



HAL
open science

Efficacité des équipements de protection 'légers' pour les usagers de 2RM en cas de glissade

Thierry Serre, Catherine Masson, Yves Godio, Maxime Llari

► To cite this version:

Thierry Serre, Catherine Masson, Yves Godio, Maxime Llari. Efficacité des équipements de protection 'légers' pour les usagers de 2RM en cas de glissade. Journées scientifiques 'Deux-roues motorisés', Oct 2013, Bron, France. pp. 79-93. hal-01207848

HAL Id: hal-01207848

<https://hal.science/hal-01207848>

Submitted on 1 Oct 2015

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

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

Effacité des équipements de protection « légers » pour les usagers de 2RM en cas de glissade

Thierry Serre, Catherine Masson, Yves Godio, Maxime Llari

Laboratoire de Biomécanique Appliquée (LBA) – UMRT24

IFSTTAR – Université de la Méditerranée

Faculté de Médecine Secteur Nord – Bd Pierre Dramard – F-13916 Marseille Cedex 20

Contact: thierry.serre@ifsttar.fr

Résumé

Cette recherche porte sur les problèmes de sécurité passive des usagers de 2RM lorsque les conditions climatiques sont chaudes. L'objectif est d'analyser et d'évaluer les équipements de protection vestimentaire (à savoir blousons, pantalons et gants) dits « légers » en configuration de glissade sur la chaussée. Le travail s'est décomposé en deux parties complémentaires : une approche expérimentale et une approche numérique.

Concernant l'approche expérimentale, elle concernait des essais de glissade sur bitume réalisées avec des corps donnés à la science. Deux campagnes de trois tests (soit au total 6 essais) ont été réalisées à des vitesses de 30km/h et 50 km/h. Pour chaque campagne, un essai a été effectué avec des vêtements légers, un avec des vêtements lourds et un sans équipement spécifique. Les résultats montrent qu'à des vitesses de l'ordre de 30 km/h, le sujet glisse sur environ 4 mètres pour un temps de glissade inférieur à la seconde. A 50 km/h, le sujet glisse durant 1,5 secondes sur une distance d'environ 10 mètres. Concernant la protection offerte par les équipements, si des zones de frottement ont été constatées de manière plus importante sur les vêtements légers que lourds, les résultats montrent toutefois que ces équipements (qu'ils soient légers ou lourds) offrent une protection suffisante dans le cas de glissade courte (moins de 10 mètres) puisqu'aucune lésion notamment de brûlure n'a été constatée. Ce qui n'est pas le cas lors des essais sans protection individuelle où des abrasions de la peau ont été constatées sur les sujets.

D'un point de vue numérique, 360 simulations ont été effectuées afin d'identifier l'influence de différents paramètres sur la glissade tels que la vitesse du motocycliste au sol (de 10 à 60 km/h), son orientation (0°, 30°, 90°, 180°), sa position par rapport au sol (dos au sol, de profil, de face, allongé, recroquevillé). Les résultats montrent des distances de glissade jusqu'à 30 mètres pour un temps inférieur à 3 secondes. Les simulations ont également permis de quantifier une force de frottement moyenne d'environ 4000N pouvant aller jusqu'à 12000N. Les segments corporels subissant le plus de frottement sont le tronc et les membres inférieurs.

Enfin, ce travail s'est conclu par une réflexion sur les retombées de cette étude concernant les normes existantes sur les équipements.

Mots clés : équipements de protection, motocycliste, glissade, norme

Introduction

Cette étude porte sur les problèmes de sécurité passive des conducteurs de deux-roues motorisés (2RM) et plus spécifiquement leurs protections par des équipements vestimentaires lors d'une glissade sur la chaussée. Elle s'est focalisée sur une comparaison des équipements « lourds » avec ceux dits « légers » c'est à dire ceux utilisés lorsque les conditions climatiques sont chaudes.

Parmi les grandes données de l'accidentologie, les études de typologie d'accident montre que les accidents impliquant un véhicule motorisé et un 2RM sont les plus fréquents suivis par les accidents où le 2RM est le seul impliqué (ACEM, 2000 ; Elliot et al., 2003 ; Amans & Montreuil, 2005 ; Clarke et al., 2004 ; Guyot, 2008). D'après les chiffres estimés par Serre et al. (2009) sur la base d'une cinquantaine de reconstruction d'accidents, la vitesse moyenne d'impact contre le véhicule antagoniste est inférieure à 50km/h et la vitesse moyenne au moment de la chute est elle aussi inférieure à 50 km/h. Ces chiffres sont par ailleurs confirmés par (Otte, 1998). Nous considérerons donc dans ce rapport des vitesses moyennes en début de glissade de l'ordre de 50 km/h.

D'un point de vue lésionnel, de nombreuses recherches ont montré que les segments corporels les plus touchés étaient les membres inférieurs et supérieurs (APSN, 2005 ; Serre et al., 2009 ; Amans & Montreuil, 2005). Toutefois, si les lésions observées sur ces segments sont les plus nombreuses, elles restent légères ou tout au plus sérieuses, mais très rarement mortelles par rapport aux lésions que l'on peut observer au niveau de la tête ou du tronc par exemple (Guyot, 2008 ; Serre et al., 2009).

Il est alors admis que les vêtements de protection comme les blousons, pantalons, gants ou bottes permettent d'éviter uniquement les lésions de faible gravité (AIS¹ 1 ou 2 voire 3 mais pas au-delà) (APSN, 2005 ; ACEM, 2000). Son usage permet en effet d'éviter de petites lésions telles que les brûlures et d'atténuer les plus importantes (comme une luxation ou une fracture) mais n'évitera pas par contre l'arrachement d'un membre. Cependant, suivant la qualité du vêtement et son niveau de protection, il est évident qu'il ne protégera pas de la même manière ni avec la même efficacité. Un équipement dit lourd comprenant plusieurs couches de textiles et des coques rigides au niveau des articulations (épaulières, coudières, genouillères, plaque dorsale ...) n'offrira pas la même protection qu'un blouson léger composé d'un tissu alvéolé par exemple.

Néanmoins, tout usager d'un équipement vestimentaire présenté comme adapté au 2RM est en droit d'exiger un minimum de protection de sa part. Il apparaît alors indispensable de pouvoir évaluer ces équipements et déterminer si leurs niveaux de protection sont acceptables en termes de sécurité passive. Si des normes ont été définies dans ce but, elles sont toutefois à l'heure actuelle en révision car les exigences qu'elles requièrent ne semblent pas adaptées.

Parmi les normes déjà existantes concernant les vêtements de protection pour motocyclistes, nous en avons retenues deux pour notre étude à partir du site web de l'AFNOR (www.afnor.fr).

La norme NF-EN 1621 intitulée « Motorcyclists' protective clothing against mechanical impact » concerne l'efficacité de la protection lors d'un choc. Elle fait partie d'une série de normes européennes établies par le Comité Européen de Normalisation (CEN) dans le cadre de l'application de la Directive Européenne sur les Équipements de Protection Individuelle (EPI). Elle fixe les exigences et les méthodes d'essai des protecteurs contre les chocs incorporés ou destinés à être incorporés dans des vêtements pour motocyclistes.

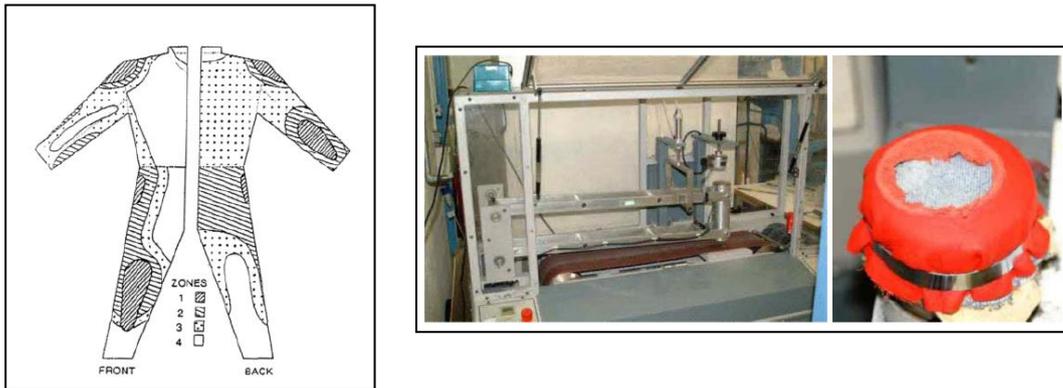
La norme NF 13595 intitulée « Vêtements de protection pour les motocyclistes professionnels - Vestes, pantalons et combinaisons une ou deux pièces » concerne la résistance à l'abrasion et au déchirement des vêtements. Elle se décompose en 4 parties mais la partie qui concernera le plus notre travail sera la norme NF EN 13595-2 (Mai 2003) intitulée « Vêtements de protection pour les motocyclistes professionnels - Vestes, pantalons et combinaisons une ou deux pièces - Partie 2 : méthode d'essai pour déterminer la résistance à l'abrasion par impact ». Cette Norme européenne spécifie une méthode d'essai pour évaluer la capacité de protection des vestes, pantalons et combinaisons une ou deux pièces des motocyclistes professionnels et qui sont censés protéger le porteur contre les blessures d'origines mécaniques sur les revêtements routiers.

¹ AIS = Abbreviated Injury Scale. Echelle de l'indice de gravité AIS : 1 Lésion Mineure. 2 Modérée. 3 Sérieuse. 4 Sévère. 5 Critique. 6 Mortelle

Les retombées de notre étude concernant principalement cette norme, nous la détaillons ci-dessous.

Les tests de résistance à l'abrasion sont effectués sur toute l'épaisseur du vêtement et sur différentes zones du vêtement. Les zones sont définies en fonction des parties du vêtement qui sont les plus assujetties à l'abrasion (voir figure 1).

Figure 1 : Définition des différentes zones du vêtement (à gauche) et appareil utilisé pour le test à l'abrasion avec un exemple d'éprouvette testé (à droite)



Les tests expérimentaux consistent à appliquer, sur un échantillon du vêtement, le frottement d'une courroie abrasive dont la valeur de granularité est parfaitement connue et réalisée de manière standardisée (voir figure 1). La vitesse de tournage est constante et égale à 8m/s. L'éprouvette du vêtement est fixée sur un bras qui tombe et frotte sur la courroie en rotation. Un compteur électronique de temps est alors déclenché jusqu'à ce que le tissu soit complètement perforé par l'abrasion. Lorsque la perforation apparaît, la durée de contact entre l'échantillon du vêtement et la courroie est enregistrée puis comparée aux valeurs minimales (limites inférieures) préconisées dans le tableau 1.

Deux niveaux de performance sont spécifiés :

- NIVEAU 1 : Vêtement destiné à assurer un certain degré de protection et dont le poids et les défauts d'ergonomie associés à son usage sont les plus réduits possible ;
- NIVEAU 2 : Vêtement assurant un degré modéré de protection supérieur à celui du niveau 1. Toutefois, ce degré de protection présente l'inconvénient du poids et des systèmes de maintien.

Tableau 1: Exigences minimales relatives à la résistance à l'abrasion (en secondes)

Zones	Exigences de résistance à l'abrasion en secondes	
	Niveau 1	Niveau 2
1	4,0	4,0
2 et 3	1,5	1,8
4	-	1,0

Notre étude s'est ainsi focalisé sur la protection de l'utilisateur de 2RM vis-à-vis des lésions légères et plus particulièrement les dermabrasions mais ne s'est pas attardé sur les lésions graves.

L'objectif a consisté à analyser et évaluer les moyens de protection dont disposent les motocyclistes par temps chaud c'est-à-dire adaptés à des conditions climatiques de forte chaleur. Les équipements concernés sont essentiellement vestimentaires à savoir les blousons, pantalons

et gants. Il s'agissait plus particulièrement d'estimer les niveaux de protection de ces équipements dans une configuration de glissade sur la chaussée.

Cette étude s'est appuyée sur deux approches complémentaires: une étude expérimentale et une étude numérique.

1. Approche expérimentale

L'objectif de ce travail était d'étudier la protection apportée au motocycliste par différents équipements lors d'une glissade. Il s'agissait de comparer l'usure produite par frottement sur des vêtements destinés aux motocyclistes non professionnels (gants, vestes et pantalons). Des équipements « lourds » ou « d'hiver » (cuir et textile) et des équipements « légers » ou « d'été » (textiles) ont été testés. Afin de comparer les niveaux d'abrasions subis par ces vêtements avec ceux subis par une personne ne possédant aucun équipement spécifique, des essais de glissade ont également été réalisés avec des vêtements de tous les jours (T-shirt, pantalon en coton).

L'objectif des essais était de reproduire la glissade d'un motocycliste après perte de contrôle et d'évaluer de façon expérimentale la protection qu'apportent différents équipements motocyclistes lors d'un tel scénario d'accident.

Les équipements de protection que nous avons étudiés sont :

- Des vêtements « lourds », type blouson ou pantalon en cuir
- Des vêtements dits « légers » c'est-à-dire adaptés pour répondre à des conditions climatiques d'été. Ils sont caractérisés comme des équipements qui, souvent, ne permettent pas d'être étanche. Nous les considérerons comme « légers » parce que le textile qui les compose est moins épais ou/et possède des aérations par rapport à un équipement lourd. Par contre, la plupart d'entre eux offrent la possibilité d'inclure des protections dorsales ou/et des protections articulaires au niveau des épaules, des coudes ou des genoux.
- Des vêtements « classique » (T-shirt et pantalon en coton), sans équipements de protection spécifique.

Deux types d'essais ont été menés, permettant de réaliser des glissades à 30km/h et à 50km/h. La matrice d'essais globale est présentée dans la table 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Matrice d'essais

	Type de vêtement	Type de revêtement	Vitesse
Essai 01	Lourd	Résine époxy	≈ 30 km/h
Essai 02	Léger	Résine époxy	≈ 30 km/h
Essai 03	Sans	Résine époxy	≈ 30 km/h
Essai 04	Lourd	Bitume	≈ 50 km/h
Essai 05	Léger	Bitume	≈ 50 km/h
Essai 06	Sans	Bitume	≈ 50 km/h

1.1. Matériel et Méthodes

1.1.1. Choix des équipements de protection à tester

Les blousons, pantalons et gants qui ont été choisis respectent tous la norme NF-EN 1621 c'est-à-dire possèdent tous un marquage CE en ce qui concerne les protections articulaires

telles que les coudières, épaulières, dorsales ou genouillères. Ils sont parmi les vêtements les plus vendus sur le marché et ont été acquis auprès de la société Bering.

Il s'agit de :

Equipement lourd:

* Blouson textile UZY avec protection coudes, épaules et dorsale homologuée CE (essai à 30km/h) ou Blouson cuir OPTIC avec protection coudes et épaules homologuée CE (essai à 50km/h)

* Pantalon textile EXPEDITION Touring, avec protection genoux homologuées CE, poches pour protection hanches CE

* Gants SCORE

Equipement léger :

* Blouson AERO SUMMER avec protection coudes et épaules homologuée CE, Mousse dorsale CE

* Pantalon ORION, avec protection genoux homologuées CE, mousses hanches

* Gants ETE ARIZONA PERFO

Par contre aucun équipement pour motocycliste vendu au « grand public » ne respecte la norme NF 13595 destinée aux Equipements de Protection Individuels pour les motocyclistes professionnels. Il semblerait donc que les critères normatifs « professionnels » soient trop élevés pour des vêtements destinés au grand public et ne puissent s'appliquer à eux.

1.1.2. Protocole d'essai à 30 km/h

Les essais à 30km/h sont basés sur la procédure d'essais d'impacts barrière développée par le L.I.E.R. (LIER, 2011). Pour obtenir les conditions de glissade désirées, nous avons réalisé un chariot expérimental spécifique composé d'une plate-forme mobile formée d'un support en bois (1,80*2m) renforcée par des barres métalliques. Le revêtement du sol sur lequel se sont effectués ces glissades est une résine bitumeuse époxy, dont le coefficient de frottement est de l'ordre de 0.8 (données constructeurs). Les essais ont été réalisés avec des corps donnés à la science afin d'identifier l'apparition et la gravité des dermabrasions. Les corps étaient positionnés en décubitus dorsal, les bras le long du corps, les jambes jointes, sur une plateforme horizontale située à 20 cm du sol, lancée à 30km/h puis stoppée brutalement. Le sujet poursuivait alors sa course, la tête en avant, son axe longitudinal étant dans la direction du mouvement, glissant dans un premier temps sur la plate-forme puis au sol (Figure 2).

Figure 2 : Test de glissade à 30km/h



Les essais ont été filmés par des caméras numériques rapides permettant ainsi de déterminer le déplacement du sujet par cinématographie. Après chaque essai, le temps et la distance entre le point où l'ensemble du sujet est en contact avec le sol et la position finale du sujet ont été mesurés. A noter donc, que dans cette évaluation, il n'est pas pris en compte le

temps et la distance où le sujet se sépare de la plate-forme, « flotte dans les airs » puis tombe en touchant le sol avec une seule partie de son corps avant de s'aplatir complètement et d'être totalement en contact avec le sol. Les détériorations potentielles sur les vêtements ont également été relevées et le sujet a été soigneusement examiné afin de contrôler toutes lésions corporelles.

1.1.3. Protocole d'essai à 50 km/h

Les essais à 50km/h ont été réalisés en extérieur car le lanceur horizontal ne permettait pas d'appliquer le protocole précédemment décrit pour de plus grandes vitesses. Les essais ont alors consisté à faire glisser un sujet d'un véhicule roulant à 50km/h (Figure 6). Le sujet d'anatomie a été positionné en décubitus dorsal, les bras le long du corps, les jambes jointes sur une plateforme, embarqué dans un véhicule utilitaire. Une fois la vitesse souhaitée atteinte, le sujet était libéré, glissant sur la plate-forme puis sur le sol (voir figure 6).

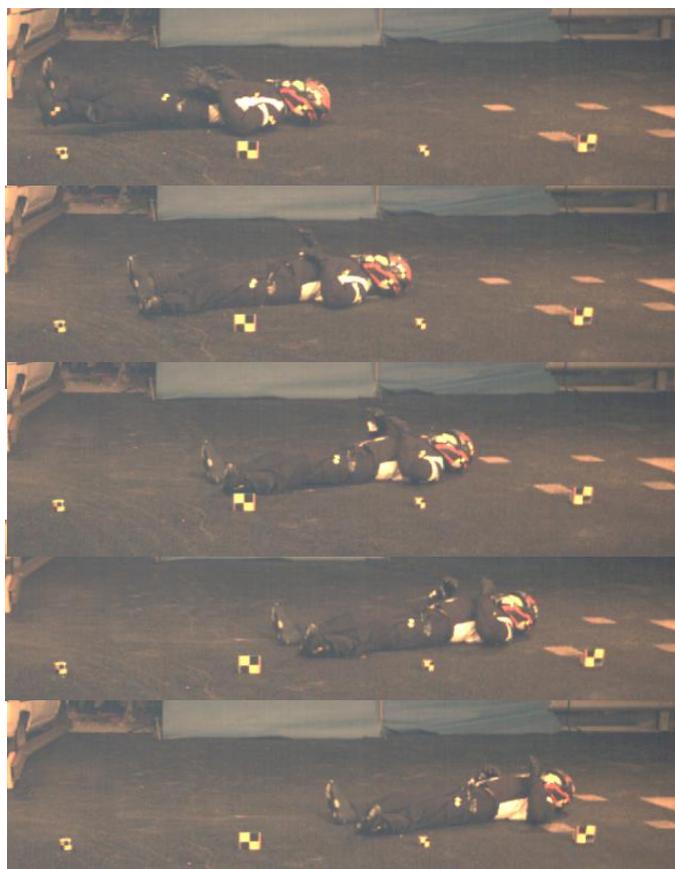
Le revêtement de la zone d'essai était du bitume dont le coefficient de frottement est de l'ordre de 0.7. Tous les essais ont été filmés et les sujets ainsi que les vêtements ont été soigneusement examinés après les tests.

1.2. Résultats

1.2.1. Essais à 30km/h

La figure 3 présente la cinématique globale du sujet. Pour les trois essais, le mouvement est rectiligne dans la direction longitudinale, le sujet touchant le sol environ 1m après avoir quitté la plateforme.

Figure 3 : Cinématique du sujet en glissade à 30km/h

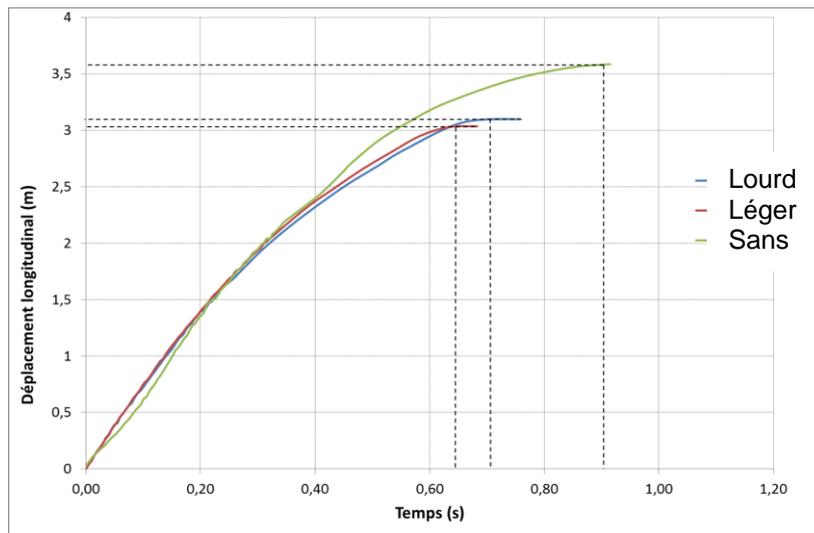


La figure 4 présente le déplacement en fonction du temps pour chacun des essais. Chacune de ces courbes peut être assimilée à une équation polynomiale d'ordre 2 de la forme :

$$x = \frac{1}{2} a t^2 + v_0 t$$

Où : x est le déplacement longitudinal
 a est la décélération
 v_0 la vitesse à $t = 0$.

Figure 4 : Courbes déplacement-temps pour une glissade à 30km/h pour 3 types de vêtements



Les valeurs pour a , v_0 , la distance de glissade et la durée de glissade sont présentés dans la table 3.

Table 3 : Décélération, distance et durée de la glissade pour les essais à 30 km/h

équipement	Lourd	Léger	Sans
$v(\text{km/h})$	28,3	28,8	27,2
$a(\text{ms}^{-2})$	9,9	10,3	7,8
Distance de glissade (m)	3,1	3,0	3,6
Durée de glissade (s)	0,76	0,68	0,9

Ces résultats montrent que lors d'une glissade avec une vitesse initiale de l'ordre de 30km/h sur un revêtement ayant un coefficient de frottement de 0.8, la distance de glissement est comprise entre 3 et 3,6m. Dans ces mêmes conditions, la durée de la glissade est comprise entre 0.7 et 0.9 s. Rappelons ici que ces temps et distances de glissade ont été mesurés à partir du moment où l'ensemble du sujet est en contact avec le sol jusqu'à la position finale arrêtée du sujet.

A noter que l'essai où le sujet n'était pas vêtu d'un équipement spécifique de protection pour motocycliste a été celui où le sujet a glissé le plus loin. Par contre, la distance de glissade est équivalente pour le sujet équipé de vêtements lourds et de vêtements légers.

Après chaque essai, l'état des vêtements a été soigneusement examiné. Lors de l'essai avec les vêtements « Lourds », seul le blouson (Blouson textile UZY avec protection coudes, épaules et dorsale homologuée CE) a été légèrement endommagé sur sa partie dorsale et au niveau des épaules. Le sujet d'anatomie n'a eu aucune dermabrasion (abrasion de la peau). Lors de l'essai avec les vêtements « Légers », le blouson a subi une grosse déchirure sur la partie inférieure gauche du dos ainsi que quelques points d'accrocs en partie supérieure (Figure 5). Lors de la glissade, il semblerait que la partie supérieure du dos, au niveau de la partie supérieure du rachis thoracique, se soit trouvée en contact direct avec le sol, conduisant à une très légère dermabrasion.

Figure 5 : Etat du blouson « Légers » après glissade à 30km/h sur sol avec coefficient de frottement de 0.8



Lors de l'essai sans équipements spécifiques, le tee-shirt a subi une grosse déchirure sur la partie inférieure du dos ainsi que quelques déchirures de moindre importance sur le reste du vêtement. Un accrocs est également visible sur le pantalon, face postérieure gauche. Comme lors de l'essai précédent, la partie supérieure du dos s'est trouvée en contact direct avec le sol, conduisant à des dermabrasions et à des lésions cutanées en différents points du dos, ainsi qu'au niveau du coude droit.

1.2.2. Essais à 50km/h

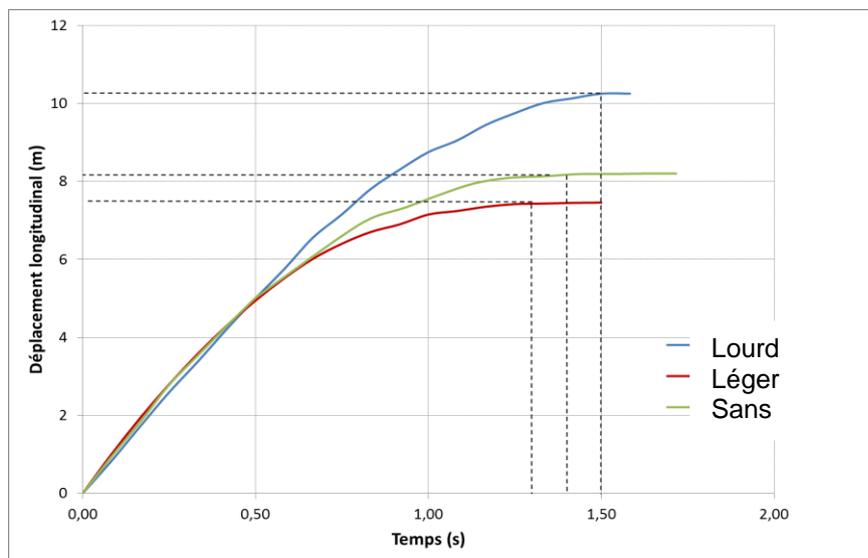
La figure 6 présente la cinématique globale du sujet lors des essais à 50km/h. Pour les 3 essais, le sujet glisse de la plateforme sur le sol et garde un mouvement rectiligne dans la direction longitudinale.

La figure 7 présente le déplacement du sujet en fonction du temps pour chacun des essais. Comme dans les essais précédents, chacune de ces courbes peut être assimilée à une équation polynomiale d'ordre 2.

Figure 6 : Cinématique du sujet en glissade à 50km/h



Figure 7 : Courbes Déplacement-temps pour une glissade à 50km/h pour 3 types de vêtements



Les valeurs pour a , v_0 , la distance de glissade et la durée de glissade sont présentés dans le tableau 4.

Table 4 : Décélération, distance et durée de la glissade pour les essais à 50 km/h

équipement	lourd	léger	Sans
$V(\text{km/h})$	48,1	47,9	48,4
$a(\text{ms}^{-2})$	7,5	10,4	9,0
Distance de glissade (m)	10,2	7,4	8,1
Durée de glissade (s)	1,5	1,3	1,4

Ces résultats montrent que lors d'une glissade avec une vitesse initiale de l'ordre de 50km/h sur un revêtement ayant un coefficient de frottement de 0.7, la distance de glissement est comprise entre 7,4 et 10,2m. Dans ces mêmes conditions, la durée de la glissade est comprise entre 1,3 et 1,5 s. A noter que le sujet équipé du blouson en cuir (modèle OPTIC avec protection coudes et épaules homologuée CE) a glissé le plus loin. Rappelons également ici que ces temps et distances de glissade ont été mesurés à partir du moment où l'ensemble du sujet est en contact avec le sol jusqu'à la position finale arrêtée du sujet. Ces valeurs ne tiennent donc pas compte de la phase de largage du sujet au cours de laquelle il touche le sol d'abord avec ses pieds puis glisse de la plate-forme petit à petit avant de tomber à plat complètement sur le sol.

Lors de l'essai avec les vêtements « lourds », le blouson en cuir a été râpé sur sa partie dorsale. Un accroc a été constaté sur le bas de jambe gauche. Un des gants a été également râpé. Le sujet d'anatomie n'a subi aucune dermabrasion. Lors de l'essai avec les vêtements « légers », aucune dégradation importante n'a été constatée. Seul un très léger accroc et une trace d'abrasion sont visibles sur le blouson. Aucune dermabrasion sur le sujet n'est notée. Lors de l'essai sans équipement spécifique, le tee-shirt a été très peu abîmé, ne présentant que de très légers accrocs. Le sujet présente néanmoins des dermabrasions sur les mains. On constate également des lésions cutanées en différents points du dos.

Si nous comparons ces résultats avec ceux obtenus avec une vitesse de 30km/h, nous constatons que les lésions sont moindres à 50km/h qu'à 30km/h. Ceci peut être attribué au coefficient de frottement du revêtement qui est différent. En effet, pour les essais à 30km/h, ce coefficient était de 0,8 alors qu'il n'était que de 0,7 pour les essais à 50km/h. Ainsi, l'abrasion est apparue plus importante lors des essais à 30km/h qu'à 50km/h.

2. Approche Numérique

En parallèle, mais de manière complémentaire aux tests expérimentaux, des simulations numériques de reconstructions d'accidents ont été effectuées. Basés sur une modélisation multicorps, ces travaux avaient pour but de tester l'influence du port ou pas d'équipements de protection pour de plus amples configurations de glissade. Le frottement au sol du motocycliste équipé (ou pas) de vêtement de protection lors de la glissade a en particulier été étudié. En d'autres termes, il s'agissait ici de déterminer dans quelle mesure un système de protection influe sur la glissade du motocycliste.

Les simulations numériques ont consisté à mener une étude paramétrique permettant d'évaluer la cinématique et la dynamique du motocycliste dans différentes configurations de glissade. Il s'agissait notamment de faire varier :

- la vitesse du motocycliste au début de la glissade : de 10 à 60 km/h,
- son orientation : 0°, 30°, 45°, 90°, 180°,
- sa position par rapport au sol : dos au sol, de profil, de face,
- le coefficient de frottement caractérisant le contact entre le motocycliste et le sol.

L'objectif final de l'ensemble de ces simulations étant alors de mieux comprendre la cinématique du motocycliste et ses niveaux de sollicitations (à la tête, au thorax, etc.) en cas de glissade.

2.1. Modélisation numérique

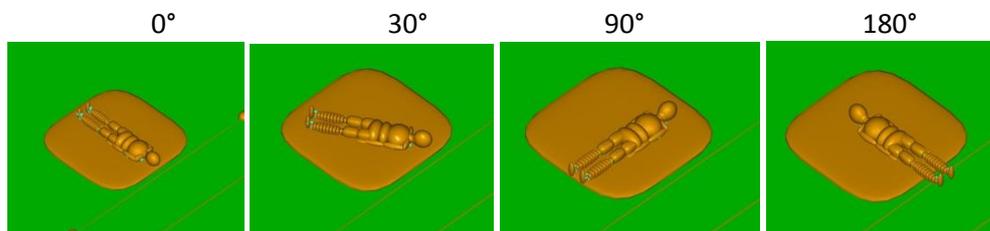
Les premiers travaux ont consisté à établir et à valider le modèle numérique permettant de simuler le comportement d'une glissade d'un sujet. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les recherches antérieures qui ont déjà permis la simulation du choc d'un motocycliste (Serre et al., 2010). Le modèle multicorps du motocycliste utilisé était ainsi le modèle d'être humain précédemment développé et validé par Yang (Yang et al., 2000) puis largement utilisé pour la

reconstruction d'accidents piétons, cyclistes et motocyclistes (Serre et al., 2007 ; Serre et al., 2009; Serre et al., 2010). Le système multicorps représentatif du corps humain est composé de trente-cinq corps rigides (corps indéformables), trente-cinq liaisons et quatre-vingt-deux surfaces. Les caractéristiques mécaniques des liaisons et des corps s'appuient sur des données biomécaniques disponibles dans la littérature (Yang et al., 2000).

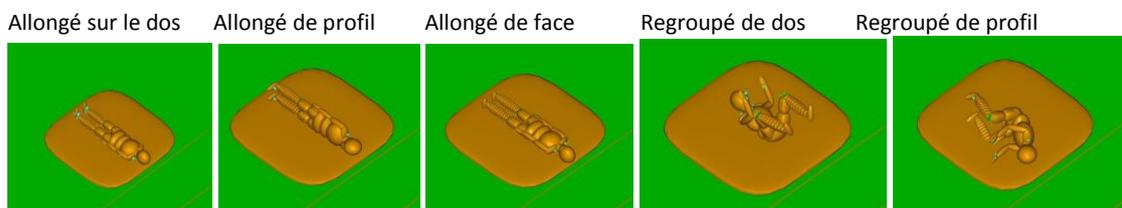
L'étape suivante a consisté à valider ce modèle numérique en le comparant aux essais expérimentaux. Nous avons donc simulé numériquement la projection d'un motocycliste à 30 km/h. Les distances de projection et les durées de glissement étant en cohérence avec les essais expérimentaux, nous avons considéré notre modèle comme validé.

Le modèle numérique a ensuite été utilisé pour effectuer une étude paramétrique afin d'évaluer la cinématique et la dynamique du motocycliste dans différentes configurations de glissade. Pour cela, 4 variables ont été étudiées :

- La vitesse du motocycliste au début de la glissade avec les 6 valeurs suivantes 10, 20, 30, 40, 50 et 60 km/h
- L'orientation du motocycliste :



- La posture du motocycliste : 3 positions à l'horizontale et 2 en position de conduite (position identifié à partir de (Smith et al.,2006)).



- Le coefficient de frottement du motocycliste au sol : nous avons fait varier ce coefficient entre 0,3 et 0,7 en accord avec la littérature (Medwell et al., 1997 ;Lambour, 1991) et les essais expérimentaux. La variation de ce coefficient tient compte également des équipements de protection que peut porter le motocycliste (combinaison lourde ou légère ou sans combinaison).

Un plan factoriel complet a été réalisé avec le logiciel HyperStudy de la suite ALTAIR® avec ces 4 variables, soit 360 calculs au total ont été lancés avec le solveur Madymo.

2.2. Résultats des simulations numériques

Les différentes réponses étudiées sont :

- Les distances de projection longitudinale et latérale relatives par rapport au centre du bassin. Ces distances tiennent compte de la phase où le motocycliste sort de la plateforme, « flotte » sur quelques mètres, tombe au sol puis glisse avec un contact de l'ensemble de son corps avant de s'immobiliser.
- L'angle relatif final du motocycliste.

- Les forces de contact entre le sol et les segments suivants du motocycliste :
 - Segment 1 : tête + cou
 - Segment 2 : tronc (abdomen, thorax, épaule)
 - Segment 3 : bassin
 - Segment 4 : cuisses + jambes + pieds
 - Segment 5 : bras

- Le temps de glissade du motocycliste : du moment où il glisse du chariot jusqu'à son immobilisation au sol. Ce temps tient donc compte à la fois de la phase de largage et de la phase de glissement.

Le tableau 5 suivant résume l'ensemble des résultats de cette étude paramétrique en fournissant les valeurs minimale, maximale, moyenne et les écarts type pour chacune de ces variables.

Tableau 5 : Résultats de l'étude paramétrique

Réponses	Minimun	Maximun	Moyenne	écart type
Distance longitudinale (en m)	1,4	36,3	14,1	10,7
Distance latérale (en m)	0,0	1,1	0,1	0,1
Angle (en rad)	-2,8	2,8	0,1	0,6
force_seg1 (en N)	0	10225	1763	1370
force_seg2 (en N)	552	10299	3873	1857
force_seg3 (en N)	85	7589	2528	1569
force_seg4 (en N)	1119	12251	4633	2052
force_seg5 (en N)	433	7549	2025	1181
Temps de glissade (en ms)	576	2995	2082	806

Les segments 4 (cuisses, jambes et pieds) et 2 (abdomen, thorax et épaules) sont les plus soumis aux efforts de contact avec le sol en glissade.

Cette étude paramétrique nous a permis également d'évaluer l'influence des différents paramètres sur la glissade. A l'aide d'un calcul de coefficient de corrélation (compris entre 0 et 1) entre les différents variables de l'étude, nous avons pu ainsi établir la matrice de corrélation et déterminer les variables qui avaient un rôle prépondérant. La variable qui apparaît comme la plus influente sur la distance de projection longitudinale est alors la vitesse initiale de glissade (0,95) puis, dans une moindre mesure, le coefficient de frottement (0,22).

Le tableau 6 suivant fournit les distances et les temps de glissade en fonction des vitesses initiales du motocycliste.

Tableau 6 : Distance et temps de glissade en fonction de la vitesse

Vitesse de glissade du motocycliste en km/h	Distance de projection Longitudinale moyenne en m	Temps de glissade moyen en ms
10	1.9	905
20	4.5	1364
30	9.1	1981
40	15.5	2508
50	22.9	2781
60	30.9	2951

Dans le tableau 6, on peut constater que les distances de glissade et les temps de glissade à 30km/h et à 50km/h sont supérieurs à ceux obtenus lors des essais expérimentaux. Ceci est attribuable à l'intervalle de valeurs utilisé pour le coefficient de frottement dans les simulations numériques. En effet, nous avons considéré des valeurs de coefficient de frottement variant entre 0,3 et 0,7 dans notre étude numérique alors que les coefficients des revêtements lors des essais expérimentaux étaient de 0,7 et 0,8. Les valeurs moyennes indiquées dans le tableau 6 prennent donc en compte des glissades avec des coefficients de frottement très faibles ce qui n'est pas le cas dans nos expérimentations. De même, le tableau 7 fournit les distances moyennes de projection en fonction du coefficient de frottement utilisé.

Table 7 : distances de projection en fonction du coefficient de frottement

Coefficient de frottement	Moyenne des distances de projection longitudinale en m
0,63 (120 simulations)	11,0
0,43 (120 simulations)	14,5
0,33 (120 simulations)	16,8

D'un point de vue général, cette étude numérique nous permet de définir des durées de glissade ne dépassant pas les 3 secondes (moyenne de 2 secondes) à des vitesses inférieures à 60km/h ainsi que des distances de projection inférieures à 30 mètres.

Nous retiendrons également que les facteurs les plus influents dans la glissade sont la vitesse initiale du motocycliste et, dans une moindre mesure, le coefficient de frottement au sol. A contrario, la posture du motocycliste ne joue qu'un rôle négligeable dans la glissade mais influe plutôt sur les segments corporels touchés pendant le glissement.

Les segments corporels les plus soumis au contact avec le sol étant les membres inférieurs et le tronc (abdomen, thorax, épaule).

Conclusion

En guise de conclusion, nous souhaitons analyser les potentielles retombées de ce travail en termes d'amélioration de la sécurité passive des usagers de 2RM et en particulier sur l'utilisation de ces résultats dans le cadre de mises en place de normes. En effet, il apparaît que les normes se concentrent sur une évaluation de la protection du vêtement de manière intrinsèque, alors que nos travaux ont permis en contrepartie d'évaluer la protection offerte par les équipements en situation quasi réelle puisqu'il prend en compte l'ensemble sujet-vêtement. Les deux études ont donc bien des thèmes séparés mais sont en relation l'une et l'autre par leurs aspects complémentaires.

En particulier, il apparaît que dans le cadre de la révision des normes EN 1621 « Motorcyclists' protective clothing against mechanical impact » et EN 13595 « Vêtements de protection pour les motocyclistes professionnels - Vestes, pantalons et combinaisons une ou deux pièces », il manque des arguments techniques et sécuritaires pour établir les nouvelles versions de ces normes.

La première problématique concerne notamment le positionnement sur une valeur précise concernant les tests d'abrasion EN 13595. En effet des divergences apparaissent quant aux exigences à imposer dans la norme en fonction des différentes zones du vêtement et des

niveaux de protection souhaités (Cf. tableau 1). L'élaboration de cette norme destinée au grand public s'est appuyée sur les valeurs définies pour un EPI (Equipement de Protection Individuelle) à usage professionnel. Il semble donc que les critères normatifs « professionnels » soient trop élevés pour des vêtements destinés au grand public et ne puissent s'appliquer à eux. Il semble également que les fabricants ne soient pas en mesure de produire un textile répondant à ces exigences car les seules matières répondant à de telles valeurs rendent non seulement le vêtement inconfortable mais, de plus, à des coûts nettement supérieurs à ceux du marché. La problématique de disposer d'une matière suffisamment protectrice pour un usage journalier et à des prix abordables se pose donc aux fabricants.

La difficulté est alors de baisser ces critères tout en restant dans des intervalles de valeurs assurant une protection correcte aux motocyclistes non-professionnels.

Rappelons ici que deux niveaux de performances sont spécifiés dans cette norme :

- Un niveau « 1 » dont l'objectif est d'assurer un certain degré de protection et dont le poids et les défauts d'ergonomie associés à son usage sont les plus réduits possible. Ce niveau est souvent associé à un usage urbain car il se destine principalement à des vêtements légers et aérés notamment pour un usage en été.
- Un niveau « 2 » assurant un degré modéré de protection supérieur à celui du niveau 1. Toutefois, ce degré de protection présente l'inconvénient du poids et des systèmes de maintien.

Nous préconisons donc dans ce cadre de considérer une vitesse de 50 km/h (13,8 m/s) pour le niveau 2 car elle apparaît tout d'abord comme une vitesse moyenne de chute et de choc chez l'accidentologie du motocycliste ; et ensuite parce qu'au-delà d'une certaine vitesse, il apparaît difficile de garantir une protection efficace. Nos résultats fournissent alors pour de telles gammes de vitesses des distances de projections de l'ordre de 20 mètres pour une durée de glissade inférieure à 3 secondes. Ces valeurs pouvant toutefois se ramener à environ 10 mètres et 1,5 secondes si on ne considère que la phase de glissement du motocycliste.

De même, si l'on souhaite établir un niveau de protection « 1 », inférieur au niveau « 2 », destiné plus spécifiquement à un usage urbain et par temps chaud, nous proposons une vitesse de 30 km/h (8,33 m/s). Pour cette gamme de vitesse, les résultats de notre étude nous amènent alors à recommander une durée de test à l'abrasion d'environ 0,8 secondes.

Ces valeurs semblent également être objectives au regard des résultats qualitatifs observés sur les vêtements lors des tests expérimentaux. En effet, si à la fin des essais, les vêtements qui ont été testés ont montré plusieurs abrasions et déchirements dus au frottement; en contrepartie, ils semblent prodiguer un niveau suffisant de protection puisque aucune lésion, en particulier de type dermabrasion, n'a été relevée sur les sujets.

Concernant les coefficients d'abrasion, nous les avons déterminés d'une manière globale c'est-à-dire en considérant un mouvement uniformément décéléré et un coefficient de frottement caractérisant l'ensemble de la glissade. Si l'on souhaite utiliser ces valeurs pour définir l'abrasion qu'il faut appliquer lors des essais normatifs réalisés sur des échantillons de vêtement, il faudrait alors effectuer une étude permettant de convertir ces valeurs globales en une valeur localisée sur une partie du vêtement. Un travail intéressant consisterait alors à comparer les valeurs obtenues lors des essais sur éprouvettes avec ceux que nous avons obtenus. Ce travail permettrait ainsi de fournir des valeurs réalistes à utiliser dans les normes pour assurer une bonne protection du motocycliste lors d'une glissade.

Remerciement

Les auteurs souhaitent remercier le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer Direction de la Recherche et de l'Innovation pour avoir financé cette étude. Ils souhaitent également associer à ce travail Mrs Max Py et Christophe Regnier pour leurs contributions lors de l'étude expérimentale.

Références

ACEM. (2004). Etude Approfondie sur les accidents de motocycles. MAIDS project, <http://www.maids-study.eu/>

Amans, B., Montreuil, M. (2005). Rapport final du projet RIDER « Recherche sur les accidents Impliquant un Deux Roues motorisé. Rapport Predit. CEESAR.

APSN (2005). Standard and research activities conducted on motorcycles, infrastructure, protective clothing & helmets. Deliverable D12. Advanced Passive Safety Network. http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/apsn_en.htm

Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, C., and Truman, W. (2004). In-depth Study of Motorcycle Accidents. Road Safety Research Report No. 54. Department for Transport, London

Elliott, M.A., Baughan, C.J., Broughton, J., Chinn, B., Grayson, G.B., Knowles, J., Smith L.R., and Simpson, H. (2003). Motorcycle safety: a scoping study. TRL Report n°581

Guyot, R. et al. (2008). Gisement de Sécurité Routière : les deux roues motorisés. La documentation Française.

Lambour, R.F. (1991). The calculation of Motorcycle speeds from sliding distances. SAE Technical Paper no910125, 1991

LIER (2011) <http://www.lier.fr/Catalogue/Produit-Protections-pour-motocyclistes-15.html>

Medwell, C.J., McCarthy, J.R., Shanahan, M.T. (1997) Motorcycle slide to stop tests. SAE Technical Paper no970963, 1997

Otte, D, Willeke, H, Chinn, B, Doyle, D and Shuller, E. (1998). Impact mechanisms of helmet protected heads in motorcycle accidents-accidental study of COST 327. Proceedings of the International Motorcycle Conference.

Serre, T., Masson, C., Perrin, C., Chalandon, S., Llari, C., Cavallero, C., Py, M., Cesari, D. (2007). Pedestrian and Bicyclists accidents: in-depth investigation, numerical simulation and experimental reconstitution with PMHS. International Journal of Crashworthiness, vol12, n°2, pp227-234

Serre, T, Llari, M, Martin, JL, Moskal, A, Masson, C, Perrin, C. (2009). Le choc moto/VL : analyse épidémiologique, accidentologique et biomécanique. Les Deux-Roues Motorisés : Nouvelles connaissances et besoins de recherche, 5–6 Mars 2009, Marseille, France, Actes INRETS n°122, pp157-170

Serre, T., Llari, M. (2010). Numerical Analysis of the Impact between a PTW Rider and a Car in Different Accident Configuration. IFMBE Proceedings, vol. 31, p. 521-524, Springer-Verlag, 6th World Congress of Biomechanics.

Smith, T., Zellner, J., Rogers, N. M. (2006). A three dimensional analysis of riding posture on three different styles of motorcycle. International Motorcycle Safety Conference - March 2006.

Yang, J.K., Lövsund, P., Cavallero, C. and Bonnoit, J. (2000). A human body 3D mathematical model for simulation of car-pedestrian impacts. J Crash Prevention and injury Control, Vol. 2(2), pp. 131-149.