéton vole et retombe sur la tête.

La voiture de derrière à heureusement le temps de freiner et ne touche pas le piéton.

La tête percute le bitume (zone plate et granuleuse)

BIOCASQ Cas n° FRC05001P											
										705	
Le piéton traverse devant l'OV (voie rapide) De nuit et derrière un pont											
Date de l'accident :		decembre 2005 à 21 h				Lieu :		Evry			
Conditions atmosphériques :		de nuit				Force de l'ordre :		Police			
SITUATION DE CONDUITE											
OV				Piéton							
				<u>VÉHICULE</u>							
				Clio							
				Modèle							
				Poids							
				Charge							
				2 personnes à l'avant							
				2004							
				Année de mise en circule							
				Empattement d'origine							
				Empat / réduc D / réduc G							
				Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle							
				<u>INFRASTRUCTURE</u>							
				RN (voie rapide)							
				bitume							
				plat							
				ligne droite							
				<u>CONDUCTEUR</u>				Homme 42 ans - SDF			
				Expérience				-			
				Taille / poids				175 / 72			
				<u>PASSAGER(S)</u>							
				Taille / poids							
				Taille / poids							
				Taille / poids							
				Vitesse déclarée							
				Trajet							
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR </div> Le piéton est arrêté en milieu de voie Il rept au moment ou l'OV arrive											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) </div> De nuit - - derriere une pile de pont -- zone pas éclairée Voie rapide interdite aux piétons											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> CONTRE-MESURE(S) </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> BILAN LÉSIONNEL </div>											
Voire fiche											
COLLISION											
				Frontal							
				Choc							
				Vitesse au choc							
				Énergie de déformation							
				Angle entre les véhicules							
				Angle de dérive							

FRC06003

ATTENTION

Lors de la reconstruction, nous ne disposons pas de la carrosserie du « Vitara » pour la simulation.

Circonstances :

Accident de la circulation moto contre OV.

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué.

Description de l'accident :

Une voiture est stationnée sur le trottoir (dans le sens opposé à la circulation du motard). Le motard circule normalement sur sa voie lorsque qu'il perçoit une voiture qui arrive en face de lui (sans vraiment y prendre garde – déclaration PV – car il pensait que la voiture qui arrivait en sens inverse l'avait vu et allait se serrer ou freiner).

Dans sa déclaration il dit qu'il était prioritaire Et qu'il n'a pas réagit de suite

La voiture qui arrive en face ne freine pas. Elle fait un écart pour doubler la voiture en stationnement. Le conducteur est pressé (en retard à un RdV) et n'a pas vu le MC (le MC roulait avec son phare allumé). Le conducteur de l'OV déclare être plus préoccupé par le mouvement de la voiture en stationnement que par ce qui pourrait être devant lui (dans la mesure où il ne perçoit pas d'autre usager !)

Le conducteur du 2RM voyant la voiture faire un écart et foncer sur lui, tente une manœuvre d'évitement à droite (en freinant).

Il percute la voiture à l'avant droit. Il est projeté sur le pare brise. Le casque percute le pare brise coté droit ainsi que le montant de pare brise. L'impact relevée au bas du pare brise est du au membre sup (coude).

Lors du choc la moto est trainée par le « Vitara »

Etat moto - (94) Procédure en cours

Moto en épave HS

- Yamaha diversion (Bleue) de 2000 – Kilométrage ? plus de compteur (d'après le pilote pas plus de 78 000 km)
- Fourche enfoncée, voilée et fourreaux cassés (**EES environ 20 à 25**)
- Jante avant cassée en 3 morceaux (jante pas d'origine)... Fourche pliée au niveau des « té »
- Pot non homologué (HS)
- Blouson moto et gants – casque fibre SHOEI RF900 (photo police - visière ?)

- Baskets aux pieds.

Bilan :

Traumatisme crânien avec perte de connaissance initiale : 161000 AIS2

(Pompier - intubé ventilé Patient coma Glasgow Score à 13) 160202 AIS2

Sans déficit moteur

Luxation de la mandibule (mâchoire inf) 250699 AIS1

Un hématome sous dural bilatéral 140650 AIS4

BIOCASQ Cas n° FRC06003																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Un OV double une voiture en stationnement alors que le MC arrive en face											<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 101 </div>																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Date de l'accident : Conditions atmosphériques : beau temps pas de vent chaussée sèche																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Lieu : Force de l'ordre : Police																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
SITUATION DE CONDUITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">OV</th> <th colspan="4">MC</th> <th colspan="4"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">SUZUKI</td> <td colspan="2">Véhicule</td> <td colspan="2">Yamaha</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Vitara</td> <td colspan="2">Modèle</td> <td colspan="2">diversion 600</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Poids</td> <td colspan="2">185</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Charge</td> <td colspan="2">-</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Année de mise en circule</td> <td colspan="2">2000</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Empattement d'origine</td> <td colspan="2">1435</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Empat / réduc D / réduc G</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Importante</td> <td colspan="2">1210</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="12" style="text-align: center;">INFRASTRUCTURE</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Types de voies</td> <td colspan="2">voie unique</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Revêtement</td> <td colspan="2">bitume</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Profil en long</td> <td colspan="2">plan</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Tracé en plan</td> <td colspan="2">droit</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="12" style="text-align: center;">CONDUCTEUR</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Homme 45 ans</td> <td colspan="2">Homme 36 ans</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Expérience moto</td> <td colspan="2">10 ans aux beaux jours</td> <td colspan="2">permis A et B 29/8/92</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Taille / poids</td> <td colspan="2">178 / 88</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="12" style="text-align: center;">PASSAGER(S)</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Taille / poids</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Taille / poids</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Taille / poids</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Vitesse déclarée</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Trajet</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>												OV				MC								SUZUKI		Véhicule		Yamaha								Vitara		Modèle		diversion 600										Poids		185										Charge		-										Année de mise en circule		2000										Empattement d'origine		1435										Empat / réduc D / réduc G				Importante		1210						Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle										INFRASTRUCTURE														Types de voies		voie unique										Revêtement		bitume										Profil en long		plan										Tracé en plan		droit								CONDUCTEUR														Homme 45 ans		Homme 36 ans										Expérience moto		10 ans aux beaux jours		permis A et B 29/8/92								Taille / poids		178 / 88								PASSAGER(S)														Taille / poids												Taille / poids												Taille / poids												Vitesse déclarée												Trajet									
OV				MC																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
SUZUKI		Véhicule		Yamaha																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Vitara		Modèle		diversion 600																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Poids		185																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Charge		-																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Année de mise en circule		2000																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Empattement d'origine		1435																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Empat / réduc D / réduc G				Importante		1210																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
INFRASTRUCTURE																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Types de voies		voie unique																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Revêtement		bitume																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Profil en long		plan																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Tracé en plan		droit																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
CONDUCTEUR																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Homme 45 ans		Homme 36 ans																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Expérience moto		10 ans aux beaux jours		permis A et B 29/8/92																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		Taille / poids		178 / 88																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PASSAGER(S)																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Taille / poids																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		Taille / poids																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		Taille / poids																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		Vitesse déclarée																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		Trajet																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
PRE-COLLISION																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR </div> L'OV double un autre OV en stationnement coté opposé au sens de circulation du MC																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) </div> L'OV n'est pas prioritaire et n'a pas perçut le mC tarde à effectuer une manœuvre d'urgence (pas d'anticipation - trop c																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> CONTRE-MESURE(S) </div> formation Déteçtabilité du 2RM																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> BILAN LÉSIONNEL </div> Perte de connaissance initiale																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Voir bilan																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
COLLISION																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Choc Vitesse au choc Énergie de déformation Angle entre les véhicules Angle de dérive																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

FRC06015

Circonstances :

Accident de la circulation moto seul.

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué (le casque a été récupéré par la famille).

Description de l'accident :

Le motard circule très rapidement (plusieurs témoins – subjectifs car pots non homologué). Le pilote tente de freiner car la moto s'emballe (compte tours à plus de 9 000 tours). Le starter est bloqué. Le pilote freine à fond (plus de 7 m de freinage (avant et arrière). Il voit une voiture lui passer devant à l'intersection ... il est soulagé - il pense avoir relâché les freins car il croyait que la route allait tout droit ... il ne savait pas que la route était décalée et en sens unique !

Il monte sur le trottoir et percute (perpendiculairement) le muret de séparation d'un parc.

La moto percute et s'élève (elle s'élève au dessus du muret en virevoltant) avant de faire un looping et de retomber sur le muret. Lors du choc, le pilote est projeté à plus de 10 m dans l'herbe ou il glisse sur 8 à 9 m environ, pour enfin s'arrêter à 20 m du point d'impact.

Lors du choc la moto devait être délestée de l'arrière car le choc est situé plus au niveau de la tête de fourche.....

Ce n'est pas la tête qui touche le sol en premier mais le thorax ... la tête touche le sol ensuite mais la violence du choc lui fait perdre connaissance.

Etat moto - (78) Procédure en cours

Moto en épave HS

- SUZUKI SV 650 (bordeaux) de 2003 – Kilométrage ? plus de compteur (d'après le pilote pas plus de 31 000 km)
- Fourche enfoncée, voilée et fourreaux cassés (**EES environ 20 à 25**) sur le muret et au sol
- Jante avant solidaire de la fourche ... mais fourche cassée au niveau des « té »
- Pot non homologué (HS)
- Guidon tordu (refermé sur le réservoir)
- Réservoir détruit à plus de 20 ou 30 %
- Blouson moto et gants – casque fibre SHOEI RF900 vert (visière cassée en trois morceaux – impacts de terre sur le côté du choc, pas de déformation significative)

BIOCASQ Cas n° FRC06015											
										<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 40px; margin: 0 auto;">314</div>	
Suite au blocage de son starter le motard va tout droit et percute le muret qui est en face de lui											
Date de l'accident :		2006				Lieu :					
Conditions atmosphériques :		beau temps pas de vent chaussée sèche				Force de l'ordre :		gendarmerie			
SITUATION DE CONDUITE											
OV						MC					
<u>VÉHICULE</u>						<u>SUZUKI</u>					
Modèle						SV 650					
Poids						185					
Charge						-					
Année de mise en circulation						2003					
Empattement d'origine						1435					
Empat / réduc D / réduc G						Importante					
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle						2080	745	1085	800		
<u>INFRASTRUCTURE</u>											
Types de voies						voie unique					
Revêtement						bitume					
Profil en long						plan					
Tracé en plan						droit					
<u>CONDUCTEUR</u>											
						Homme 46 ans					
Expérience moto						5 ans occasionnellement permis A et B 29/8/92					
Taille / poids						177 / 83					
<u>PASSAGER(S)</u>											
Taille / poids											
Taille / poids											
Taille / poids											
Vitesse déclarée											
Trajet											
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite						64 km/h					
Distance au point de choc						moto = 7 m pilote ~ 20 m					
Tps écoulé du PE au POI						6,2 '					
Adhérence utilisée						0,8					
ÉVÉNEMENT INITIATEUR											
Starter bloqué - moto qui s'emballe											
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)											
Faible expérience (occasionnelle)											
CONTRE-MESURE(S)											
formation											
BILAN LÉSIONNEL											
Perte de connaissance initiale											
Voir bilan											
COLLISION											
Choc						frontal					
Vitesse au choc						54					
Énergie de déformation						25					
Angle entre les véhicules						la moto virevolte ensuite					
Angle de dérive											

FRC06022

Circonstances :

Accident de la circulation scooter seul.

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué (le casque a été récupéré par la famille – aucun accord pour l'étude).

Description de l'accident :

L'OV et le scooter circulent dans le même sens. Ils se suivent. La vitesse déclarée (témoin qui est derrière) est d'environ 50 à 55 km/h. L'OV qui précède le scooter est sur la voie de droite, la voie de gauche permettant de tourner uniquement à gauche. L'OV freine brutalement et tourne à gauche. L'OV s'engage sur la voie perpendiculaire à son sens de circulation. Le pilote du scooter voyant les feux s'allumer, freine tout aussi brutalement et tente de passer entre l'OV et le trottoir. Croyant pouvoir monter sur le trottoir (un bateau est juste dans sa trajectoire) il tente sa chance.


Il perd le contrôle en montant sur le trottoir et en percutant les plots (plots béton empêchant les OV de stationner).

Il percute le sol avec la tête, le scooter lui retombe dessus (guidon sur le thorax et l'abdomen).

Etat scooter - (93) Procédure en cours

Scooter HS en épave (récupéré par la famille)

- Scooter MBK booster rouge de 2004 (appartient au grand frère) – Kilométrage ?
- Fourche enfoncée et voilée (**EES environ 10**) sur le plot et au sol
- Pot non homologué (HS) (vu la vitesse débridé)
- Guidon tordu (vers la gauche)
- Pot non homologué et pas de rétro
- Aucun d'équipement spécifique (excepté casque).

BIOCASQ Cas n° FRC06022											
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 80%;"> L'OV freine et tourne à gauche devant le MC. Le MC suivant l'OV. Au freinage le mC monte sur le trottoir et perd le contrôle </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  </div> </div>											
Date de l'accident : 22 juillet 2007 Lieu : Conditions atmosphériques : beau temps pas de vent chaussée sèche Force de l'ordre : Police											
SITUATION DE CONDUITE											
OV						MC					
<u>VÉHICULE</u>						<u>MKB</u>					
Modèle						Booster					
Poids						75					
Charge						0					
Année de mise en circul						2004					
Empattement d'origine						1172					
Empat / réduc D / réduc						1052 12 cm de réduction					
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle						1685		1051		534	
INFRASTRUCTURE											
Types de voies						Route secondaire					
Revêtement						Bitume					
Profil en long						plat					
Tracé en plan						ligne droite					
CONDUCTEUR											
Expérience						Femme 24 ans					
Taille / poids						5 ans occasionnellement					
Taille / poids						165 / 45					
PASSAGER(S)											
Taille / poids											
Taille / poids											
Taille / poids											
Vitesse déclarée											
Trajet											
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR OV freine brutalement et tourne à gauche </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) le conducteur de l'OV n'était sur la bonne voie Le MC trop près </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> CONTRE-MESURE(S) formation </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> BILAN LÉSIONNEL </div>											
Voir bilan											
COLLISION											
Choc						frontal					
Vitesse au choc						41					
Énergie de déformation						15 + 10					
Angle entre les véhicules						le scooter vire volte et est retombée sur place					
Angle de dérive											

FRC06023

Circonstances :

Accident de la circulation moto (scooter).

Le motard est 26 ans.

Taille et poids

Casque non attaché polycarbonate – est parti dès le choc initial

Description de l'accident :

En agglomération (carrefour en X)

Le conducteur l'OV passe au feu vert. Il est percuté à l'arrière (après le passage de roue arrière) par un livreur de pizzas.

Le livreur de pizzas franchit délibérément le feu rouge (témoins), il freine (les témoins ont vu le feu s'allumer) mais ne peut éviter la collision avec l'OV.

Le livreur de pizzas remontait une file de voitures arrêtées au feu rouge. Il circulait sur l'autre voie.

Il percute l'OV et est éjecté du scooter. Il chute au sol la tête la première (voir bilan).

BIOCASQ Cas n° FRC06023											
Le pilote percute un OV en inter et perpendiculairement Le livreur de pizzas grille le feu											
Date de l'accident : Lieu : Conditions atmosphériques : de jour Force de l'ordre : Police											
SITUATION DE CONDUITE											
OV Scooter											
CITROEN			<u>VÉHICULE</u>								
XSARA			Modèle			PIAGGO					
			Poids			85					
			Charge			aucune			à vide retour vers la pizzeria		
			Année de mise en circule								
			Empattement d'origine								
			Empat / réduc D / réduc G								
			Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle								
<u>INFRASTRUCTURE</u>											
			Types de voies			inter en X					
			Revêtement			Bitume					
			Profil en long			plat					
			Tracé en plan			carrefour					
<u>CONDUCTEUR</u>											
			Homme 26 ans								
			Expérience			-					
			Taille / poids			?					
<u>PASSAGER(S)</u>											
			Taille / poids								
			Taille / poids								
			Taille / poids								
			Vitesse déclarée								
			Trajet								
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR Le pilote grille délibérément le feu rouge Le pilote freine mais pas assez (vitesse trop importante pour s'arrêter) </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) action insécuritaire délibérée casque non attaché </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> CONTRE-MESURE(S) Formation </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> BILAN LÉSIONNEL </div>											
voir bilan											
COLLISION											
Choc											
			50			Vitesse au choc			45		
						Énergie de déformation			EES 30		
						Angle entre les véhicules			90°		
						Angle de dérive					

FRC07010

Circonstances :

Accident de la circulation avec délit de fuite (VL).

Le motard est retrouvé inconscient par les pompiers.

Il n'est pas casqué lorsque les pompiers interviennent. Le casque est retrouvé par la police sous une voiture en stationnement (impossible de savoir laquelle et où).

Le pilote n'attachait pas son casque (intégral ancien Polycarbonate) sans visière.

Description de l'accident :

L'OV passe au feu rouge et est percutée à l'arrière par le motard qui circulait sur sa voie. Le MC n'a pas fait attention à la voie de droite (mon feu était vert !!!), masque à la visibilité camionnette en livraison garée sur le trottoir. Lorsqu'il perçoit la voiture, il freine, trace de 1.20 m de gomme (police) au niveau du choc. Mais il ne peut éviter l'arrière de la voiture. Il n'a pas tenté un évitement (sont réflexe est de freiner - les deux freins (main et pied) ce qui explique la trace de gomme – dérapage arrière et l'angle avec lequel la moto percute l'arrière du VL)

Il est projeté au sol, des témoins disent que c'est lors du premier choc au sol que le casque est parti et que la tête a ensuite tapé le sol en rebondissant.

Le pilote a roulé sur lui-même, il ne portait aucun équipement spécifique.

Il a roulé, non pas sur le coté mais sur sa longueur.

La voiture ne c'est pas arrêtée des témoins (2) l'on entendu accélérer et tourner dans une autre rue. Ils précisent qu'ils étaient plus occuper à regarder le pilote que la voiture.

Le témoin 1 était sur le trottoir face au passage piétons et a faillit se faire renverser par le VL. Le témoin 2 était lui aussi sur le trottoir face au passage piéton et attendait que le feu passe au rouge. Il était dans le sens de circulation du motard.


Le MC est pris en charge par les pompiers puis par le SAMU et transféré directement à KB.

Etat moto - parking police (77) Procédure en cours

Pas eu l'autorisation de la prendre en photos (le pilote étant dans le coma) :

Seulement eu l'autorisation de la regarder.

- CB 500 de 2001 – noire – kilométrage = 75862 km
- Protection carter
- Fourche enfoncée et voilée surtout **coté gauche (EES environ 10)**
- Sorties d'échappements touchées (roue en contact avec les pots)
- Réservoir, pot et pare carter ainsi que repose pied **coté droit** complètement HS.
- Guidon revenu sur le réservoir (tordu coté droit)
- Plus de cligno (AV et Ar) coté droit
- Pneus usés à la limite des témoins.

BIOCASQ Cas n° FRC07010																																																								
										<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 40px; margin: 0 auto;">305</div> 																																														
<p>L'OV passe au feu rouge et tourne à gauche. Le MC circule normalement mais ne peut voir l'OV griller le feu Il y a un masque mobile à la visibilité de plus l'OV circule rapidement</p>																																																								
Date de l'accident :		15 avril 2008				Lieu :																																																		
Conditions atmosphériques :		beau temps pas de vent chaussée sèche				Force de l'ordre :		Police																																																
SITUATION DE CONDUITE																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">OV</th> <th style="width: 30%;">VÉHICULE</th> <th style="width: 30%;">MC</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RENAULT</td> <td></td> <td>HONDA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Laguna</td> <td>Modèle</td> <td>CB 500</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1355</td> <td>Poids</td> <td>175</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>inconnu DELIT de fuite</td> <td>Charge</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Année de mise en circul</td> <td>2001</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Empattement d'origine</td> <td>1400</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Empat / réduc D / réduc</td> <td>??</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle</td> <td>2230</td> <td>750 130</td> </tr> </tbody> </table>												OV	VÉHICULE	MC			RENAULT		HONDA			Laguna	Modèle	CB 500			1355	Poids	175			inconnu DELIT de fuite	Charge	0			Année de mise en circul		2001			Empattement d'origine		1400			Empat / réduc D / réduc		??			Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle			2230	750 130
OV	VÉHICULE	MC																																																						
RENAULT		HONDA																																																						
Laguna	Modèle	CB 500																																																						
1355	Poids	175																																																						
inconnu DELIT de fuite	Charge	0																																																						
Année de mise en circul		2001																																																						
Empattement d'origine		1400																																																						
Empat / réduc D / réduc		??																																																						
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle			2230	750 130																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">INFRASTRUCTURE</th> <th style="width: 30%;">Types de voies</th> <th style="width: 30%;">Route secondaire</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>route secondai</td> <td>Bitume</td> <td>Bitume</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>plat</td> <td>profil en long</td> <td>plat</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ligne droite</td> <td>Tracé en plan</td> <td>ligne droite</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												INFRASTRUCTURE	Types de voies	Route secondaire			route secondai	Bitume	Bitume			plat	profil en long	plat			ligne droite	Tracé en plan	ligne droite																											
INFRASTRUCTURE	Types de voies	Route secondaire																																																						
route secondai	Bitume	Bitume																																																						
plat	profil en long	plat																																																						
ligne droite	Tracé en plan	ligne droite																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">CONDUCTEUR</th> <th style="width: 30%;">Homme 06/10/87</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Expérience</td> <td>depuis le 23/04/06</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Taille / poids</td> <td>175 / 75</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												CONDUCTEUR	Homme 06/10/87			Expérience	depuis le 23/04/06			Taille / poids	175 / 75																																			
CONDUCTEUR	Homme 06/10/87																																																							
Expérience	depuis le 23/04/06																																																							
Taille / poids	175 / 75																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">PASSAGER(S)</th> <th colspan="3"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Taille / poids</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Taille / poids</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Taille / poids</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vitesse déclarée</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trajet</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												PASSAGER(S)				Taille / poids				Taille / poids				Taille / poids				Vitesse déclarée				Trajet																								
PASSAGER(S)																																																								
Taille / poids																																																								
Taille / poids																																																								
Taille / poids																																																								
Vitesse déclarée																																																								
Trajet																																																								
PRE-COLLISION																																																								
<p>Vitesse initiale reconstruite</p> <p>Distance au point de choc</p> <p>Tps écoulé du PE au POI</p> <p>Adhérence utilisée</p>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">ÉVÈNEMENT INITIATEUR</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OV Grille le feu délibérement</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												ÉVÈNEMENT INITIATEUR			OV Grille le feu délibérement																																									
ÉVÈNEMENT INITIATEUR																																																								
OV Grille le feu délibérement																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masque à la visibilité pour le MC</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Casque non attaché et pas d'équipement motard</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)			Masque à la visibilité pour le MC			Casque non attaché et pas d'équipement motard																																						
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)																																																								
Masque à la visibilité pour le MC																																																								
Casque non attaché et pas d'équipement motard																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">CONTRE-MESURE(S)</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												CONTRE-MESURE(S)																																												
CONTRE-MESURE(S)																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">BILAN LÉSIONNEL</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												BILAN LÉSIONNEL																																												
BILAN LÉSIONNEL																																																								
COLLISION																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">lat arriere</th> <th style="width: 30%;">Choc</th> <th style="width: 30%;">frontal</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>36</td> <td>Vitesse au choc</td> <td>46</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>?</td> <td>Énergie de déformation</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Angle entre les véhicules</td> <td>330</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Angle de dérive</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												lat arriere	Choc	frontal			36	Vitesse au choc	46			?	Énergie de déformation	10				Angle entre les véhicules	330				Angle de dérive																							
lat arriere	Choc	frontal																																																						
36	Vitesse au choc	46																																																						
?	Énergie de déformation	10																																																						
	Angle entre les véhicules	330																																																						
	Angle de dérive																																																							

FRC07011

Circonstances :

Accident de la circulation entre un CBR 600 et un 4X4 LADA niva.

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué (personne ne sait où est le casque).

Description de l'accident :

L'OV est dans un embouteillage, en retard pour un rendez vous de chantier. Il décide de faire demi tours sur le parking en face de lui (coté droit), en franchissant une ligne blanche. Il ne voit personne en face. Il s'engage et en redressant les roues (pied sur le frein) pour reculer et partir dans l'autre sens. Il est percuté par le motard. Il cale. Au sol il y a deux traces de ripage des pneus arrière.

Le motard déclare rouler entre 50 et 65 sûrement pas plus, car il démarrait du feu plus loin (environ 400 m). Ses feux étaient allumés. Il connaît la route et il pensait que le 4X4 allait se garer dans le parking, comme c'est souvent le cas. En arrivant à la hauteur du passage piéton, il regarde les gens sur le trottoir. Il arrive qu'ils traversent

Au moment ou il regarde devant lui, il perçoit le 4x4 en plein milieu Il n'a pas le temps de freiner.

Il percute le 4X4 sur l'arrière gauche et fait un vol plané pour être arrêté contre une camionnette qui était arrêtée (sens de circulation du 4X4). Le conducteur de la camionnette regardait un dossier sur le siège avant et n'a rien vu sauf au moment de l'accident (bruit) il a le pied sur le frein.


Le pilote est coincé contre le 4X4 (pb tibia) puis il s'écrase contre sa bulle (pb thorax) et enfin il percute le sol.

Le SAMU transfert directement à KB.

Etat moto - (94) Procédure en cours

Moto HS en épave

- CBR600 de 2004 – rouge de 35214 km
- Fourche enfoncée et voilée **coté droit (EES environ 10)** tenir compte du sol
- Sorties d'échappements touchées (roue en contact avec les pots)
- Réservoir, pot et carénage ainsi que repose pied **coté droit et gauche** complètement HS.
- Guidon revenu sur le réservoir (tordu coté droit)
- Plus de cligno (AV et Ar) coté droit
- Pot non homologué et clignotants non d'origine
- Pas d'équipement spécifique (sauf blouson cuir) .

BIOCASQ Cas n° FRC07011											
L'OV fait demi tour devant le MC											<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <div style="text-align: right; margin-bottom: 5px;">305</div>  </div>
Date de l'accident :		4 mai 2007				Lieu :					
Conditions atmosphériques :		beau temps pas de vent chaussée sèche				Force de l'ordre :		Police			
SITUATION DE CONDUITE											
			OV		VÉHICULE		MC				
			LADA				HONDA				
			Niva 4x4		Modèle		CBR 600				
			1355		Poids		175				
			matériel environ 100 kg		Charge		0				
			Année de mise en circul		2004						
			Empattement d'origine		1400						
			Empat / réduc D / réduc		??						
			Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle					2230	750	130	
INFRASTRUCTURE											
			route secondai		Types de voies		Route secondaire				
			Bitume		Revêtement		Bitume				
			plat		Profil en long		plat				
			ligne droite		Tracé en plan		ligne droite				
CONDUCTEUR											
			Expérience		Homme 28/05/85						
			Taille / poids		depuis le 5/09/04						
			Taille / poids		180 / 80						
PASSAGER(S)											
			Taille / poids								
			Taille / poids								
			Taille / poids								
			Vitesse déclarée								
			Trajet								
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; width: 100%;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR OV fait demi tour et s'arrête sur la trajectoire du motard </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; width: 100%;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) le conducteur ne s'engage pas franchement Le MC ne regarde pas devant lui </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; width: 100%;"> CONTRE-MESURE(S) </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; width: 100%;"> BILAN LÉSIONNEL </div>											
Voire fiche											
COLLISION											
			arriere		Choc		frontal				
			0		Vitesse au choc		84				
			?		Énergie de déformation		15 + 20		la moto a volé et est retombée sur place		
					Angle entre les véhicules		10°				
					Angle de dérive						

FRC07012

Circonstances :

Accident de la circulation entre un Hornet 600 et un FORD Galaxie .

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué (personne ne sait où est le casque).

Description de l'accident :

Le pilote ralentit car il voit devant lui une voiture arrêtée au feu et le Galaxie (le véhicule le plus proche de lui) qui se déporte à droite. Il pense que l'OV va se mettre à côté de l'autre véhicule arrêté au feu. Il regarde à sa gauche une enseigne qui clignote. Il perçoit dans son champ visuel une masse et regarde Le Galaxie est arrêté. Il ralentissait pour entrer dans un parking sous terrain (sans clignotant).


Le pilote n'a pas le temps de réagir, il percute l'arrière du Galaxie et passe par-dessus sa moto et chute violemment sur la tête. Puis vire volte avant de s'arrêter sur la voie de bus.

La moto reste accrochée sur le Galaxie avant de chuter elle aussi.

Etat moto - (94) Procédure en cours

Moto HS en épave

- HORNET600 de 2003 – jaune de 55769 km
- Fourche enfoncée et voilée **côté droit (EES environ 10)**
- Sorties d'échappements touchées (roue en contact avec les pots)
- Réservoir, pot ainsi que repose pied **côté droit et gauche** (traces au sol et sur l'OV).
- Guidon plié des deux côtés
- Plus de cligno (AV et AR) deux côtés
- Pot non homologué et clignotants non d'origine
- Pas d'équipement spécifique (blouson cuir, mais pas moto).

BIOCASQ Cas n° FRC07012											
										105	
L'OV S'arrête pour entrer dans un parking sous terrain (sans clignotant) Le mC croyait que l'OV allait tout droit											
Date de l'accident :		5 avril 2007				Lieu :					
Conditions atmosphériques :		beau temps pas de vent chaussée sèche				Force de l'ordre :		Police			
SITUATION DE CONDUITE											
OV						MC					
			FORD			VÉHICULE			HONDA		
			Galaxie			Modèle			HORNET 600		
			1355			Poids			180		
			matériel environ 80 kg			Charge			0		
						Année de mise en circul 2004					
						Empattement d'origine 1400					
						Empat / réduc D / réduc ??					
						Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle					
								2230		750	
								130			
INFRASTRUCTURE											
			route secondai			Types de voies			Route secondaire		
			Bitume			Revêtement			Bitume		
			plat			Profil en long			plat		
			ligne droite			Tracé en plan			ligne droite		
CONDUCTEUR											
						Homme 28/05/85					
						Expérience					
						Taille / poids					
						178 / 85					
PASSAGER(S)											
						Taille / poids					
						Taille / poids					
						Taille / poids					
						Vitesse déclarée					
						Trajet					
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR L'OV s'arrête en circulation </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) L'OV s'arrête pour entrer dans un parking sous terrain sans cligno Pilote distrait par une enseigne avait mal évalué la situation </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> CONTRE-MESURE(S) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> BILAN LÉSIONNEL </div>											
Voire fiche											
COLLISION											
			arriere			Choc			frontal		
			0			Vitesse au choc			35		
			10			Énergie de déformation			15		
						Angle entre les véhicules			5		
						Angle de dérive					
									la moto a volé et est retombée sur place		

FRC07013

Circonstances :

Accident de la circulation entre une moto et un 806 (camionnette fermée).

Le motard est retrouvé conscient mais agité par le SAMU.

Il est casqué.

Description de l'accident :

Les deux véhicules roulaient dans le même sens sur la 104 en direction de l'A4.

Le pilote du MC c'est déporté de la voie de droite vers la voie de gauche pour doubler plusieurs voitures. Il se rabat et circule sur la voie de droite (à environ 90 / 95 km/h). Il voit, devant lui, un 806 qui le précède. Il se rapproche du véhicule et met son clignotant pour le doubler. En même temps, il regarde dans son rétro de droite avec insistance (se sont ses paroles) car il croit détecter une autres voiture en train de déboîter derrière lui. Il ne réagit pas (pas le temps). Le pilote perçoit une ombre et est catapulté dans le haillon arrière du 806 ... il chute au sol et roule

Au même moment, le conducteur du 806 lève le pied de l'accélérateur (environ 80 à 90 km/h) car il vient de voir le panneau de sa sortie.

Il ressent un choc et un bruit de verre brisé à l'arrière Il pense avoir roulé sur quelque chose pendant qu'il regardait le panneau. Il ne freine pas tout de suite. Puis se rendant compte de la vitre cassée, il pile et fait une embardée sur la droite. Pour enfin s'arrêter sur la BAU. Soit environ 50 à 60 m plus loin- traces de freinage et de ripage sur environ 29 m.

Casque fermé – pas d'alcool.

Etat moto - (94) Procédure en cours attente de l'autorisation du procureur. –mai 2007 – accord juillet 2007

Moto épave

Camionnette réparée

Mais photos CRS !

BIOCASQ Cas n° FRC07013									
<p>Les deux MC dan slma même direction, le motard se rabat et va dépasser le véhicule qui est devant lui Il regarde trop longtemps dans ses rétro et percute le véhicule qui était devant lui et qui décélérail</p>									
Date de l'accident :		9 mai 2007			Lieu : N104 direction A4				
Conditions atmosphériques :		20h30			Force de l'orde : CRS				
SITUATION DE CONDUITE									
OV		VÉHICULE			MC				
PEUGEOT					BMW				
806		Modèle			RT 1200				
+ de 150 kg		Poids			250				
0		Charge			0				
?		année de mise en circul			2005				
		Empattement d'origine							
		Empat / réduc D / réduc G							
		Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle							
		INFRASTRUCTURE							
Voie rapide		Types de voies			Voie rapide				
Bitume		Revêtement			Bitume				
plat		Profil en long			plat				
ligne droite		Tracé en plan			ligne droite				
37		CONDUCTEUR			49				
-		Expérience			23				
178 / 68		Taille / poids			183 / 97				
		PASSAGER(S)							
		Taille / poids							
		Taille / poids							
		Taille / poids							
		Vitesse déclarée							
		Trajet							
PRE-COLLISION									
<p>Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée</p>									
<p>ÉVÈNEMENT INITIATEUR</p> <p>Recherche dans ses retros une information (motard) L'OV décélère rapidement</p>									
<p>FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)</p> <p>temps trop important de recherche de l'information</p>									
<p>CONTRE-MESURE(S)</p>									
<p>BILAN LÉSIONNEL</p>									
Voire fiche									
COLLISION									
Arrière		Choc		frontal					
83		Vitesse au choc		92					
20		Énergie de déformation		25 + 15 sol		la moto a volé et est retombée sur place			
		Angle entre les véhicules		0					
		Angle de dérive							

FRC07014

Circonstances :

Accident de la circulation entre deux scooters.

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué (personne ne sait où est le casque).

Description de l'accident :

Les deux scooters sont en train de doubler un OV (chacun dans sa voie). Le scooter 1 voyant arriver sur lui l'autre scooter et pensant ne pas avoir le temps de l'éviter saute du scooter.

Le pilote du second scooter ne freine pas pensant passer.

Il percute l'autre scooter de plein fouet et réalise un soleil avec son scooter il chute ensuite sur la tête sur le bitume.

Les deux voitures quant à elles freinent et braquent brusquement pour éviter les scooters.

L'Austin tape le trottoir en s'immobilisant et l'Audi termine sa course sur l'emplacement de stationnement. Aucune, des deux voitures, ne percute les scooters ou les pilotes.

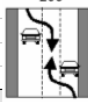
Etat moto - (94) Procédure en cours

Scooter 1 = récupéré immédiatement ?

Le second est récupéré par un ami le lendemain dans la cours du n°37

Le premier est percuté au milieu repose pieds et selle.

Le second n'a plus de fourche à l'avant (EES environ 20) et

BIOCASQ Cas n° FRC07014											
Les deux MC sont en train de doubler chacun un OV et se percute L'un des 2 MC s'éjecte avant choc											<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 50px; margin: 0 auto;"> 206  </div>
Date de l'accident :		3 avril 2007				Lieu :					
Conditions atmosphériques :		Nuit chaussée sèche				Force de l'ordre :		Police			
SITUATION DE CONDUITE											
		OV		MC							
		MBK		<u>VÉHICULE</u>		PIAGGO					
		Treeker		Modèle		Street					
		78		Poids		85					
		0		Charge		0					
		?		année de mise en circul		2003					
				Empattement d'origine							
				Empat / réduc D / réduc G							
				Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle							
				<u>INFRASTRUCTURE</u>							
		route secondai		Types de voies		Route secondaire					
		Bitume		Revêtement		Bitume					
		plat		Profil en long		plat					
		ligne droite		Tracé en plan		ligne droite					
		17 ans		<u>CONDUCTEUR</u>		Homme 16 ans					
		-		Expérience		- 1 ans !					
		178 / 68		Taille / poids		175 / 80					
				<u>PASSAGER(S)</u>							
				Taille / poids							
				Taille / poids							
				Taille / poids							
				Vitesse déclarée							
				Trajet							
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> ÉVÈNEMENT INITIATEUR Double sans visibilité </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) peut d'expérience Formation </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> CONTRE-MESURE(S) Formation - équipement </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> BILAN LÉSIONNEL </div>											
Voire fiche											
COLLISION											
		Latéral		Choc		frontal					
		40		Vitesse au choc		55					
		15		Énergie de déformation		25		la moto a volé et est retombée sur place			
				Angle entre les véhicules		10°					
				Angle de dérive							

FRC07021

Circonstances :

Accident de la circulation moto seule.

Le motard est âgé de 16 ans. Il n'a pas de BSSR, il pilote une HONDA MTX 50cm³ débridée qui ne lui appartient pas – à son cousin !

Il lui emprunte souvent avec le casque de son cousin ...un ROOF de type CROSS !

Le motard est retrouvé conscient par le SAMU.

Il est casqué (le casque est récupéré par la famille !! sur place).

Description de l'accident :

Le pilote suit une voiture qui circule en milieu de voie (voie à double sens). Le pilote décide de la doubler par la droite. Au moment de sa manœuvre la roue avant de sa moto passe sur un trou dans la chaussée, cet événement perturbe la maniabilité de la moto et engendre un guidonnage. Le pilote voulant récupérer ce guidonnage, freine. La moto continue à guider de plus en plus. Elle tangente le trottoir violemment (traces de pneu sur 2 m). Le choc sur le rebord du trottoir éjecte moto et motard sur le trottoir.

Il glisse ensemble. Le motard reste solidaire de sa machine (il est coincé sous elle). Ensemble ils percutent le mur. Là le pilote et la moto sont dissociés, la moto tourbillonne et s'arrête environ 18 m après avoir tapé le trottoir. Le pilote est à environ 20m.

Le casque est resté sur la tête

Le SAMU transfère directement à KB.


Etat moto - (77) Procédure en cours

Moto HS en épave à la fourrière (juste eu le temps de faire 2 à 3 photos avant que la famille n'arrive pour récupérer la machine).

- MTX 50 débridée de 2001 – couleur ? de 20300 km
- Fourche enfoncée et voilée **axe de roue avant cassé D (EES environ 10)** tenir compte du sol
- Sorties d'échappements touchées (roue en contact avec les pots)
- Réservoir, pot et tête de fourche ainsi que repose pied **côté droit et gauche** complètement HS.
- Guidon revenu sur le réservoir (tordu côté droit)
- Plus de cligno (AV et Ar) côté droit
- Pot non homologué
- Feux arrière cassé
- Le pilote n'a pas d'équipement spécifique.

Etat casque -

Casque blanc avec des autocollants, visière éjectée, casque rayé et délaminé sur le côté droit de haut en bas et sur le dessus plusieurs éclats.

BIOCASQ Cas n° FRC07021									
<p>Le MC Croyant pouvoir passer à droite d'un OV perd le contrôle de sa machine en passant dans un trou. La machine guidonne et glisse sur le bord du trottoir, projetant moto et motard au sol Ils glissent sur le trottoir puis percutent le mur où ils rebondissent</p>									
Date de l'accident :		5 octobre 2006				Lieu :			
Conditions atmosphériques :		beau temps pas de vent chaussée sèche				Force de l'ordre :		Police	
SITUATION DE CONDUITE									
OV					MC				
VÉHICULE					HONDA				
Modèle					MTX 50 cm3 (débridée)				
Poids					81				
Charge					0				
Année de mise en circulation					2001				
Empattement d'origine					1400				
Empat / réduc D / réduc					??				
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle									
INFRASTRUCTURE									
Types de voies					Route secondaire				
Revêtement					Bitume				
Profil en long					plat				
Tracé en plan					ligne droite				
CONDUCTEUR									
Expérience					Homme 16 ans				
Taille / poids					170/65				
PASSAGER(S)									
Taille / poids									
Taille / poids									
Taille / poids									
Vitesse déclarée									
Trajet									
PRE-COLLISION									
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée									
<div>ÉVÈNEMENT INITIATEUR</div> trous dans la chaussée (entraînant un guidonnage)									
<div>FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)</div> Pas de permis on ne double pas à droite									
<div>CONTRE-MESURE(S)</div> Formation									
<div>BILAN LÉSIONNEL</div>									
Voire fiche									
COLLISION									
Choc					latéral				
Vitesse au choc					53				
Énergie de déformation									
Angle entre les véhicules									
Angle de dérive									

FRC07028

Circonstances :

Accident de la circulation seul en cause ? .

Le motard est retrouvé inconscient par le SAMU.

Il est casqué (personne ne sait où est le casque).

Antécédents :

Le motard sort de l'hôpital où il a été vu pour un accident de fourgon (bus dans le contre rendu hospitalier) – on lui a diagnostiqué une fracture de cote.

Contre l'avis médical, il repart en moto

Description de l'accident :

Deux voitures (témoins) – une Clio qui circule voie la plus à droite et un autre véhicule circulant voie de gauche. Sur la voie centrale circule une voiture roulant à vive allure

D'après la procédure en cours, le conducteur de la Clio déclare qu'il a vu dans ses rétros une voiture arrivant très vite car entre deux regards dans son rétro la voiture grossissait (tout phare allumé). Il déclare aussi avoir perçu un autre phare dans sa voie (donc une moto) il pense qu'ils faisaient la course !

Puis d'un seul coup un balayage de feu et un gros bruit. La moto était cote la bordure en ciment.....

L'autre voiture qui roulait plus doucement déclare que le motard a perdu le contrôle de sa machine et est venu impacter le muret centrale ... l'autre voiture plein phare n'a pas ralenti et est passée très très vite.

Le conducteur à « pilé » puis mit un coup de volant pour ensuite reculer pour protéger le motard


Le motard : perd le contrôle de sa moto (?) il percute le muret avec sa moto puis rebondit sur le muret et va impacter le sol. Ensuite il glisse au sol pour finalement s'immobiliser.

Le casque est resté sur la tête –photos police – pas pu le récupérer

Etat moto - (78) Procédure en cours

Moto HS en épave

- ZZR600 de 2000 – mauve (violet) de 85525 km

BIOCASQ Cas n° FRC07028												
Perte de contrôle de la part du motard											<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">601</div> 	
Date de l'accident :						Lieu :						
Conditions atmosphériques :						Force de l'ordre :						
SITUATION DE CONDUITE												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>VÉHICULE</p> <p>Modèle</p> <p>Poids</p> <p>Charge</p> <p>Année de mise en circulation</p> <p>Empattement d'origine</p> <p>Empat / réduc D / réduc</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>MC</p> <p>KAWASAKI</p> <p>ZZR600</p> <p>195</p> <p>0</p> <p>200/1999</p> <p>1400</p> <p>??</p> </div> </div>												
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle						2230	750	130				
INFRASTRUCTURE												
Types de voies						Voie rapide						
Revêtement						Bitume						
Profil en long						plat						
Tracé en plan						ligne droite						
CONDUCTEUR												
Expérience						Homme 37 ans						
Taille / poids						181 / 80						
PASSAGER(S)												
Taille / poids												
Taille / poids												
Taille / poids												
Vitesse déclarée												
Trajet												
PRE-COLLISION												
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée												
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> ÉVÉNEMENT INITIATEUR peut être l'accident précédent </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) Vitesse </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> CONTRE-MESURE(S) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> BILAN LÉSIONNEL </div>												
Voire fiche												
COLLISION												
Choc												
Vitesse au choc						113 / mur 93						
Énergie de déformation												
Angle entre les véhicules												
Angle de dérive												

FRC07035

Circonstances :

Accident de la circulation moto (Roadster).

Le motard est 36 ans.

Taille et poids

Casque attaché fibre intégral. Le casque est resté en place durant toutes les phases de la collision.

Equipement (bottes, blouson, jean et gants)

Description de l'accident :

En agglomération.

Le conducteur l'OV sort d'un parking souterrain. Il n'est pas encore habitué à la clarté (souterrain éclairage faible). Il ne s'arrête pas et s'insert dans la circulation directement.

Un motard arrive et ne peut éviter l'OV qui arrive perpendiculairement. Le conducteur de l'OV freine (réflexe !)

Le motard percute le capot de l'OV puis chute au sol

Bilan :

FRC07037

Circonstances :

Accident de la circulation moto (moto).

Le motard est âgé de 36 ans.

Taille et poids 1,82m / 91 kg

Casque attaché en fibre, système de retenue type « Nolan » attache rapide à barbelures. Le casque est resté sur la tête durant l'ensemble de la collision.

Description de l'accident :

En agglomération (carrefour en X)

Le conducteur l'OV grille le cédez le passage (il est en retard à un rendez vous et ne le voit pas ... il cherche un commerce qu'on lui a indiqué – c'est un point de repère avant de tourner à gauche). Il ne voit pas l'intersection, ni le motard.

Il percute le motard (fronto / latéral).

Le motard connaît bien la route et sait qu'il a priorité, il décélère légèrement à l'approche du carrefour sans faire attention à l'OV qui ne l'a pas vu. Il est percuté sur le côté gauche et lors de la collision sa tête va heurter le capot de l'OV.

Il est ensuite projeté au sol. La moto termine sa course contre le trottoir.


Bilan :

Perte de connaissance initiale (reprise de conscience à l'arrivée des pompiers.

Hématome lobe temporal gauche

Gonflement cérébral côté gauche

Important saignement de nez (fracture fermée du nez) second choc au sol plus de protection de la visière.

BIOCASQ Cas n° FRC07037									
								<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 40px; margin: 0 auto;">302</div> 	
Le pilote est percuté par un OV en inter et perpendiculairement La voiture ne voit pas le cedez le passage et percute le motard qui (par habitude savait qu'il avait priorité)									
Date de l'accident : Conditions atmosphériques : de jour					Lieu : Force de l'ordre : Police				
SITUATION DE CONDUITE									
		OV		VÉHICULE		Moto			
		Jaguar							
		Sovereigne		Modèle		YAMAHA			
				Poids		Fazer 600			
				Charge		aucune			
				Année de mise en circule		2006			
				Empattement d'origine					
				Empat / réduc D / réduc G		plus de fourche avant (trottoir)			
				Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle					
				<u>INFRASTRUCTURE</u>					
				Types de voies		inter en X			
				Revêtement		Bitume			
				Profil en long		plat			
				Tracé en plan		carrefour			
				<u>CONDUCTEUR</u>		Homme 26 ans			
				Expérience		-			
				Taille / poids		?			
				<u>PASSAGER(S)</u>					
				Taille / poids					
				Taille / poids					
				Taille / poids					
				Vitesse déclarée					
				Trajet					
PRE-COLLISION									
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée									
		ÉVÈNEMENT INITIATEUR							
Le conducteur de l'OV franchit le cedez le passage (pas vu - en retard à un rendez vous)									
		FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)							
Le pilote connaissait les lieux et savait qu'il était prioritaire ! Le conducteur cherchait sa direction									
		CONTRE-MESURE(S)							
		BILAN LÉSIONNEL							
voir bilan									
COLLISION									
				Choc					
		52		Vitesse au choc		47		aucune action	
				Énergie de déformation				EES 30	
				Angle entre les véhicules				90°	
				Angle de dérive					

FRC07040

Circonstances :

Accident de la circulation sur voie rapide : dérapage et percussioin d'un rail

Le motard est retrouvé inconscient par les pompiers.

Il est casqué (casque fibre ARAI).

Description de l'accident :

Le motard circule sur A10 (autoroute) il perd le contrôle de sa machine en voulant doubler un OV (sur cette portion il y a trois voies de circulation – le motard circulait sur la voie du milieu). Au moment de doubler l'OV la moto part en guidonnage et il perd le contrôle. Il chute cote droit et reste solidaire de la moto. Dans la trajectoire de la moto il y a les supports de rail. C'est la moto qui s'enroule autour du poteau (symbolisé par un arbre sous PC Crash car impossible de faire reconnaître le poteau du rail). Le motard échappe et va percuter le second poteau de rail en face. Il rebondit et revient vers sa voie de circulation.

Le casque est resté sur la tête durant toutes les phases de la collision.

La vitesse lorsqu'il est au sol est reconstruite à 112 km/h.

Il glisse sur environ 10 m avant de percuter (la moto percute le montant du rail) puis le motard glisse à nouveau (mais seul) sur environ 6m et percute le second poteau (piquet).

Moto

Cadre tubulaire 1200 Bandit SUZUKI -2006

Moto déclarée épave

FRC07041

Circonstances :

Accident de la circulation 2RM / OV (scooter).

Le motard est âgé de 22 ans.

Taille et poids 1,78m / 76 kg

Casque modulable en polycarbonate, attaché mais ouvert, système de retenue type « Nolan » attache rapide à barbelures. Le casque est resté sur la tête durant l'ensemble de la collision.

Peu de marque griffures !

Description de l'accident :

Voie rapide à la hauteur de Longjumeau, bretelle de sortie.

La bretelle de sortie est embouteillée plusieurs voitures à gauche sont à l'arrêt. Les voitures à droite avancent doucement. La BAU de gauche plus large est libre. Le motard décide de s'y engager. Il pense que la voiture positionnée à sa gauche va avancer et il décide de passer. La voiture est à l'arrêt il percute l'arrière de l'OV avec son scooter et fait un soleil autour du guidon. Il chute au sol sur le dos et la nuque.

Il perd connaissance (un court instant). Il est conscient lorsque les témoins différents arrivent

Il souffre de douleurs cervicales (pose d'un collier cervical par les pompiers)

BIOCASQ Cas n° FRC07041											
										105	
Le pilote percute l'arrière de l'OV (l'OV est arrêtée)											
Le pilote fait un saut au-dessus du guidon du scooter et retombe sur le dos (cou)											
Date de l'accident : de jour						Lieu : Force de l'ordre : Gendarmerie					
SITUATION DE CONDUITE											
OV Scooter											
<u>VÉHICULE</u>											
Modèle						Piaggio					
Poids						180					
Charge						aucune					
Année de mise en circulation						2007					
Empattement d'origine											
Empattement / réduc D / réduc G						plus de fourche avant (trottoir)					
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle											
<u>INFRASTRUCTURE</u>											
Types de voies						inter en X					
Revêtement						Bitume					
Profil en long						plat					
Tracé en plan						carrefour					
<u>CONDUCTEUR</u>											
Expérience						Homme 22 ans					
Taille / poids						- 6 mois conduit avec le permis B					
<u>PASSAGER(S)</u>											
Taille / poids											
Taille / poids											
Taille / poids											
Vitesse déclarée											
Trajet											
PRE-COLLISION											
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">ÉVÉNEMENT INITIATEUR</div> Le pilote du scooter interprète mal l'information en croyant que l'OV avançait											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)</div> Arrêt - embouteillage - passage sur la BAU											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">CONTRE-MESURE(S)</div> formation											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">BILAN LÉSIONNEL</div>											
voir bilan											
COLLISION											
Choc											
Vitesse au choc						aucune action					
Énergie de déformation						EES 10					
Angle entre les véhicules						150°					
Angle de dérive											

FRC07049

Circonstances :

Accident de la circulation moto (roadster).

Le motard est 24 ans.

Taille et poids 1.81 m pour 70 kg

Casque attaché (intégral fibre – attache rapide – peinture perso)

Description de l'accident :

En agglomération

Le conducteur l'OV est stationné sur le trottoir. Il redémarre sans regarder dans ses rétroviseurs et sans mettre son clignotant (déclaration et témoins – PV)

Le motard circule sans faire particulièrement attention à ce qui se passe autour de lui (réflexion interne de la part du conducteur de la moto – déclaration du conducteur du 2RM). Il connaît la route car il l'emprunte deux à quatre fois par jour.

Arrivée à la hauteur de la voiture il perçoit un changement de position et fait un écart en freinant. Il perd le contrôle de la moto. La moto chute au sol et glisse en direction des véhicules en stationnement de l'autre côté de la chaussée.

Le pilote chute sur sa moto et glisse avec elle.

La moto percute la voiture en stationnement alors que le motard heurte le bouclier de la voiture en stationnement avec la tête et rebondit sur l'arrière du véhicule stationné devant.

Les traces sur l'arrière du casque

Au moment de dépasser l'OV devant lui, il a bien vu une autre voiture qui arrivait face à lui rapidement et en milieu de voie (mais il avait le temps). Il s'est rabattu sur sa droite mais c'est à cet instant qu'il a vu la voiture qui était arrêtée au stop. Il a pensé qu'elle allait avancer et il s'est re déporté sur la gauche pour l'éviter ... tout en freinant ... il pensait pouvoir passer entre les deux voitures.

La tête percute le bitume (zone plate et granuleuse)

Le casque n'est pas positionné correctement et est éjecté lors du choc au sol ... il rebondit ensuite.

Bilan :

Hématome du lobe temporal Droit

Contusion pulmonaire du segment postérieur du lobe supérieur droit et du Nelson droit

Fractures cotes : 6^{ième} arc antérieur gauche, 7^{ième} arc moyen gauche et 6^{ième} arc moyen droit

Fracture fémur droit avec décalage et perte de contact entre les deux fragments

BIOCASQ Cas n° FRC07049									
<div>Le pilote fait un écart pour éviter un oV qui sort de son stationnement (sur le trottoir) il chute au sol et percute des oV en stationnement de l'autre coté</div>									<div>304</div> <div></div>
Date de l'accident :		fev 2007		Lieu :					
Conditions atmosphériques :		de jour		Force de l'orde :		Police			
SITUATION DE CONDUITE									
OV				Scooter					
				VÉHICULE					
				Modèle		PIAGGO			
				Poids		85			
				Charge		aucune			
				Année de mise en circule					
				Empattement d'origine					
				Empat / réduc D / réduc G					
				Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle					
				INFRASTRUCTURE					
				Types de voies					
				Revêtement					
				Profil en long					
				Tracé en plan					
				CONDUCTEUR		Homme 43 ans			
				Expérience		-			
				Taille / poids		179 / 72			
				PASSAGER(S)					
				Taille / poids					
				Taille / poids					
				Taille / poids					
				Vitesse déclarée					
				Trajet					
PRE-COLLISION									
à l'arrêt		Vitesse initiale reconstruite							
0		Distance au point de choc							
		Tps écoulé du PE au POI							
0,8		Adhérence utilisée							
		ÉVÈNEMENT INITIATEUR							
		Le pilote est surpris par la manœuvre de l'OV							
		L'OV déboite sans aucune signalisation (sur le trottoir)							
		FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)							
		CONTRE-MESURE(S)							
		BILAN LÉSIONNEL							
COLLISION									
		Choc							
		Vitesse au choc							
		11							
		Énergie de déformation							
		Angle entre les véhicules							
		Angle de dérive							

FRC07054

Circonstances :

Accident de la circulation scooter.

Le motard est 17 ans.

Taille et poids 1,75 m pour 74 kg

Casque attaché (intégral polycarbonate – attache rapide – casque saisi procédure en cours car le scooter n'était pas assuré et il s'agissait d'un 2RM volé)

Description de l'accident :

En agglomération

Le conducteur l'OV freine brutalement (4.20m de traces de freinage pour l'OV) car un enfant traverse en courant devant lui.

Le pilote du scooter n'anticipe pas cette manœuvre et percute l'arrière de l'OV coté droit. Il circulait en milieu de voie.

Au moment du choc la tête avec le casque viennent heurter le montant de baie de lunette arrière (enfoncement de la carrosserie sur environ 2 cm et sur une surface de 5 à 8 cm – constatation PV police).

Le scooter percute l'OV alors que celle-ci est arrêtée et que le conducteur a encore le pied sur le frein.

Casque :

Casque KIWI K80 Blackline polycarbonate (vieux mais en bon état)

Casque trop grand, mais attaché

Attache rapide

Bilan :

Perte de connaissance initiale (réveil avec les pompiers – feuille de suivis pompiers)

Glasgow initial à 6

Trauma crânien + trauma maxillo facial

Fracture temporale droit

BIOCASQ Cas n° FRC07054									
Le pilote fait un écart pour éviter un oV qui sort de son stationnement (sur le trottoir) il chute au sol et percute des oV en stationnement de l'autre côté									<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">304</div>
Date de l'accident :		fev 2007			Lieu :				
Conditions atmosphériques :		de jour			Force de l'ordre :		Police		
SITUATION DE CONDUITE									
OV				Scooter					
<u>VÉHICULE</u>									
Modèle				PIAGGIO					
Poids				85					
Charge				aucune					
Année de mise en circule									
Empattement d'origine									
Empat / réduc D / réduc G									
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle									
<u>INFRASTRUCTURE</u>									
Types de voies									
Revêtement									
Profil en long									
Tracé en plan									
<u>CONDUCTEUR</u>				Homme 43 ans					
Expérience				-					
Taille / poids				179 / 72					
<u>PASSAGER(S)</u>									
Taille / poids									
Taille / poids									
Taille / poids									
Vitesse déclarée									
Trajet									
PRE-COLLISION									
à l'arrêt		Vitesse initiale reconstruite							
0		Distance au point de choc							
0,8		Tps écoulé du PE au POI							
		Adhérence utilisée							
ÉVÈNEMENT INITIATEUR Le pilote est surpris par la manœuvre de l'OV L'OV déboite sans aucune signalisation (sur le trottoir)									
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)									
CONTRE-MESURE(S)									
BILAN LÉSIONNEL									
COLLISION									
Choc									
Vitesse au choc									
Énergie de déformation									
Angle entre les véhicules									
Angle de dérive									

FRC07056

Circonstances :

Accident de la circulation le MC est percuté par un OV ? .

Le motard est retrouvé inconscient par les pompiers.

Il est casqué.

Description de l'accident :

La voiture franchit le stop alors que le MC est encore dans l'intersection.

L'OV percute le MC à l'arrière. Le conducteur du MC chute en tapant d'abord la moto (trace d'un coup au niveau du réservoir à la base du cadre – coté gauche) avec la tête (casque) puis le sol.

Le conducteur de l'OV pensait avoir le temps de passer

Le pilote de la moto ne se souvient de rien. Il se réveille à l'hôpital

Constatations police (PV)

Le casque est légèrement choqué au niveau de la mentonnière (léger éclats peut être indépendant du choc – plus vieux)

De nombreuses marques de ripage sur le coté droit (glissade au sol)

Moto

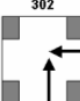
Cadre tubulaire CB 500 Honda

Moto déclarée épave ?

Bilan

Perte de connaissance initiale réveil avec les pompiers

Radio et scanner RAS

BIOCASQ Cas n° FRC07056															
										302 					
La moto est percutee à l'arrière e intersection (le pilote n'a rien vu) le conducteur de l'OV pensait avoir le temps de passer															
Date de l'accident :						Lieu :									
Conditions atmosphériques :						Force de l'ordre :									
SITUATION DE CONDUITE															
MC															
		Reanault		<u>VÉHICULE</u>		HONDA									
		Mégane		Modèle		CB500									
				Poids		195									
				Charge		0									
				Année de mise en circule		1999									
				Empattement d'origine		1400									
				Empat / réduc D / réduc G											
				Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle		2230		750		130					
<u>INFRASTRUCTURE</u>															
				Types de voies		Voie rapide									
				Revêtement		Bitume									
				Profil en long		plat									
				Tracé en plan		Intersection									
<u>CONDUCTEUR</u>															
				Expérience		Homme 37 ans									
				Taille / poids		175 / 90									
<u>PASSAGER(S)</u>															
				Taille / poids											
				Taille / poids											
				Taille / poids											
				Vitesse déclarée											
				Trajet											
PRE-COLLISION															
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">ÉVÈNEMENT INITIATEUR</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Non perception de la part de l'OV</td> </tr> </table>												ÉVÈNEMENT INITIATEUR		Non perception de la part de l'OV	
ÉVÈNEMENT INITIATEUR															
Non perception de la part de l'OV															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">pas de réaction de la part de l'OV</td> </tr> </table>												FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)		pas de réaction de la part de l'OV	
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)															
pas de réaction de la part de l'OV															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">CONTRE-MESURE(S)</th> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> </tr> </table>												CONTRE-MESURE(S)			
CONTRE-MESURE(S)															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">BILAN LÉSIONNEL</th> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> </tr> </table>												BILAN LÉSIONNEL			
BILAN LÉSIONNEL															
Voire fiche															
COLLISION															
Choc Vitesse au choc Énergie de déformation Angle entre les véhicules Angle de dérive															

FRC07059

Véhicules impliqués :

CBF 600

Véhicule inconnu (pas arrêté)

Bilan pilote du 2RM :

Au niveau de la tête :

Perte de connaissance initiale (Glasgow 5) 160806 AIS3

Choc contre le mur puis au sol

Contusion SAP 140602 AIS3

Traumatisme crânien temporal droit

Petite plaie du scalp (environ 2 cm) superficielle 216002 AIS1

Hématome périorbitaire droit 210402 AIS1

Pupilles en myosis symétriques

Circonstances :

Le motard circule sur sa voie. Il aperçoit un OV qui arrive en sens inverse et qui fait un écart (véhicule en stationnement). Il ne freine pas mais décélère. Il fait lui aussi un écart à droite et monte sur le trottoir pour éviter l'OV. Il pensait avoir la place de passer sans problème. Il avait mal évalué les différents obstacles sur le trottoir et mal évalué les distances. Il donne un coup de guidon pour éviter l'arbre et va percuter le mur à l'opposé. Il percute avec la tête (coté droit le mur). C'est ce qui le renvoie dans l'autre sens.

Le conducteur de la voiture ne s'arrête pas.


Le casque :

Uniquement sur photos (PV police)

Il est en polycarbonate (casque NOLAN N60).

Il est complètement griffé (abrasion) sur le coté droite – le système de fixation de la visière est complètement abrasé (visière ?).

De nombreuses traces d'abrasion sur le coté gauche et sur la mentonnière. De petits éclats sur le coté droit et sur la mentonnière, ainsi que derrière.

RIDER Cas n° FRC07059									
								<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 40px; margin: 0 auto;">103</div> 	
Le MC fait un écart pour éviter un OV qui arrive sur lui. Le MC monte sur le trottoir et percute le mur - L'OV ne s'arrête pas !									
Date de l'accident : Conditions atmosphériques : beau - jour					Lieu : Force de l'ordre : police				
SITUATION DE CONDUITE									
OV					MC				
?					<u>VÉHICULE</u>				
					HONDA				
					Modèle CBF 600				
					Poids 215 kg avec les pleins				
					Charge 0				
					Année de mise en circule 2006				
					Empattement d'origine				
					Empat / réduc D / réduc G 0				
					Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle 2280 740				
<u>INFRASTRUCTURE</u>									
					Types de voies rue				
					Revêtement bitume				
					Profil en long plat				
					Tracé en plan ligne droite				
<u>CONDUCTEUR</u>									
					Homme 35 ans				
					Expérience 4 ans				
					Taille / poids 180 85				
<u>PASSAGER(S)</u>									
					Taille / poids				
					Taille / poids				
					Taille / poids				
					Vitesse déclarée				
					Trajet				
PRE-COLLISION									
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> ÉVÉNEMENT INITIATEUR écart de l'OV </div>									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) Mauvaise évaluation e la part du MC Mauvaise manœuvre de la part du MC </div>									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> CONTRE-MESURE(S) Formation </div>									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> BILAN LÉSIONNEL </div>									
voir bilan									
COLLISION									
Choc									
					Vitesse au choc 44 km/h				
					Énergie de déformation 15				
					Angle entre les véhicules 20°				
					Angle de dérive				

FRC07062

Véhicules impliqués :

BurgMan 650

Renault Mégane

Conséquences :

Le pilote du 2RM :

Fracture du fémur gauche, de l'humérus gauche, fractures de 4 côtes à droite avec emphysème sous cutané.

Au niveau de la tête :

Perte de connaissance initiale (GSC 3)	160806 AIS3
De nombreuses plaies au cuir chevelu	110604 AIS2
Contusion SAP	140602 AIS3
Fracture du nez	251004 AIS2

Il décédera à l'hôpital suite à la perforation des poumons.

Le pilote du scooter pour éviter une zone de terre et graviers sur la chaussée, fait un écart (témoin – OV de derrière). Il a mal apprécié les distances qui le séparaient du véhicule qui arrivait en face de lui.

Il percute violemment l'OV.


Il retombe sur le pare brise au niveau du sommet du casque (images jointent).

Véhicules saisies pour information judiciaire. La famille a porté plainte contre le chantier qui « n'aurait » pas nettoyé la chaussée (obligation ?)

Les traces sur le casque (abrasion) sont celle laissées ensuite par la tête au sol.

La déformation est située au dessus.

La voiture a le pare brise complètement étoilé et enfoncé de niveau des essuies glace avant gauche (enfoncement de plus de 50 mm).

RIDER Cas n° FRC07062																																															
										<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 50px; margin: 0 auto;">103</div> 																																					
Le MC fait un écart pour éviter une zone de gravier et sable. Il ne fait pas attention à l'OV qui arrive en face et est percuté																																															
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Date de l'accident : Conditions atmosphériques : </div> <div> Lieu : Force de l'ordre : </div> </div>																																															
SITUATION DE CONDUITE																																															
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">OV</th> <th style="width: 30%;">VÉHICULE</th> <th style="width: 30%;">MC</th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Renault</td> <td></td> <td>Suzuki</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mégane II 1,9</td> <td>Modèle</td> <td>Burgmann</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1362</td> <td>Poids</td> <td>238</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Charge</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2004</td> <td>Année de mise en circulation</td> <td>2004</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Empattement d'origine</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Empat / réduc D / réduc G</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle</td> <td>2280</td> <td>740</td> </tr> </tbody> </table>												OV	VÉHICULE	MC		Renault		Suzuki		Mégane II 1,9	Modèle	Burgmann		1362	Poids	238		0	Charge	0		2004	Année de mise en circulation	2004		Empattement d'origine				Empat / réduc D / réduc G		0		Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle		2280	740
OV	VÉHICULE	MC																																													
Renault		Suzuki																																													
Mégane II 1,9	Modèle	Burgmann																																													
1362	Poids	238																																													
0	Charge	0																																													
2004	Année de mise en circulation	2004																																													
Empattement d'origine																																															
Empat / réduc D / réduc G		0																																													
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle		2280	740																																												
INFRASTRUCTURE																																															
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">rue</th> <th style="width: 30%;">Types de voies</th> <th style="width: 30%;">rue</th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>bitume</td> <td>Revêtement</td> <td>bitume</td> <td></td> </tr> <tr> <td>plat</td> <td>Profil en long</td> <td>plat</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ligne droite</td> <td>Tracé en plan</td> <td>ligne droite</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												rue	Types de voies	rue		bitume	Revêtement	bitume		plat	Profil en long	plat		ligne droite	Tracé en plan	ligne droite																					
rue	Types de voies	rue																																													
bitume	Revêtement	bitume																																													
plat	Profil en long	plat																																													
ligne droite	Tracé en plan	ligne droite																																													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">CONDUCTEUR</th> <th style="width: 30%;">Expérience</th> <th style="width: 30%;">Taille / poids</th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Homme 37 ans</td> <td></td> <td>Homme 41 ans</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12 ans</td> <td></td> <td>24 ans</td> <td></td> </tr> <tr> <td>174</td> <td>80</td> <td>185</td> <td>90</td> </tr> </tbody> </table>												CONDUCTEUR	Expérience	Taille / poids		Homme 37 ans		Homme 41 ans		12 ans		24 ans		174	80	185	90																				
CONDUCTEUR	Expérience	Taille / poids																																													
Homme 37 ans		Homme 41 ans																																													
12 ans		24 ans																																													
174	80	185	90																																												
PASSAGER(S)																																															
Taille / poids Taille / poids Taille / poids Vitesse déclarée Trajet																																															
PRE-COLLISION																																															
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> ÉVÉNEMENT INITIATEUR erreur présumé de monitoring du MC </div>																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> FACTEUR(S) AGGRAVANT(S) chaussée dégradée (non entretenue - chantier à proximité) </div>																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> CONTRE-MESURE(S) nettoyage de la voirie </div>																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> BILAN LÉSIONNEL </div>																																															
voir bilan																																															
COLLISION																																															
Choc Vitesse au choc Énergie de déformation Angle entre les véhicules Angle de dérive																																															

FRC07065

Circonstances :

Accident de la circulation en agglomération de jour.

Le MC perd le contrôle de son scooter et chute au sol.

Le pilote est retrouvé inconscient (à l'arrivée des pompiers il est de nouveau conscient – témoins PV).

Il est casqué – intégrale polycarbonate – SHARK S600 fusion.

Description de l'accident :

Le pilote du scooter perd le contrôle de son engin en freinant. Il voulait éviter la voiture devant lui.

Il chute au sol la tête la première, en passant par dessus le scooter. Il est sonné lors du choc (voit des étoiles et trou noir). Il ne reprend connaissance que lorsqu'il entend des voix (... ses déclarations et celle du témoin sur le PV police). Sur le casque on voit des traces légères et surtout il n'y a plus de système de ventilation au dessus de la visière. La visière est cassée.

Le pilote du MC pensait avoir le temps de passer Mais au dernier moment il freine. Les OV étaient trop proches

Le pilote ne se souvient de rien, jusqu'à l'arrivée des pompiers.

Scooter

Le scooter n'appartient pas au pilote (ni le casque)

C'est un copain qui lui a prêté l'ensemble (le casque « semble » correcte – taille adaptée !)

Très peu d'expérience sur un 2RM

Bilan

Pilote 17 ans 1,68 – 62 kg

Perte de connaissance initiale réveil avec les pompiers

Radio et scanner RAS

Choc au niveau du front

BIOCASQ Cas n° FRC07065									
Perde de contrôle au freinage									104
Date de l'accident :					Lieu :				
Conditions atmosphériques :					Force de l'ordre :				
SITUATION DE CONDUITE									
MC									
VÉHICULE					MBK				
Modèle					Trekker				
Poids					90				
Charge					0				
Année de mise en circule					2005				
Empattement d'origine					1400				
Empat / réduc D / réduc G									
Longueur / largeur / hauteur totale / hauteur de selle					1760		800		
INFRASTRUCTURE									
Types de voies					rue principale				
Revêtement					Bitume				
Profil en long					plat				
Tracé en plan					ligne droite				
CONDUCTEUR									
Expérience					Homme 17 ans				
Taille / poids					1,68 / 62				
PASSAGER(S)									
Taille / poids									
Taille / poids									
Taille / poids									
Vitesse déclarée									
Trajet									
PRE-COLLISION									
Vitesse initiale reconstruite									
Distance au point de choc									
Tps écoulé du PE au POI									
Adhérence utilisée									
ÉVÉNEMENT INITIATEUR									
freinage									
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)									
pas d'expérience									
CONTRE-MESURE(S)									
formation									
BILAN LÉSIONNEL									
Voire fiche									
COLLISION									
Choc					vitesse déplacement environ 35 km/h				
Vitesse au choc					12 km/h				
Énergie de déformation									
Angle entre les véhicules									
Angle de dérive									

FRC07069

Circonstances :

Accident de la circulation en agglomération de jour.

Le MC grille le feu (il devance le passage du feu rouge au feu vert ...) et percute l'arrière d'un OV qui circulait perpendiculairement.

Description de l'accident :

Le pilote connaît la route (dom / trav et trav / dom). Il fait cette route 5/7 j. Il anticipe régulièrement le passage des feux (déclaration lorsque je l'ai vu – KB).

Il passe en anticipant le passage du feu rouge au feu vert en accélérant car il sait que très peu de véhicule traverse l'axe de circulation. Les OV tournent le plus souvent à droite.

L'OV percuté est une Austin mini ancienne version (petite voiture). Elle traverse les voies pour se rendre dans la rue en sens unique. Cette rue est embouteillée ce qui force l'Austin à ralentir (freinage). Sans ce coup de frein le potard serait passé

Vitesse au choc :

OV 33 km/h

MC 55 km/h

Le pilote est propulsé vers le sol. Il ne touche pas l'OV.

Perte de conscience initiale pour le pilote qui reprend ses esprits après l'arrivée des pompiers (déclaration PV).

Pose d'une minerve car il se plaint de douleurs au niveau du cou et ressent des picotements dans les membres inf.

Il est casqué – intégrale.

Moto / Ov

Moto déclarée épave – fourche enfoncée – roue contre moteur guidon plié et cassé – réservoir détaché et enfoncé – plus de sélecteur ni de repose pieds coté droit

OV : enfoncement de la partie arrière droite - éclatement du par brise arrière et montant arrière droit plié

Bilan

Pilote 22 ans 1,75 – 78 kg

Perte de connaissance initiale

Radio et scanner du crâne et des cervicales RAS

Mais se plaint toujours de douleurs au niveau du cou – sans doute une elongation musculaire

Accident mortel de la voie publique. FRC07100

Date : KB

Véhicules impliqués :

APRILIA "RS 250"

RENAULT « 4L »

Conséquences :

Pilote : voir bilan

Circonstances :

Le conducteur de l'OV veut rentrer sa voiture chez sa mère, pour cela il stationne un moment sur sa voie de circulation (voie inverse de l'accident – avec clignotants), le temps d'ouvrir le portail situé sur le trottoir d'en face. Au moment de réaliser sa manœuvre (marche arrière et tourne à gauche pour lui) il ne voit personne arriver, aussi bien dans un sens que dans l'autre, alors il s'engage. Une fois sur le trottoir d'en face (les roues arrières de son véhicule sont presque sur le bateau), une moto arrive (sans feux et à très vive allure – parole de témoins – la moto était équipé d'un pot non homologué !!). Malgré un freinage appuyé (marque au sol) et un délestage de la roue arrière (la moto est montée sur la roue avant – délestage de l'arrière - témoins) le choc ne peut être évité. Le pilote percute l'OV au niveau de la porte avant. L'OV dérape et se déplace d'environ 1,20 m (en latéral). La moto reste solidaire de l'OV mais fait un soleil)

Le pilote circulait au guidon d'une moto volée (d'après un camarade (PV) la moto était à son cousin (du pilote !)). Par contre, la moto était enregistrée comme volée par la gendarmerie.

Le pilote percute la portière avant, (il s'agit d'une 4L – la vitre avant coulisse latéralement et non verticalement – la vitre avant est divisée en deux), la tête tape la vitre qui coulisse, le thorax doit percuter le bas de la vitre (portière) et avec la moto il doit déformer la porte arrière.

Casque beaucoup trop grand pour lui (XL). Il est récupéré au sol sans que l'attache soit ouverte (ce qui fait pensé au début que le casque n'était pas porté, mais après examen (il est plein de sang – visière interne). Le casque est parti après le choc.

Le pilote glisse au sol et s'arrête dans la cour.

Bilan (lu et recopier)

Perte de connaissance initiale (durée inconnue – arrivée des secours) (1602022)


Importante lésion crânienne (1150999) cause du Décès (pas plus d'information)

Plaie à la langue (coupures superficielles) (2434021)

Plaie sur le haut du crâne (1106021)

Nombreux hématomes sur le thorax – (4104021 corps entier face) – nombreuses plaies (4106021)

Fractures de côtes - coté droit - (4502202 D)

Cas n° FRC07100																	
										306							
L'OV entre en marche arrière dans sa cour pour se stationner. En manoeuvrant il ne voit pas la moto qui arrive "vite" sans feux.																	
La moto percute l'OV au niveau des portes (au freinage la roue arrière est délestée),																	
Date de l'accident :						Lieu : Monthléry											
Conditions atmosphériques : jour ensoleillé						Gendarmerie											
SITUATION DE CONDUITE																	
			OV		VÉHICULE		MC										
			RENAULT		APRILIA												
			4L		RS 250												
			Modèle		167 kg avec les pleins												
			Poids		-												
			Charge														
			1983		Année de mise en circulation		2000										
					Empattement d'origine		1345										
					Empat / réduit D / réduit G		1245 (10 cm de réduit)										
					Longueur / largeur / hauteur de selle		1950 / 720 / 805										
					INFRASTRUCTURE												
			2 voies bidirectionnelles		Types de voies		2 voies bidirectionnelles										
			Bitume		Revêtement		Bitume										
			Plat		Profil en long		Plat										
			Courbe à gauche		Tracé en plan		courbe à gauche										
					CONDUCTEUR		pas de permis										
					Expérience		inconnu		16 ans								
			1,89 / 68		Taille / poids		1,76 / 79										
					PASSAGER(S)												
					Taille / poids												
					Taille / poids												
					Taille / poids												
					Vitesse déclarée												
			Loisir		Trajet		Loisir										
PRE-COLLISION																	
Vitesse initiale reconstruite Distance au point de choc Tps écoulé du PE au POI Adhérence utilisée																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">ÉVÉNEMENT INITIATEUR</th> </tr> <tr> <td colspan="2">marche arrière pour entrer dans une cour (courbe)</td> </tr> </table>												ÉVÉNEMENT INITIATEUR		marche arrière pour entrer dans une cour (courbe)			
ÉVÉNEMENT INITIATEUR																	
marche arrière pour entrer dans une cour (courbe)																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Pas de visibilité et vitesse motard</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Pas de permis</td> </tr> </table>												FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)		Pas de visibilité et vitesse motard		Pas de permis	
FACTEUR(S) AGGRAVANT(S)																	
Pas de visibilité et vitesse motard																	
Pas de permis																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">CONTRE-MESURE(S)</th> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> </tr> </table>												CONTRE-MESURE(S)					
CONTRE-MESURE(S)																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">BILAN LÉSIONNEL</th> </tr> <tr> <td>Conducteur VL</td> <td>Pilote</td> </tr> <tr> <td>Plaie tête</td> <td>Voir Bilan</td> </tr> </table>												BILAN LÉSIONNEL		Conducteur VL	Pilote	Plaie tête	Voir Bilan
BILAN LÉSIONNEL																	
Conducteur VL	Pilote																
Plaie tête	Voir Bilan																
COLLISION																	
			latéral		Choc		frontal										
			9 km/h		Vitesse au choc		43 km/h										
			EES 15		Énergie de déformation		EES 30										
					Angle entre les véhicules												
					Angle de dérive												