

RECONSTITUTIONS EXPERIMENTALES D'IMPACTS
TETE-VEHICULE DE PIETONS ACCIDENTES.

G. STCHERBATCHEFF, C. TARRIERE, P. DUCLOS,
A. FAYON.

Association Peugeot-Renault

C. GOT, A. PATEL.

Institut de Recherches Orthopédiques
(GARCHES).

Résumé Les accidents de piétons soulèvent le problème majeur de la sévérité des impacts de la tête contre le véhicule, sévérité liée aux vitesses de collision véhicule-piéton. Mais l'estimation de ces vitesses est délicate.

La distance d'arrêt du véhicule ainsi que la distance de projection du piéton constituent une première indication pour l'estimation de la vitesse de collision. La reproduction expérimentale des déformations consécutives à des impacts de la tête observées sur le capot ou les ailes des véhicules impliqués permet, outre une comparaison des critères de blessures à la sévérité de la lésion infligée au piéton, une évaluation complémentaire de la vitesse de collision.

Les blessures à la tête chez le piéton heurté par un véhicule.

Les blessures infligées aux piétons peuvent être caractérisées par leur origine (zones du véhicule impactées ou chute au sol), leur localisation sur le corps du piéton et par leur sévérité selon leur origine et localisation.

La fréquence et la sévérité des blessures infligées respectivement sur le véhicule et au sol est une donnée fondamentale pour étudier des mesures de protection par action sur le véhicule.

Malgré les difficultés d'analyse de certaines blessures quant à leur origine (véhicule ou sol), les enquêtes accidents sont unanimes pour attribuer au véhicule la responsabilité de la plus grande part des blessures graves très graves et mortelles ainsi que de la majorité des blessures de toutes sévérités.

Les impacts des différents segments corporels contre le véhicule seraient en effet à l'origine de 60 % à 70 % des blessures mortelles (1), de 60 % des blessures graves très graves et fatales (2) et de 55 % à 75 % des blessures de toutes sévérités (1)-(3).

Les zones du véhicule à l'origine des blessures les plus fréquentes sont le pare-chocs, le capot, les ailes, la région des phares, l'encadrement du pare-brise et la calandre. Mais les blessures mortelles sont infligées, pour leur plus grande part sur les véhicules de type Européen, par le pare-brise et son encadrement, la surface ailes-capot et la région des phares(1)

Les blessures infligées aux piétons sont essentiellement localisées sur les membres inférieurs et le bassin (plus de 50 % des blessures de toutes sévérités sauf mineure) ainsi que sur la

tête (28 % des blessures de toutes sévérités sauf mineure) (1)
Mais plus de 60 % des tués le sont par suite de lésions à la tête.
86 % des piétons tués comportent au moins une blessure grave à la
tête (4).

La tête apparaît donc, chez le piéton heurté par un véhicule, comme le segment corporel le plus vulnérable.

L'origine des traumatismes crâniens et des fractures du crâne est souvent difficile à établir de façon précise, la tête heurtant successivement, dans la plupart des accidents, le véhicule puis le sol. Cette analyse a pu néanmoins être faite par différentes équipes d'enquêteurs sur la base des déformations relevées sur le véhicule, de l'aspect extérieur des lésions et de la localisation des impacts sur la tête. Une enquête accident effectuée à Hanovre (R.F.A.) dénombre, sur 37 traumatismes crâniens relevés sur des piétons adultes, 23 d'origine "véhicule" et 14 d'origine "sol". Sur 18 fractures du crâne, 13 auraient été infligées par le véhicule et 5 à la chute au sol. Chez l'enfant, cette même enquête dénombre 38 traumatismes crâniens infligés par le véhicule contre 27 au sol. 3 fractures du crâne d'origine "véhicule" et 3 fractures d'origine "sol"-(5)

Une enquête du CALSPAN souligne que chez l'adulte, 36 % des contacts tête-véhicule conduisent à des blessures très graves contre 27 % des contacts tête-sol. Chez l'enfant, 65 % des contacts tête-véhicule contre 13 % des contacts tête-sol conduisent à des blessures très graves (3).

L'enquête accident bidisciplinaire menée par l'Association Peugeot-Renault en collaboration avec l'hôpital Raymond Poincaré de Garches a observé, dans 9 cas mortels sur 12, une lésion fatale à la tête associée à une déformation nette sur l'encadrement du pare-brise, la partie reculée du capot, la baie d'auvent ou le pavillon (Fig 1)-

Les blessures de toutes sévérités à la tête résultent aussi, en majorité, d'impacts tête-véhicule. Sur 104 blessures à la tête de toutes sévérités sauf mineure, une enquête du T.R.R.L. compte 62 lésions infligées par le véhicule et 42 au sol (1)-

Il apparaît donc que, tant les blessures de sévérité modérée que les blessures graves très graves et fatales à la tête résultent, dans 55 % à 75 % des cas, d'impacts tête-véhicule,

On peut donc admettre, dans une première estimation
et compte tenu de la part des piétons tués par suite de lésions
à la tête, que plus du tiers des piétons tués le sont par suite
d'un impact tête-véhicule.

Les impacts tête-véhicule en collisions expérimentales véhicule- mannequin adulte.

Des collisions expérimentales véhicule-mannequin adulte (Siera Stan 50g perc.) réalisées avec différents profils de véhicules ont permis de mettre en évidence des configurations type d'impacts tête-véhicule, configurations associées aux différents profils des véhicules impliqués aux vitesses de collisions comprises entre 20 km/h et 40 km/h.

Pour une vitesse de collision donnée, la hauteur au-dessus du sol du point de contact supérieur de la face avant du véhicule sur la cuisse du mannequin ainsi que la longueur du capot déterminent en effet respectivement la trajectoire de la tête en référentiel véhicule et la zone du véhicule coupée par cette trajectoire. Un contact situé "bas" sur la cuisse du mannequin induit des trajectoires tendues de la tête en direction du pare-brise et de son encadrement. Un contact situé "haut" sur la cuisse induit des trajectoires incurvées de la tête en direction du capot. Un capot "long" favorise les impacts tête-capot ; un capot "court" conduit à des impacts tête-pare-brise ou encadrement. Sur un véhicule donné, les trajectoires de la tête sont plus tendues et leur intersection avec le véhicule situées plus en arrière sur le véhicule à mesure que la vitesse de collision augmente (6).

Trois types d'impacts tête-véhicule résument ces différentes configurations.

A. Le capot du véhicule est court et son bord antérieur situé relativement bas au-dessus du sol. La trajectoire de la tête est tendue et aboutit à un impact contre la traverse supérieure de pare-brise. Un accident réel (Fig 2 A) et la silhouette du mannequin telle qu'elle apparaît en collision expérimentale à l'instant de l'impact tête-véhicule illustrent cette configuration (Fig 3 A).

B. Le capot du véhicule est de longueur moyenne mais son bord antérieur est situé "bas" au-dessus du sol. La trajectoire tendue de la tête aboutit dans le pare-brise. Un accident réel (Fig 2 B) et l'attitude du mannequin à l'impact de la tête (Fig 3B) illustrent cette seconde configuration.

C. Le capot est long ou de longueur moyenne, Son bord antérieur est situé relativement haut ou à hauteur moyenne au-dessus du sol. La trajectoire de la tête est incurvée vers le bas et aboutit à un impact tête-capot (Fig 2C-3C).

Dans ces trois configurations, l'analyse de la vitesse de la tête du mannequin sur sa trajectoire en référentiel "véhicule" montre que celle-ci, égale à la vitesse de collision à l'instant du premier contact véhicule-mannequin, s'accroît dans une première phase du fait de l'apparition d'une composante verticale de vitesse. Dans la configuration A, l'impact de la tête intervient à vitesse un peu supérieure à la vitesse de collision véhicule-mannequin sans toutefois dépasser 1.2 fois cette dernière, l'accroissement de vitesse tête/véhicule dû à la composante verticale étant relativement faible. La trajectoire de la tête en référentiel "sol" est proche de la verticale jusqu'à l'impact.

Dans la seconde configuration (B), l'impact de la tête contre le pare-brise intervient également à vitesse un peu supérieure à la vitesse de collision, la trajectoire de la tête en référentiel "sol" étant proche de la verticale. Comme dans la configuration précédente, cette vitesse n'a pas dépassé, dans les essais réalisés à des vitesses de collisions comprises entre 20 km/h et 40 km/h, 1.2 fois la vitesse de collision.

Dans la configuration C, la composante horizontale de vitesse tête en référentiel véhicule décroît rapidement peu après le premier contact véhicule-mannequin du fait de l'entraînement de la tête dans le sens de déplacement du véhicule et s'échange avec une composante verticale croissante (Fig 6). En référentiel "sol", la trajectoire de la tête, proche de la verticale dans un premier temps, s'infléchit ensuite dans le sens de déplacement du véhicule, traduisant l'entraînement de la tête. La vitesse résultante de la tête en référentiel "véhicule" croît dans une première phase, passe par un maximum pouvant atteindre 1.5 fois la vitesse de collision pour décroître ensuite jusqu'à l'impact. Dans les essais réalisés, les vitesses d'impact tête-capot furent comprises entre 0.8 et 1.2 fois la vitesse de collision.

On observe, dans ces trois configurations, une flexion latérale de la tête par rapport au tronc entraînant une fluctuation de la vitesse de la tête sur sa trajectoire. Ce mouvement est particulièrement marqué dans la configuration C du fait de la vitesse de rotation élevée du tronc mais il s'atténue en général peu avant l'impact de la tête (Fig 7).

Reproduction expérimentale d'un impact tête-véhicule avec mannequin, cadavre et tête de mannequin séparée.

Un accident mortel de notre échantillon comportant un impact tête-véhicule, nettement marqué sur le capot par une déformation de 6 cm de profondeur, fut sélectionné en vue d'une étude expérimentale (Fig. 4).

Le piéton, un adulte de 1.70 m, a été heurté sur son côté, alors qu'il traversait la chaussée, par un véhicule de profil "moyen" (hauteur au-dessus du sol du bord antérieur du capot, véhicule à vide : 76 cm ; longueur du capot : 1.05 m). Le conducteur du véhicule n'a amorcé un freinage qu'il qualifie de modéré qu'après le premier contact véhicule-piéton (distance de freinage: 18 m). Il a précisé qu'à la suite de multiples impacts contre la face avant et le capot, le piéton est tombé au sol devant le véhicule qui roulait alors à vitesse réduite. Le piéton fut relevé 2 mètres en avant du véhicule. Le conducteur a estimé que sa vitesse était "modérée" à l'instant de la collision sans plus de précision.

L'autopsie a révélé une lésion fatale à la tête du piéton (hématome sous dural, hémorragies, fracture du crâne), une plaie au foie ainsi que de multiples contusions.

L'analyse des cinématiques de la tête observées en collisions expérimentales véhicule-mannequin adulte (6) a permis d'estimer, dans un premier temps, la vitesse de collision à plus de 40 km/h compte tenu de la localisation de l'impact de la tête sur le capot, de la taille du piéton ainsi que de l'importance des déformations.

Une évaluation plus précise de la vitesse de collision fut obtenue par la reproduction expérimentale de l'accident avec mannequin. Une première collision simulée fut réalisée à 40 km/h, le mannequin (Sierra Stan 50e perc.) étant disposé sur la trajectoire d'un véhicule de même modèle, les jambes un peu fléchies dans l'attitude présumée du piéton à l'impact. Les déformations trop faibles sur le capot du véhicule en comparaison de celles observées

sur le capot accidenté ont suggéré d'élever la vitesse de collision. Un second essai à 45 km/h a permis d'obtenir un impact de tête localisé à une distance de 6 cm de l'impact tête/capot du piéton accidenté. Le relevé topographique de la section d'enfoncement maximum du capot par un plan perpendiculaire à l'axe du véhicule a mis en évidence une déformation d'amplitude et de profil comparables aux données correspondantes sur le capot accidenté. La vitesse de la tête du mannequin, mesurée dans le dernier centième de seconde précédant l'impact, est égale à 45 km/h. L'accélération maximum sur la tête, égale à 260 g, et le critère de blessure correspondant (HIC= 2140) témoignent d'un impact très sévère pouvant être à l'origine d'une lésion fatale.(Fig. 11).

Dans la même configuration et à même vitesse, un cadavre a été heurté par le même véhicule, le capot ayant été changé. L'impact de la tête du cadavre fut localisé 7 cm en arrière de l'impact de la tête du mannequin et 13 cm en arrière de l'impact de la tête du piéton sur le capot. La déformation relevée est de profil et d'amplitude comparables aux déformations relevées sur les capots impactés par la tête du mannequin et la tête du piéton.

- L'accélération sur la tête du cadavre, d'amplitude maximum égale à 260g, comporte un palier à 180g de durée égale à 10 ms. (Fig.11)- Il en résulte un indice de sévérité très élevé (HIC=4750).

La comparaison des cinématiques du mannequin et du cadavre fait apparaître que : (Fig 5-6-7-8-9-10)

-L'impact tête-capot est intervenu au même instant, 90ms après le premier contact avec le véhicule, mais à vitesse un peu plus élevée sur le cadavre (49 km/h) que sur le mannequin (45 km/h).

-La vitesse d'impact est quasi verticale dans les deux cas, la trajectoire de la tête coupant le capot sous un angle respectivement égal à 79° et 81°.

-La vitesse maximum de la tête du cadavre sur sa trajectoire (19 m/s à t = 80 ms.) est plus élevée que celle du mannequin (16 m/s à t = 70 ms.).

-La mise en vitesse de la tête du cadavre dans le sens de déplacement du véhicule intervient 20 ms. après la mise en vitesse de la tête du mannequin sur le même axe.

-Les vitesses de rotation du tronc sont d'amplitude maximum très proches ainsi que les vitesses de rotation de la tête par rapport au tronc.

Malgré les écarts observés, on relève une bonne similitude entre la cinématique du mannequin et la cinématique du cadavre dans cette première phase de l'accident. La décroissance rapide de la vitesse de la tête sur sa trajectoire peu avant l'impact observée dans tous les tests comportant un impact tête-capot (configuration C), et en particulier dans le test contre cadavre décrit ci-dessus, ne permet pas d'effectuer une mesure précise. Cependant, des mesures prises durant les dix dernières millisecondes précédant l'impact permettent d'approcher cette vitesse qui s'avère, dans tous les tests effectués, être comprise entre 0.8 et 1.2 fois la vitesse de collision. Sous réserve de la confirmation, par des tests complémentaires, de

l'existence d'une bonne corrélation entre la vitesse d'impact de la tête et l'amplitude de la déformation du capot, la reproduction de la déformation consécutive à un impact tête-capot devrait permettre une estimation de la vitesse de collision véhicule-piéton.

Un test de chute libre de la tête séparée du mannequin sur le capot étudié réalisant un impact à 45 km/h localisé au droit de l'impact de la tête du mannequin dans le test global a été effectué dans le but de confronter les données d'impacts "tête-séparée-capot" et "tête+ mannequin-capot". La décélération nettement plus faible sur la tête séparée ($\gamma_{\text{max.}} = 160g.$, H.I.C. = 840) laisse supposer que la masse apparente d'une tête fixée sur le mannequin est plus faible que la masse de la tête dans la configuration d'un impact tête capot (Fig. 11). Une évaluation de la masse apparente de la tête dans la configuration d'un impact tête-capot devrait permettre l'étude de l'impact tête-capot avec une tête séparée de masse ajustée à la masse apparente.

CONCLUSION

Les impacts tête-véhicule seraient à l'origine de plus du tiers des piétons tués. L'étude expérimentale avec mannequin de l'impact tête-véhicule chez le piéton adulte met en évidence trois configurations principales d'impacts. Dans ces différentes configurations, la vitesse d'impact tête-véhicule est comprise entre 0.8 et 1.2 fois la vitesse de collision véhicule-piéton. La reproduction expérimentale d'un accident réel avec mannequin et cadavre fait apparaître, malgré les différences observées, une bonne similitude des cinématiques du mannequin et du cadavre. Ces premiers résultats d'une étude expérimentale en cours de la sévérité des impacts tête-véhicule chez le piéton pourraient être à l'origine d'une méthode d'estimation de la vitesse de collision véhicule-piéton.

REFERENCES.

- (1) Transport and Road Research Laboratory: "Pedestrian Injuries" L.F. 317/Issue 4. Department of the Environment.
- (2) G.M. Mackay: "Injury to Pedestrian" Report to the Committee on Pedestrian Safety. N.A.T.O., BRUSSELS, BELGIUM 1972.
- (3) Paul M. Culowski et al: "Research in Impact Protection for Pedestrians and Cyclists". CALSPAN. P.B. 201 260, May 1971.
- (4) B. Fabrikus, J. Niklas and E. Fiala: "Pedestrian Accident Tests with Catapult". Research Report N° 40. Motor Vehicle Institute, Technical University, BERLIN 1968.
- (5) G. Sturtz, F. Suren, L. Gotzen, and K. Richter: Analyse von Bewegungsablauf, Verletzungursache, Schwere und Folge bei Fussgängerunfällen mit Kindern durch Unfallforschung am Unfallort". (I.R.C.O.B.I.), LYON, 1974.
- (6) G. Stcherbatcheff, C. Tarrière, P. Duclos, A. Fayon: "Simulations of pedestrian accidents with adult and child dummies and with cadavers". Presented at the 19 th. STAPP CAR CRASH CONFERENCE.

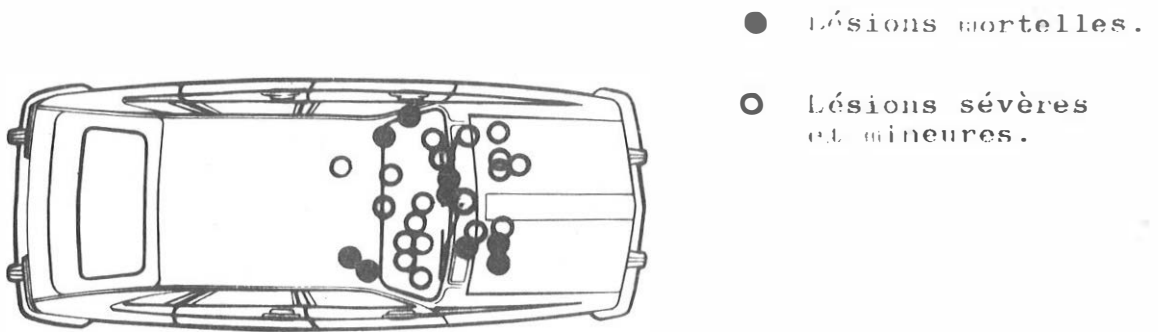


FIGURE 1.- Localisation d'impacts tête adulte sur le véhicule. (Enquête accidents A.P.R.).

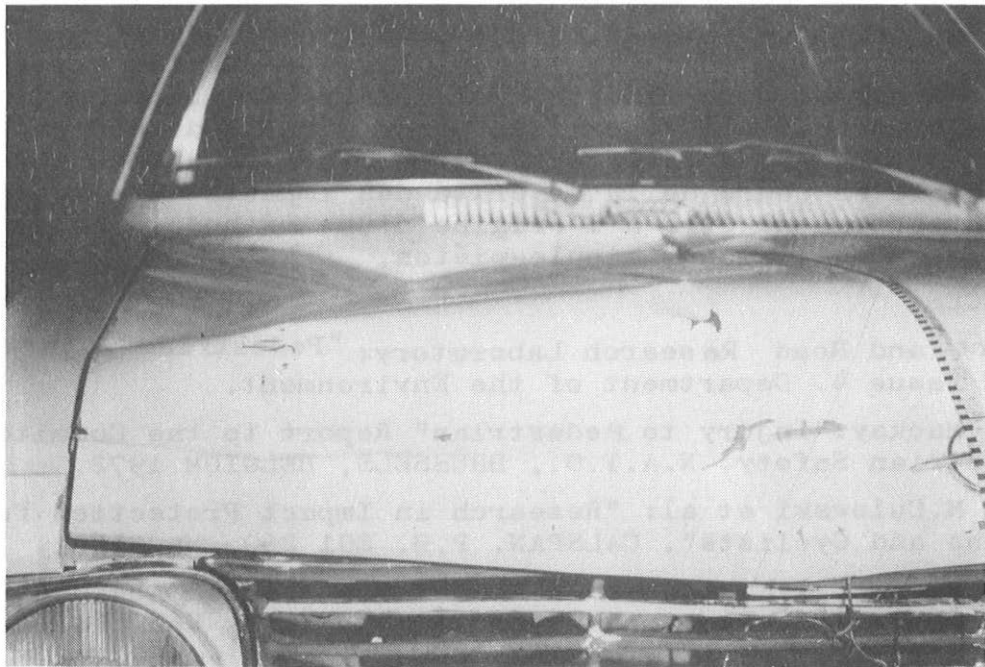


Figure 4 Déformation du capot consécutive à un impact de la tête.
Vitesse de collision proche de 45 km/h.

FIGURE 2 - IMPACTS TYPES TETE-VEHICULE EN ACCIDENTS REELS.



Ⓐ AUSTIN 1000
Vitesse de collision
20-25 km/h.

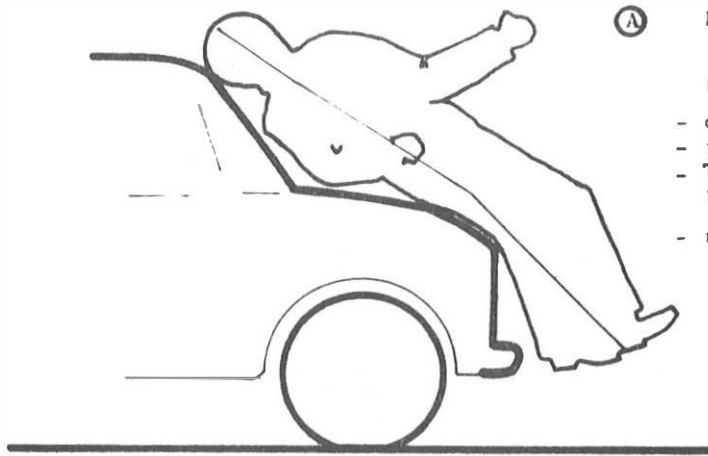


Ⓑ ALFASUD
Vitesse de collision
35-40 km/h.

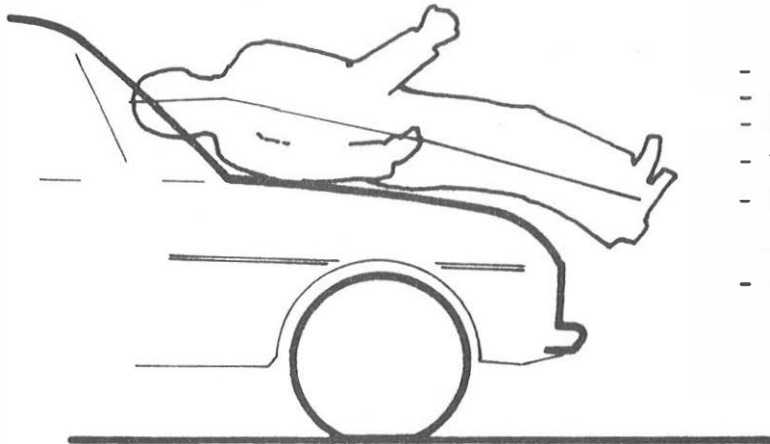


Ⓒ MERCEDES 220 D.
Vitesse de collision
20-25 km/h.

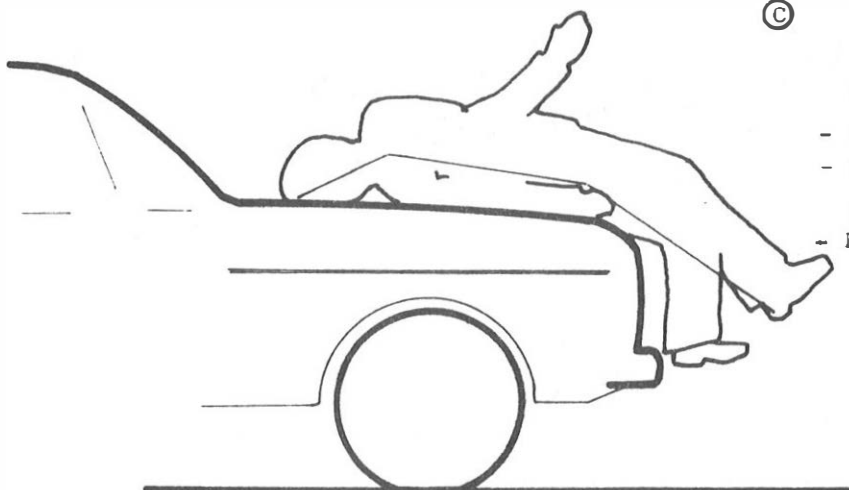
FIG.3 - Configurations estimées à l'impact tête-véhicule.



- Ⓐ Homme 55 ans - 1 m 80
78 kg
- Blessures véhicule:
- douleur jambe
 - plaie cuir chevel
 - TC + PC < 1/4 h
- Blessures soi:
- néant.
- côté impact



- Ⓑ Femme 16 ans - 1 m 60
44 kg.
- Blessures véhicule:
- Fracture cheville
 - Contusion jambe
 - Plaie bras
- Blessures soi:
- TC + PC 1/4 h.
 - Plaies visage
- Blessures sol:
- néant.
- côté impact



- Ⓒ Homme 53 ans - 1 m 70
62 kg.
- Blessures véhicule:
- fracture jambe
 - plaie visage
- Blessures soi:
- Erosions cutanées.
- côté impact

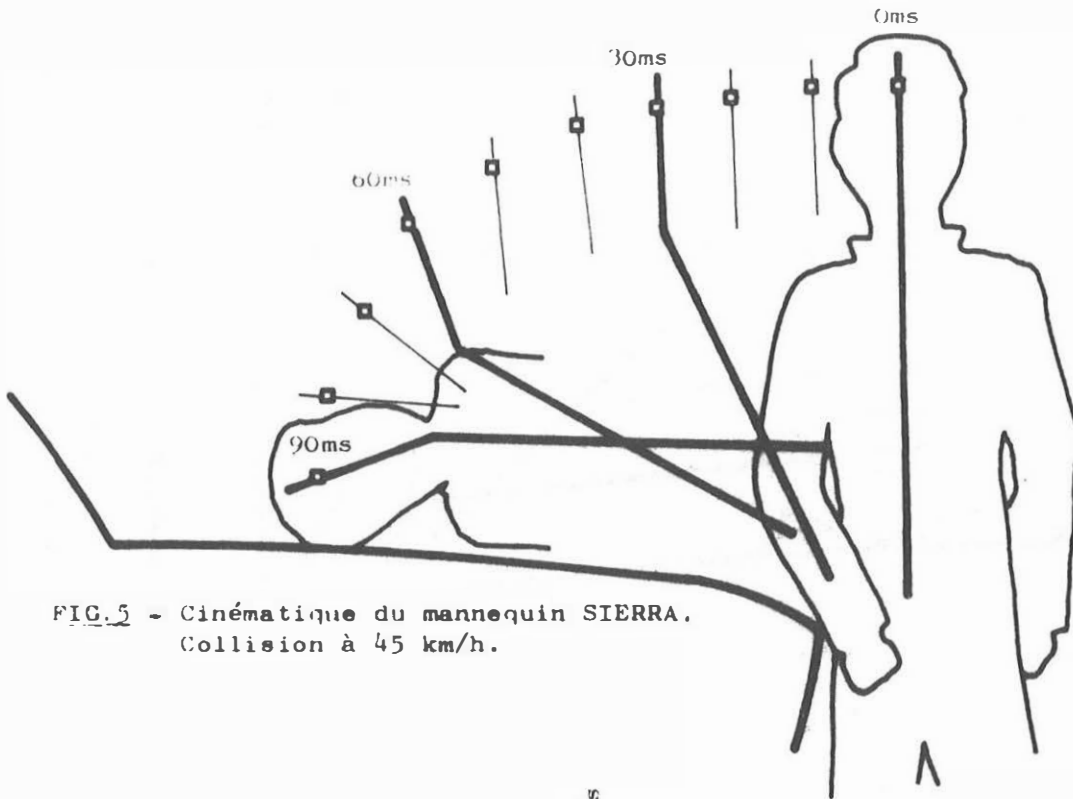


FIG. 5 - Cinématique du mannequin SIERRA.
Collision à 45 km/h.

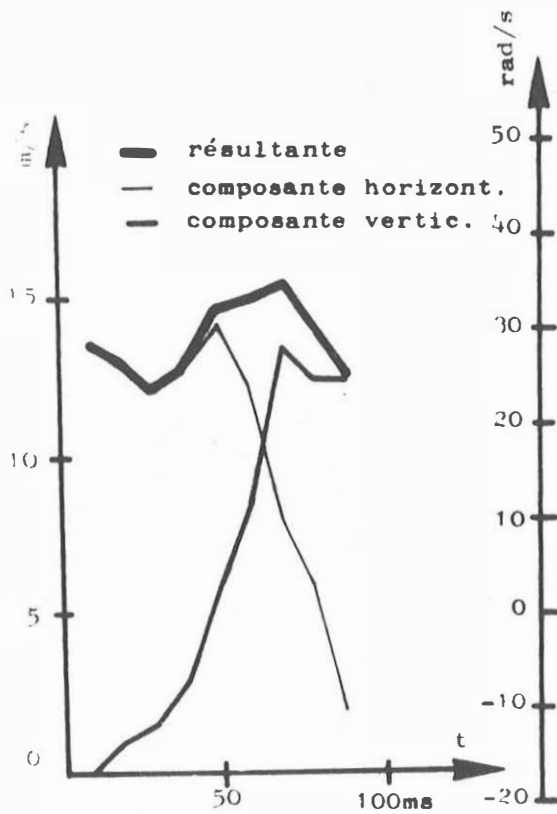


FIG. 6 - Vitesse de la tête en référentiel véhicule.

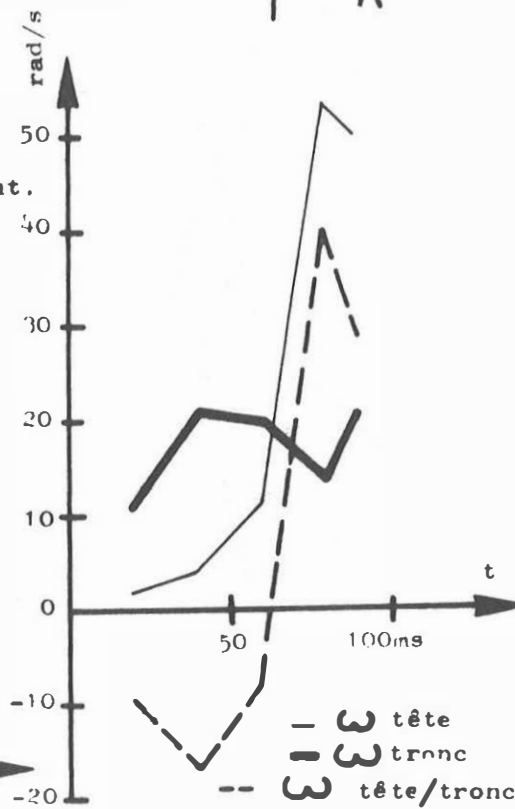


FIG. 7 - Vitesses de rotation.

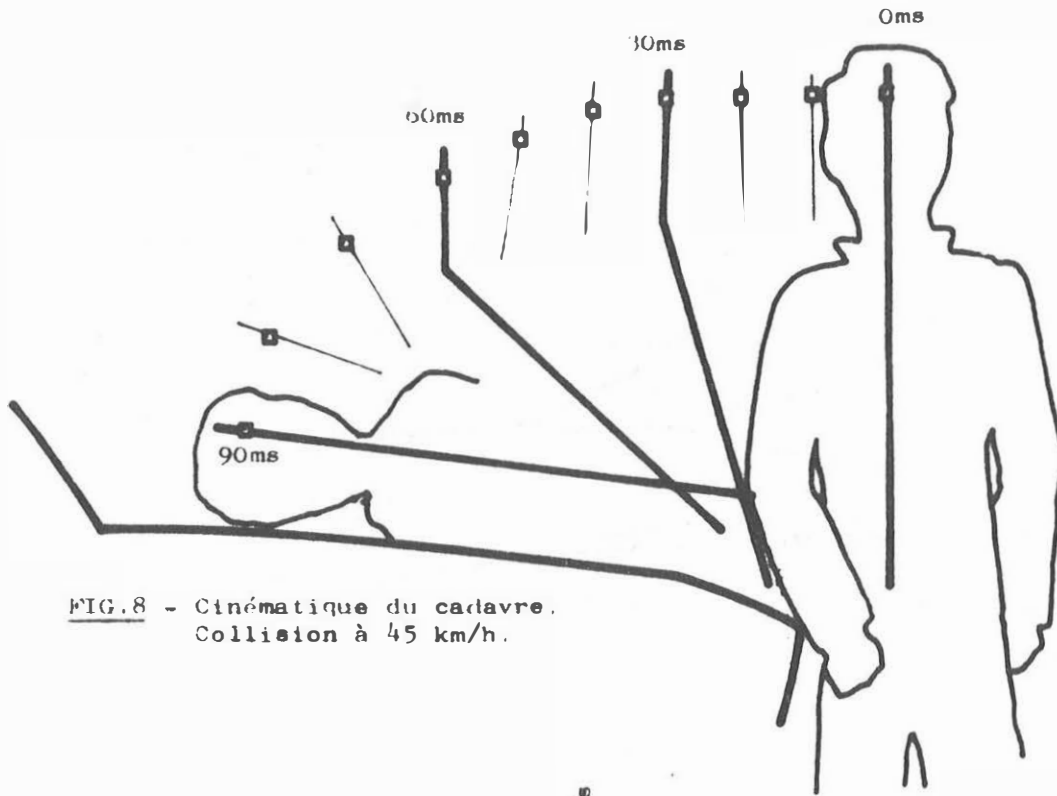


FIG.8 - Cinématique du cadavre.
Collision à 45 km/h.

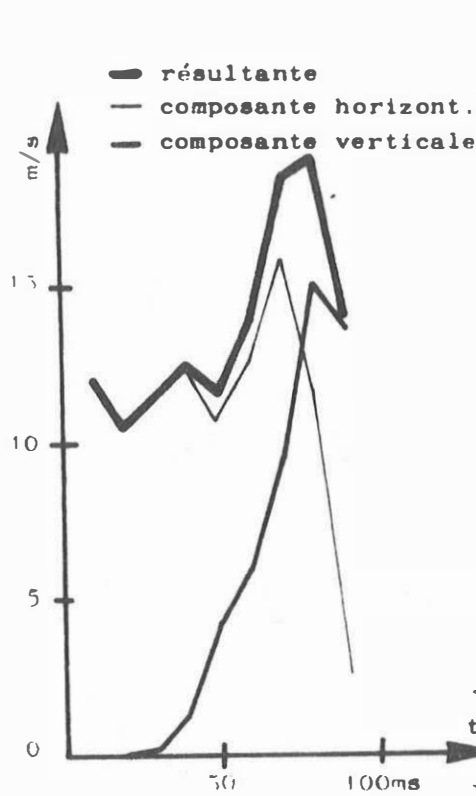


FIG.9 - Vitesse de la tête en référentiel véhicule.

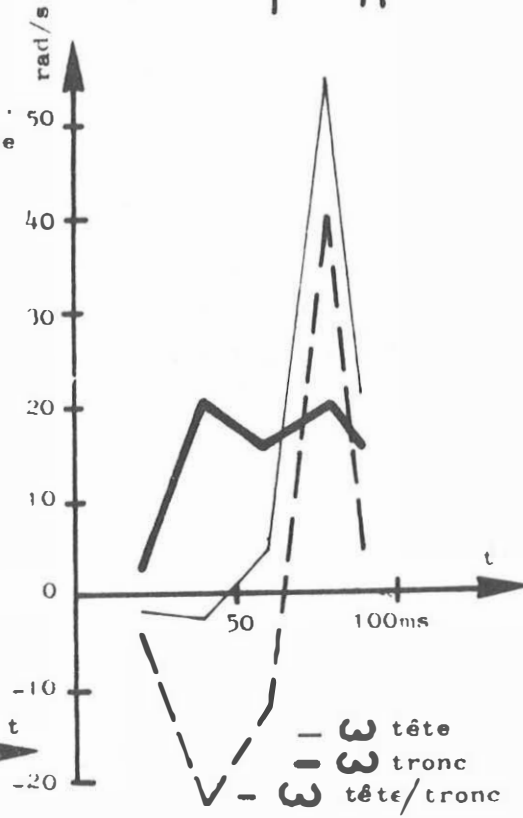


FIG.10 - Vitesse de rotation.

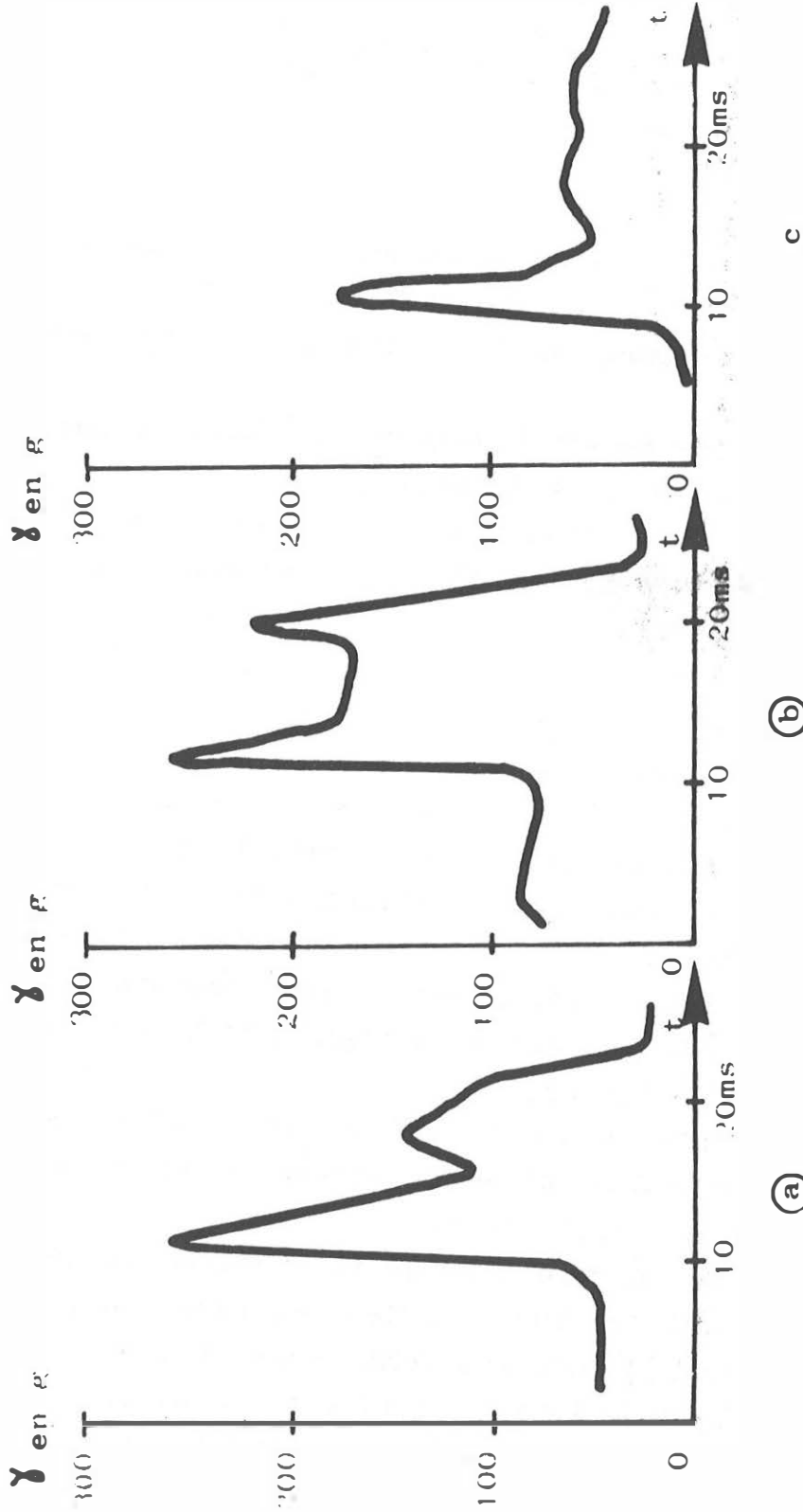


FIG. 11 - Impacts tête-capot à 45 km/h.
a) - Reproduction de l'accident avec mannequin SIERRA.
b) - Reproduction de l'accident avec cadavre.
c) - Chute libre tête mannequin SIERRA.