

ESSAI DE DEFINITION DE LA TOLERANCE DE LA TETE DES JEUNES ENFANTS AUX CHOCS.

par: FAYON (A) et TARRIERE (C), Laboratoire de Physiologie et de Biomécanique de l'Association PEUGEOT-RENAULT.-

INTRODUCTION.-

Les tolérances de l'homme aux impacts et aux décéléra-
tions qui surviennent lors des accidents d'automobiles commen-
cent à être connues. Malheureusement, et pour des raisons diverses,
on ne trouve pas de données comparables en ce qui concerne les
enfants.

C'est une lacune grave qui gêne tous ceux qui ont en
charge l'aménagement intérieur d'un véhicule ou la conception d'un
système de retenue adapté aux enfants. L'optimisation des caracté-
ristiques de la retenue est impossible.

Il nous est apparu important de chercher à obtenir
une évaluation de la tolérance de la tête de l'enfant à l'impact.
En effet, certains systèmes de retenue induisent déjà un choc de
la tête en fin de trajectoire. D'autre part, si nous savons main-
tenant que, pour un adulte retenu par une ceinture, il n'y a que
peu de problèmes à l'étage cervical en collision frontale, nous
sommes loin d'avoir la même conviction pour l'enfant. Une des solu-
tions pour diminuer les contraintes cervicales de l'enfant retenu
reviendrait à allonger sa trajectoire, avec apparition de risques
d'impacts secondaires dont il convient d'apprécier le danger.

La littérature ne nous a pas donné d'éléments direc-
tement utilisables. Cependant, en 1971, MC ELHANEY, STALNAKER et
autres (1)*, ne disposant pas des tolérances de la tête humaine à
l'impact latéral, ont tenté de les obtenir par une application de
l'analyse dimensionnelle afin d'extrapoler les résultats expéri-
mentaux obtenus sur des singes. Nous avons donc essayé une appro-
che similaire à partir des données disponibles, sans remettre en
cause la validité de la méthode.

L'accent a été mis sur les enfants de 3 et 6 ans; des
mannequins anthropomorphiques correspondant à ces âges sont dis-
ponibles; cette tranche d'âge correspond électivement à des rete-
nues spécifiques.

APPLICATION A L'IMPACT LATÉRAL DE LA TÊTE DE L'ENFANT.-

L'application de n'analyse dimensionnelle peut être
envisagée dès que l'on connaît les paramètres physiques du choc
... /

* Les chiffres entre parenthèses renvoient à la bibliographie
citée.

qui aboutissent à une même sévérité de lésion pour les têtes des sujets étudiés. La méthode détaillée ci-après se retrouve dans les références (1) et (2) des travaux de MC ELHANEY et STALNAKER. Nous essayons de situer le crâne de l'enfant par rapport aux autres crânes considérés, et, par là, d'évaluer une tolérance.

Une première hypothèse nécessaire est d'admettre que les propriétés des tissus des différents sujets comparés sont analogues, et donc que l'ossification est suffisante, outre la fermeture des fontanelles.

La grande fontanelle est entièrement fermée vers l'âge de deux à trois ans; le développement de la base du crâne est terminé entre six et sept ans; les lésions à observer n'étant pas, la plupart du temps, des fractures, on n'attachera pas trop d'importance à ce développement tardif pour l'enfant de six ans.

Une deuxième hypothèse est que l'on décrit suffisamment un impact de la tête au moyen des paramètres suivants:

- l'accélération résultante et sa durée: A, τ
- la force de contact F ,
- la variation de vitesse de la tête V ,
- le rayon moyen du crâne r ,
- l'épaisseur moyenne du crâne e ,
- la masse de la tête M .

De ces paramètres, on peut déduire les expressions non dimensionnelles suivantes:

$$\pi_1 = \frac{\tau}{e}$$

$$\pi_2 = V \frac{\tau}{e}$$

$$\pi_3 = A \frac{e}{V^2}$$

$$\pi_4 = \frac{MV}{F\tau}$$

Une expression non dimensionnelle sera fonction de ces variables. Nous examinerons la variation du paramètre fonction du crâne considéré:

$$\pi_1^* = m_c \frac{\tau}{e} \quad (m_c \text{ masse du cerveau})$$

en fonction des variables non dimensionnelles restantes.

On se reportera au Tableau I et à la figure 1 pour les valeurs des paramètres dimensionnels utilisés.

... /

Espèce	e cm	$\frac{I}{e}$	m_c g	$m_c \cdot \frac{I}{e}$ kg e	$\frac{VZ}{e}$	Z ms	V m/s	$\frac{Ae}{V^2}$	A g	$\frac{VZ}{e}$	Z ms	V m/s	$\frac{Ae}{V^2}$	A g
Sagouin	0,11	18,8	29	0,55	125	6	23	0,029	1490	21,2	1,5	15,4	0,096	
Cynomolgus	0,18	15,4	59,8	0,92						20,8	2,4	15,6	0,088	1220
Rhésus (20 livres)	0,29	13,2	105	1,39						17,5	3,0	17	0,093	940
Rhésus (10 livres)	0,20	15,2	75	1,14	103	7,8	27	0,033	1200					
Chimpanzé	0,47	11,4	379	4,32	89	11,0	38	0,032	1000	15,5	4,2	17,2	0,086	550
Homme adulte	0,72	10,8	1360	14,7	36	20,0	13	0,032	76	6,8	7,5	6,5	0,092	56
enfant (6 ans)	0,56	12,8	1300	16,6	35	17	11,5	0,032	77	5,9	5,6	5,87	0,092	58
enfant (3 ans)	0,45	15,3	1127	17,3	31	18	7,8	0,032	44	5,6	6	4,2	0,092	37

Chocs longs

Chocs brefs

TABLEAU I: PARAMETRES DIMENSIONNELS UTILISES EN CHOC LATERAL

Fig. 1: Impacts de tête latéraux. Réduction des vitesses. Principe.

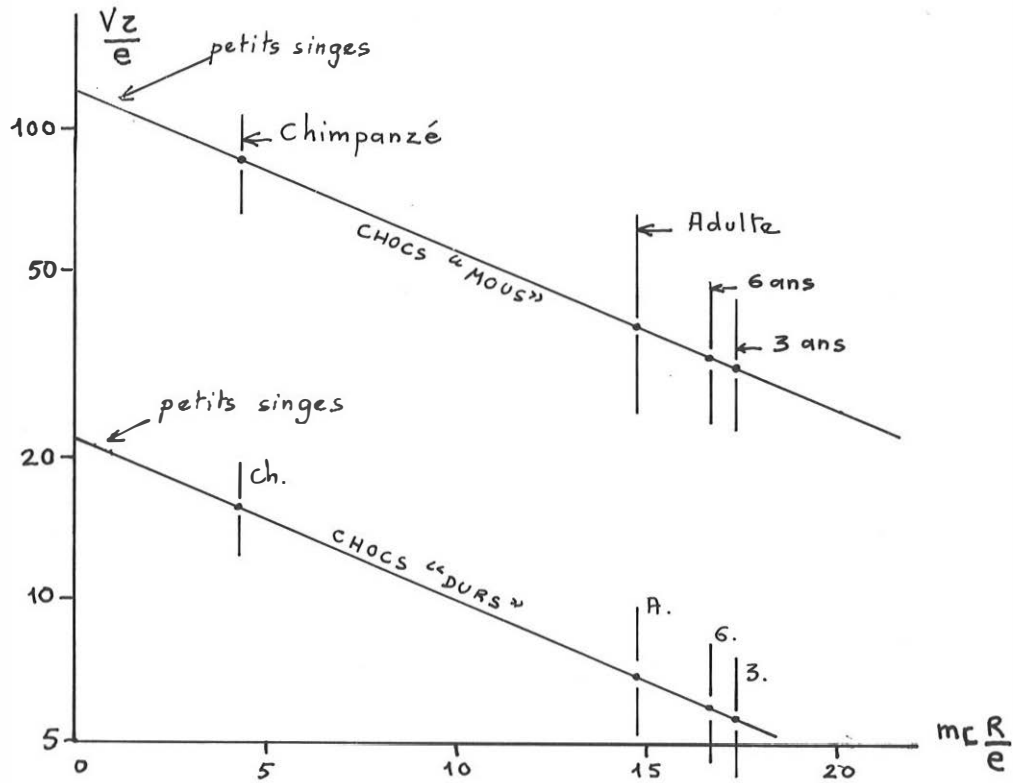
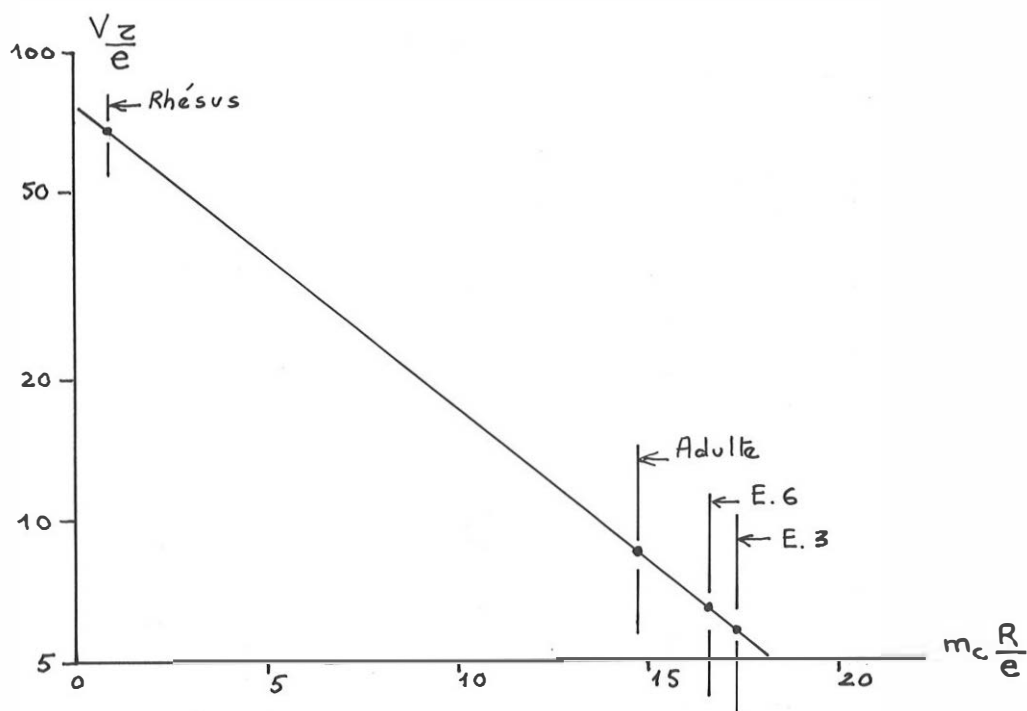


Fig. 2: Impacts de tête frontaux. Réduction des vitesses. Principe.



La figure 1 montre la relation entre π^*_{11} et $\frac{Vz}{e}$ et nous donne les valeurs de $\frac{Vz}{e}$ pour les espèces "inconnues" e par extrapolation.

On remarquera, peut-être avec étonnement, que les points représentatifs des enfants sont situés au delà de l'homme par rapport aux singes: les mesures anthropométriques soulignent que l'enfant n'est ni un singe, ni un homme en réduction.

Connaissant $\frac{Vz}{e}$, une valeur de z fournit V . Cette valeur de z résulte d'un choix et les Auteurs cités ont utilisé la plus faible durée à partir de laquelle la tolérance à l'accélération ne diminue plus avec l'accroissement et la durée d'exposition, en accord avec le modèle de tête définissant le M.S.C. (Maximum Strain Criterion) pour l'espèce, et l'impact considéré.

Cette valeur de transition est liée à la forme du signal d'accélération considéré et à la fréquence de résonance de la tête.

Ne disposant pas de résultats d'études sur le crâne de l'enfant, nous avons utilisé pour sélectionner la durée du choc un modèle mathématique simple. Sachant que la fréquence de résonance d'une sphère creuse à paroi mince est de la forme:

$$f \sim k \frac{\sqrt{e}}{R^{3/2}}$$

nous avons pu vérifier (Tableau II) que les durées de choc retenues dans les travaux du H.S.R.I. croissaient sensiblement pour les chocs longs comme les périodes de résonance approchées T obtenues par la formule précédente.

TABLEAU II.-

Espèce	$\frac{\lambda T}{z} (*)$	$\frac{z}{ms}$	$\frac{\lambda T}{z} (*)$	z
Sagouin	1,5	6	6	1,5
Cynomolgus	---	---	4,54	2,4
Rhésus 20 livres	---	---	4,63	3,0
Rhésus 10 livres	1,52	7,8	-----	-----
Chimpanzé	1,64	11	4,31	4,2
Homme adulte	1,285	20	3,43	7,5
Enfant 6 ans	1,5	17	4,5	5,6
Enfant 3 ans	1,5	18	4,5	6

chocs "longs"

chocs "durs"

(*) λ constante de proportionnalité.

Nous avons admis également cette propriété pour les chocs brefs après examen des courbes résultant du calcul du M.S.C. publiées (1) (2).

Ayant fixé Z et donc pu obtenir V , l'utilisation de M_3 donne une évaluation de l'accélération maximum tolérable pour le choc considéré, c'est à dire qu'il ne faut lire le nombre de g obtenu qu'associé à la durée en regard.

Les données relatives à l'épaisseur du crâne des enfants proviennent de ROCHE (3). Nous avons fait en sorte que la progression de l'épaisseur avec l'âge aboutisse à un adulte nanti de 7,18 mm d'épaisseur de crâne pour être homogène avec les données du H.S.R.I. Les dimensions extérieures viennent de TWIESSELMANN (4) et les poids de cerveaux de KROGMAN (5).

RESULTATS ET DISCUSSION POUR LE CHOC LATERAL:

- 1°) enfant de six ans: les tolérances de la tête à l'impact latéral sont sensiblement celles de l'adulte.
- 2°) enfant de trois ans: ces mêmes tolérances apparaissent très inférieures à celles de l'adulte. Cela provient, au niveau du calcul de la forte diminution relative de l'épaisseur du crâne par rapport à ses dimensions extérieures. Nous n'accordons pas cependant un grand crédit à ces résultats. SNYDER (7) cite au moins un cas de chute libre d'enfant où l'accélération a du être très supérieure, sans lésions notables. D'autre part l'ossification de la partie inférieure du crâne est très incomplète à trois ans, ainsi que celle des premières vertèbres cervicales. La similitude mathématique n'est donc que très peu fondée pour le très jeune enfant.

APPLICATION A L'IMPACT FRONTAL DE LA TETE DE L'ENFANT.-

Hypothèses et méthode sont les mêmes que précédemment.

Nous traçons une droite $V \frac{Z}{e}$ fonction de $m_c \frac{r}{e}$ à partir de deux points déterminés par les tolérances qu'ils représentent.

Le premier point est donné par le Rhésus en choc frontal. La référence (6) donne 1800 g et 3,6 ms pour des lésions graves mais réversibles. Nous évaluons la vitesse V correspondante au mieux par similitude avec les essais analogues avec impacteur rigide.

Le second point provient des critères admis pour l'homme adulte. La durée de choc retenue comme détaillée plus haut est de 7,8 ms; une telle durée correspond à la zone de transition de la courbe de tolérance de la Wayne State University. Nous avons retenu, pour des calculs simples, un Indice de Sévérité au sens de GADD, de 1200 avec une loi d'accélération sinusoïdale. Ce faisant,

... /

on n'est d'ailleurs ainsi pas très éloigné d'un HIC de 1000.

Les calculs sont résumés dans le Tableau III et la figure 2.

TABLEAU III.-

PARAMETRES DIMENSIONNELS UTILISES EN CHOC FRONTAL

Espèce	e cm	$m_c \frac{r}{e}$ kg	Z ms	V m/s	$v \frac{Z}{e}$	$A \frac{e}{V^2}$	A (g)
Rhésus	0,2	1,14	3,6	40,5	69,9	0,022	1800
Homme adulte GSI 1200	0,718	14,7	7,8	7,88	8,57	0,183	161
Enfant 6 ans	0,557	16,57	7,7	4,70	6,5	"	74
Enfant 3 ans	0,450	17,28	8,2	3,24	5,9	"	44

DISCUSSION DE L'IMPACT FRONTAL.-

A la différence des données expérimentales de l'impact latéral, on note une forte variation de $A \frac{e}{V^2}$ entre Rhésus et homme. Nous avons conservé pour l'évaluation de la tolérance des enfants la valeur calculée pour l'homme adulte.

La tolérance apparaît relativement faible pour l'enfant de six ans. Ceci résulte en grande partie dans le calcul de la forte pente de la droite joignant le point "Rhésus" au point "homme adulte". Or ces deux points ne sont placés qu'approximativement.

Pour l'enfant de trois ans, les réserves déjà exposées s'appliquent encore.

CONCLUSION.-

Cette détermination des tolérances de la tête de l'enfant au choc a été tentée à cause du manque de données disponibles et de la nécessité de disposer de premiers niveaux dès maintenant.

Elle peut être très améliorée de diverses façons; en particulier par des expériences sur animaux, notamment sur des animaux jeunes dont l'ossification n'est pas terminée.

Nous retenons provisoirement pour l'enfant de six ans des tolérances de la tête à l'impact voisines des minima de l'adulte.

- BIBLIOGRAPHIE -

- (1) J.H. Mc ELHANEY, R.L. STALNAKER, V.L. ROBERTS, R.G. SNYDER:

Door Crashworthiness Criteria
SAE paper 710864. Proceedings of
15th STAPP Car Crash Conference
publiés par la S.A.E.

- (2) R.L. STALNAKER, V.L. ROBERTS, J.M. Mc ELHANEY:

Side Impact Tolerance to Blunt
Trauma. S.A.E. paper 730979.
Proceedings of 17th STAPP Car
Crash Conference, publiés par la
S.A.E.

- (3) ROCHE A.F.:

Increase in cranial thickness
during growth, pp 81-92, Human
Biology, 1953, 25.

- (4) TWIESSELMANN F.:

Développement biométrique de
l'enfant à l'adulte, Presses uni-
versitaires de Bruxelles, Librairie
Maloine, Paris.

- (5) W.M. KROGMAN:

Growth of Man, Den Haag, 1941.

- (6) J.H. MC ELHANEY, R.L. STALNAKER, V.L. ROBERTS:

Biomechanical aspects of head
Injury, extrait de Human Impact
Response Measurement and simula-
tion, édité par W.F. KING et H.J.
MERTZ. Plenum Press, New-York 1973.

- (7) R.G. SNYDER:

Impact Injury Tolerances of infants
and children in free-fall. Procee-
dings de la 13ème Conférence de
l'A.A.A.M.

- (en général) H.L. LANGHAAR:

Analyse dimensionnelle et théorie
des maquettes. DUNOD, 1956.