



HAL
open science

Les traumatismes du rachis cervical et leurs conséquences dans l'accidentologie routière

François Bermond, Karine Bruyere-Garnier, Philippe Vezin

► To cite this version:

François Bermond, Karine Bruyere-Garnier, Philippe Vezin. Les traumatismes du rachis cervical et leurs conséquences dans l'accidentologie routière. 9ème Journée Nationale de Rééducation, Apr 2008, HAUTEVILLE-LOMPNES, France. pp. 20-35. hal-02461282

HAL Id: hal-02461282

<https://hal.science/hal-02461282>

Submitted on 4 Feb 2020

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.

Les traumatismes du rachis cervical et leurs conséquences dans l'accidentologie routière

11H 15 - M. François Bermond (Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs de Lyon)

François Bermond, Karine Bruyère, Philippe Vézin

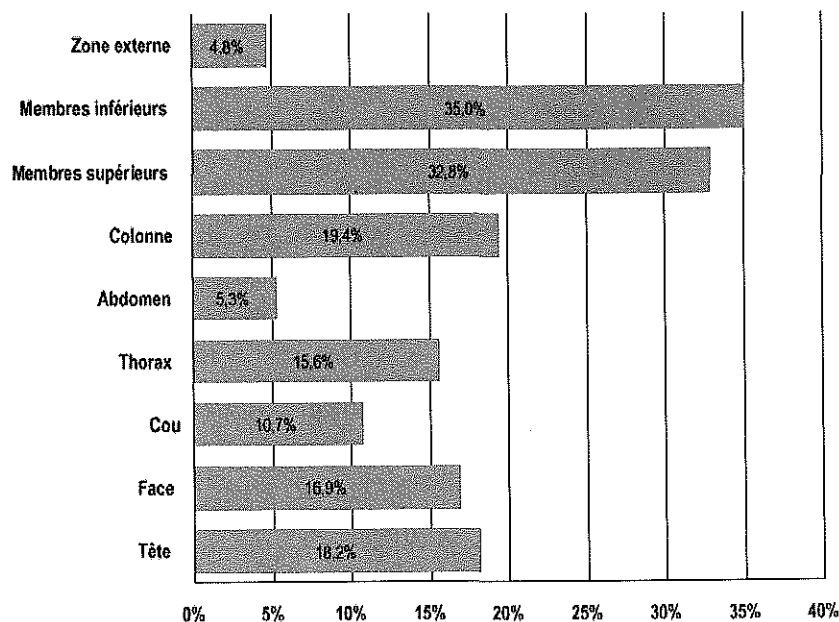
Université de Lyon, Lyon, F-69000, France
INRETS, UMR_T9406, LBMC, F-69675, Bron
Université Lyon 1, F-69622, Villeurbanne.
Email: francois.bermond@inrets.fr

Mots clés: rachis cervical, blessures traumatisme, coup du lapin, whiplash, choc arrière

Bilan sécurité routière

Le bilan de l'insécurité routière en 2006 pour la France métropolitaine s'élève à 80 309 accidents corporels, 4709 personnes tuées et 102 125 blessés dont 40 662 hospitalisés [1].

Les collisions par l'arrière sont la cause d'un accident corporel sur 10, et représente 4 % des tués. En outre pour les victimes non décédés, le cou dépasse les 10% des régions corporelles atteintes [2], [3].



Répartition des victimes non décédés selon leurs régions corporelles atteintes [3]

Suite à un accident en véhicule motorisé, les blessures du rachis cervical sont fréquemment traitées dans les salles d'urgence des hôpitaux. Le risque de blessures de même que les blessures entraînant une symptomatologie long terme survenant suite à une collision par l'arrière sont plus élevés que pour les collisions frontale ou latérale.

Pour ces raisons, nous limiterons l'analyse détaillée des événements survenant lors d'un accident en véhicule motorisé aux accidents par l'arrière.

Classification des blessures

L'Abbreviated Injury Scale (AIS) est une classification des lésions traumatiques qui décrit les blessures suivant leur localisation, leur nature et leur gravité. Ses buts sont la hiérarchisation des blessures par degré de gravité, et la standardisation de la terminologie. Sa première publication date de 1971. C'est une référence pour l'accidentologie [3], [5].

Elle se présente comme un dictionnaire des lésions fondé sur l'anatomie (territoire corporel, type de structure anatomique, structure anatomique spécifique, nature de la blessure). Chaque lésion étant affectée d'une valeur AIS de 1 à 6. Cette valeur est corrélée avec le risque de décès (à partir de 3), mais également " à la certitude du diagnostic, à la rapidité, la durée, la complexité et l'efficacité attendue de la récupération avec ou sans thérapie existante ". Les blessures sont ainsi classées : gravité mineure (AIS 1, ex: plaies et hématomes superficiels) modérée (AIS 2, ex: blessures par pénétration avec perte de tissu)

sérieuse (AIS 3, ex: blessures par pénétration avec perte de sang importante)

sévère (AIS4, ex: plaie mineure avec déficit neurologique de l'aorte carotide)

critique (AIS5, ex: plaie avec destruction massive pharynx), maximales (AIS6, ex: décapitation).

L'AIS maximum (MAIS) est l'AIS le plus élevé recensé chez un blessé ayant subi des lésions multiples.

Sur le tableau suivant le cou est un segment n'entraînant pas un score AIS très élevés mais les blessures occasionnées peuvent être lourdes de conséquences à long termes.

Gravité régionale (Nombre d'atteintes)	M.AIS 1 (N = 53 052)	M.AIS 2 (N = 11 254)	M.AIS 3 (N = 2 667)	M.AIS 4 (N = 429)	M.AIS 5 (N = 94)	Total (N = 67 496)
Tête	8,0%	26,4%	9,2%	47,1%	(61,7%)	11,5%
Face	12,7%	4,0%	0,4%	0,2%	(0,0%)	10,7%
Cou	8,5%	0,2%	0,1%	0,0%	(0,0%)	6,7%
Thorax	10,1%	6,5%	13,8%	36,4%	(7,4%)	9,8%
Abdomen	3,6%	1,7%	3,4%	11,9%	(9,6%)	3,3%
Colonne	14,1%	5,7%	3,0%	1,9%	(21,3%)	12,2%
Membres supérieurs	17,5%	34,1%	31,2%	0,0%	(0,0%)	20,7%
Membres inférieurs	21,6%	21,3%	38,8%	2,3%	(0,0%)	22,1%
Zone externe	3,8%	0,0%	0,0%	0,2%	(0,0%)	3,0%

Répartition des régions corporelle atteintes chez les victimes non décédés selon le niveau de gravité de cette atteinte régionale [3]

Définitions

Le coup du lapin [5] est un phénomène complexe rencontré chez les utilisateurs de véhicules motorisés lors d'un accident. Il n'existe pas de définition universelle du coup du lapin mais il est certain que cette appellation exclue toute fracture ou dislocation du rachis cervical. De façon générale, le coup du lapin (ou «whiplash») peut être défini comme une blessure musculaire, articulaire ou ligamentaire du conducteur ou d'un passager qui survient à la suite d'une forte accélération de la tête. Cette accélération entraîne un mouvement violent du cou sans toutefois que la tête ne subisse un traumatisme causant une perte de conscience. Ainsi, s'il y a blessure à la tête lors de l'accident, le diagnostic de traumatisme crânien est retenu. Le syndrome du coup du lapin est constitué de l'ensemble des signes et symptômes rapportés par les patients suite à un accident en véhicule motorisé. Parmi les symptômes associés au syndrome du coup du lapin, on compte la douleur aiguë et chronique au cou, à l'épaule ou au bras, la douleur à la mâchoire, les maux de tête, les troubles de l'équilibre, les problèmes oculaires, le tinnitus, les nausées, les paresthésies, la faiblesse des membres supérieurs, la douleur au bas du dos, ainsi que des troubles de la concentration, d'attention et de mémoire [6].

Pour complexifier la problématique, la majorité des blessures susceptibles de résulter d'un accident de la route demeure invisible à la radiographie conventionnelle [7] car celle-ci manque de sensibilité pour détecter ce type de blessure. En effet, la radiographie osseuse ne permet pas de visualiser les tissus mous parce que ces derniers possèdent une densité proche de l'eau et ne sont pas calcifiés.

Mécanismes de blessure

Malgré le manque d'explication clinique des symptômes rapportés par les victimes d'un coup du lapin, certains

mécanismes de blessure ont été proposés. En premier lieu, il est connu que les forces impliquées dans un accident automobile sont considérables : lors d'un impact à 13.1 km/h (1.9 g enregistré au niveau de la voiture), la tête peut subir une accélération maximale de 5 g pendant la phase d'extension cervicale [8]. Cependant, Severy et al. (1955) [8] ont montré qu'un sujet pouvait répondre différemment (accélération céphalique maximale de 2.9 g) à un impact similaire présumément grâce à une pré-tension de la musculature cervicale. Szabo et al. (1994) [9] ont rapporté qu'un impact à 15-16 km/h causant un changement de vitesse de 8 km/h du véhicule accidenté entraînait une accélération maximale variant entre 5 à 6 g. Subséquemment, l'accélération résultante maximale enregistrée au niveau de la tête variait entre 10 et 13 g. Ainsi, ces premières observations permettent de montrer que l'accélération subie par la tête peut-être de deux à trois fois supérieure à celle que subit le véhicule. De plus, ces premières observations tendent à suggérer que la musculature cervicale peut jouer un rôle lors de la stabilisation de la tête sur le tronc, du moins si elle est activée avant le début de l'impact. On a longtemps cru que les blessures subies au cou résultaient d'un mouvement d'hyperextension et/ou d'hyperflexion de la région cervicale. En fait, Ono et al. (1997) [10] ont observé qu'une accélération linéaire de 4 g entraînait un mouvement d'extension cervical d'environ 50°. Cependant, de récentes évidences scientifiques remettent en question que ce mouvement soit le seul responsable des blessures cervicales.

Avant de décrire les mécanismes de blessure possibles suite à un accident en véhicule motorisé, une description des mouvements généralement observés lors d'un tel accident s'impose. Il faut noter que la présente description des événements suite à un accident en véhicule motorisé est applicable aux passagers d'un véhicule heurté par l'arrière. D'un point de vue biomécanique, il semble que le mouvement global de la région cervicale, autant chez les cadavres que chez des sujets sains, demeure toujours à l'intérieur des limites physiologiques lors d'un accident en véhicule motorisé [11]. Globalement, lors d'un impact en véhicule motorisé par l'arrière, le corps du passager demeure immobile pendant les 20 premières millisecondes (ms). Le premier mouvement est celui des hanches et de la région lombaire qui se déplacent vers le haut et l'avant. Ce n'est qu'environ 50 ms suivant l'impact que la portion supérieure du tronc se déplace supérieurement et antérieurement [12], [13]. Le mouvement vers le haut du tronc engendre une compression du bas vers le haut du rachis cervical. Cette compression axiale au niveau du rachis cervical rendrait ce dernier plus susceptible aux blessures en diminuant sa rigidité face aux forces de cisaillement [14]. L'accélération

vers le haut subie par le cou à ce moment peut varier entre 1.0 et 1.5 g. Conséquemment, la région cervicale adopterait une courbure en « S » entre 50 et 75 ms après un impact par l'arrière en véhicule motorisé. Bien qu'à ce moment les mouvements globaux de la région cervicale n'excèdent pas les limites physiologiques, de façon segmentaire, la région cervicale basse devient alors en hyperextension alors que la région cervicale haute est en hyperflexion. Environ 120 ms suivant l'impact, le centre de gravité de la tête se situe postérieurement au tronc (par rapport à la 7e vertèbre cervicale), causant un mouvement d'extension cervicale. À ce moment, le rachis cervical adopte une posture en « C » caractéristique du mouvement d'extension cervicale. L'élévation vers le haut du tronc atteint son maximum environ 200 ms après le début de l'accélération linéaire. C'est aussi à ce moment que la tête atteint l'amplitude maximale d'extension cervicale. Dépendamment de la position de l'appui-tête et des propriétés du siège, l'angle maximal d'extension atteint par la tête peut atteindre 45°. Ensuite, le tronc, le cou et la tête redescendent pour revenir à la position initiale vers 300 ms avant d'entreprendre la phase du contrecoup. Environ 400 ms après le début de l'accélération linéaire, la tête atteint son excursion maximale vers l'avant. Ce mouvement de translation vers l'avant de la tête sera exagéré par l'application des freins après l'accident et par la présence d'une ceinture de sécurité. À ce moment, le cou est en flexion et la tête est vulnérable à un traumatisme avec le volant ou encore le tableau de bord du véhicule. Finalement, le mouvement du coup du lapin se termine entre 400 et 600 ms après l'impact initial alors que le tronc, le cou et la tête reviennent à la verticale (position initiale) tout en demeurant immobiles.

De façon générale, un mécanisme de blessure correspond à un événement particulier de la cascade d'événements survenant suite à un coup du lapin. Cet événement est identifié comme étant potentiellement dangereux en raison des contraintes biomécaniques ou neurologiques qu'il impose sur les tissus. Une brève description des mécanismes de blessure proposés précédemment dans la littérature sera effectuée dans les prochaines sections.

Hyperextension cervicale

Ce mécanisme de blessure proposé par Macnab (1966) [15] a certainement été le mécanisme le plus populaire et le plus souvent décrit. Ce mécanisme de blessure repose principalement sur le principe que, lorsque le tronc sera poussé vers l'avant suite à l'accélération du véhicule, l'inertie de la tête causera un mouvement d'hyperextension du rachis cervical. Ce mouvement excessif du rachis cervical engendrerait alors de

grandes forces de compression au niveau des structures postérieures du rachis cervical et des forces de traction au niveau des structures antérieures du rachis cervical. Les structures cervicales postérieures permettant de résister à ce mouvement d'extension sont les piliers et les surfaces articulaires et partiellement les disques intervertébraux (portion postérieure). Par contre, les structures vertébrales antérieures sont étirées par ce mouvement d'extension cervicale : musculature cervicale antérieure, le ligament longitudinal antérieur, les capsules articulaires unco-vertébrales et la portion antérieure des disques intervertébraux. C'est d'ailleurs pour éviter ce mouvement d'hyperextension cervicale que les appui-tête furent incorporés obligatoirement dans les véhicules dès 1969. Tel que mentionné précédemment, l'amplitude de mouvement global du rachis cervical dépasse rarement les limites physiologiques de mouvement suite à un accident en véhicule motorisé. Il devient alors difficile d'expliquer que la compression ou la traction des tissus vertébraux puissent engendrer une blessure alors que des mouvements d'amplitude similaire sont effectués quotidiennement sans causer de blessure. Il convient cependant de se questionner si les autres variables cinématiques quantifiant le mouvement céphalique d'extension (vitesse et accélération angulaires) sont comparables lors d'un accident automobile et lors de mouvements intentionnels du rachis cervical.

Il faut cependant noter que l'hyperextension cervicale suivant un accident en véhicule motorisé n'est pas impossible. En effet, lors d'une grande accélération linéaire vers l'avant, il est possible que le tronc du passager soit fortement poussé vers le haut et que la base du cou soit entraînée au-dessus de l'appui-tête pouvant alors causer un mouvement d'hyperextension cervicale. Aussi, il est possible que de grands sujets ou des sujets n'ajustant pas correctement leur appui-tête puisse subir une hyperextension cervicale suite à un accident en véhicule motorisé.

Flexion cervicale

Ce mécanisme de blessure surviendrait tardivement suite à l'impact par l'arrière lors de la phase du contrecoup. À ce moment, le rachis cervical adopte une posture en flexion. Cette flexion imposée du rachis cervical entraîne des forces de compression au niveau des structures antérieures et des forces de traction au niveau des structures postérieures du rachis cervical. Les structures cervicales antérieures permettant de résister à ce mouvement de flexion sont les disques intervertébraux et les corps vertébraux. Alternativement, les structures vertébrales postérieures sont étirées par ce mouvement de flexion cervicale : capsules des articulations zygapophysaires, les piliers articulaires, le ligament nucal, le ligament jaune et la musculature cervicale postérieure. Aussi, la

flexion survenant au niveau des deux premières vertèbres cervicales étirera le ligament alaire au moment où l'atlas tentera de rouler antérieurement sur l'axis. Ce mécanisme de blessure semble supporté par une observation épidémiologique suggérant que les blessures cervicales soient plus fréquentes chez les personnes portant la ceinture de sécurité [16], [17] puisque la ceinture de sécurité augmente le contre-mouvement de la tête sur le tronc lors de la phase de freinage du véhicule. De plus, Krakenes et al. (2002) [18] ont montré à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique que des sujets ayant souffert de douleurs chroniques après un coup du lapin présentaient une lésion du ligament alaire. La majorité des lésions du ligament alaire était située à la jonction cranio-vertébrale.

Forces localisées de compression et de tension entraînant des mouvements segmentaires anormaux à l'intérieur du rachis cervical

Bogduk et Yoganandan [11] ont suggéré que les blessures cervicales surviendraient pendant la phase initiale de translation relative postérieure de la tête sur le tronc. Plus précisément, il est probable que ces blessures résultent des conséquences du mouvement vers le haut de la région thoracique haute. Tel que discuté précédemment, la région cervicale dans son ensemble n'excède généralement pas les limites physiologiques de mouvement. Par contre, lorsque le rachis cervical adopte une posture en « S », la portion inférieure du rachis cervical dépasse constamment les limites physiologiques de l'extension cervicale [19]. De plus, cette rotation survient avec un axe de rotation supérieur à la normale [20], indiquant que la vertèbre ne subit aucune translation. Plutôt, le mouvement des vertèbres cervicales inférieures est une extension pure; conséquence du mouvement vers le haut du thorax. En raison de ce mouvement anormal, les éléments vertébraux antérieurs effectuent une rotation vers le haut alors que les éléments vertébraux postérieurs, une rotation vers le bas. La rotation vers le haut des éléments antérieurs entraîne une séparation anormale des corps vertébraux antérieurs pouvant causer des lésions discales (étirement ou avulsion), unco-articulaires ou ligamentaires. La rotation vers le bas des éléments postérieurs amène les facettes articulaires à s'impacter une dans l'autre due à l'absence du glissement zygapophysaire. Cette impaction zygapophysaire survient dans les 100 premières ms suivant un impact en véhicule motorisé et pourrait causer une hémorragie intra-articulaire, une fissure du cartilage articulaire, une fracture des processus articulaires ou une lésion des méniscales intra-articulaires. Ces lésions ayant toutes été identifiées lors d'études post-mortem de victimes d'un accident de la route [11]. Les études cliniques semblent suggérer que les lésions articulaires zygapophysaires soient le générateur principal de

douleur chronique suite à un coup du lapin [21] puisqu'une injection zygapophysaire diminue les symptômes ressentis par les patients victimes d'un accident en véhicule motorisé.

Un rapport récent publié par l'Insurance Institute for Highway Safety (2002) [22] tend aussi à confirmer indirectement l'hypothèse que les blessures cervicales surviennent lors la phase initiale de translation relative postérieure de la tête sur le tronc. En effet, ce rapport rapporte une diminution des réclamations pour une blessure cervicale allant de 18 à 49% chez les utilisateurs de véhicules possédant un système d'appui-tête actif.

Pression à l'intérieur du canal rachidien

La première suggestion de ce mécanisme de blessure fait suite aux études chez des porcs anesthésiés qui furent soumis à des accélérations linéaires de la tête [23]. Les auteurs ont observé que la pression pulsatile du liquide céphalo-rachidien augmentait jusqu'à dix fois la normale suite à une accélération céphalique due à l'absence de compressibilité de ce liquide. Lors d'un accident automobile, l'augmentation de la pression du liquide céphalo-rachidien surviendrait principalement lors de la translation relative vers l'arrière de la tête sur le tronc. Une telle augmentation de la pression du liquide céphalo-rachidien a été identifiée lors de la phase de rétraction relative de la tête sur le tronc chez des cadavres humains [24]. De plus, Svensson et al. (1993) [23] ont observé, conjointement à l'augmentation de la pression à l'intérieur du canal spinal, des lésions au niveau des ganglions spinaux de la racine dorsale chez les porcs. Ces observations amenèrent Boström et al. (1996) [25] à proposer un indice, le «neck injury criterion» (NIC), permettant de prédire la présence d'une blessure cervicale suite à un accident en véhicule motorisé. Nous reviendrons plus en détail sur ce critère dans la prochaine section.

Chez l'humain, le liquide céphalo-rachidien est contenu dans les ventricules cérébraux mais aussi dans l'espace sous-arachnoïdien, tant au niveau du cerveau que de la moelle épinière. L'espace sous-arachnoïdien est compris entre la pie-mère et l'arachnoïde, enveloppe tapissant la face interne de la dure-mère (enveloppe attachée à l'os). Les ganglions spinaux de la racine dorsale sont contenus dans des extensions distales de la dure-mère qui devient alors contiguë avec l'épinièvre, fascia recouvrant les nerfs. Ainsi, le liquide céphalo-rachidien au niveau de la moelle épinière se retrouve dans ces extensions distales de la dure-mère. Il est alors possible que, chez l'humain, des lésions des ganglions spinaux de la racine dorsale soient causées par une augmentation de la pression du liquide céphalo-rachidien qui martèlerait en quelque sorte le ganglion spinal. Les ganglions spinaux sont des générateurs importants de douleur lorsqu'ils sont comprimés ou étirés [26] et pourraient

ainsi contribuer aux douleurs fréquemment ressenties par les victimes d'un accident en véhicule motorisé.

Entorse musculaire

Bien que certains auteurs considèrent que la contraction musculaire survient trop tard lors d'un accident d'automobile pour générer une force stabilisant la tête sur le tronc [11], les études chez l'humain montrent que les réponses musculaires suivant un accident en véhicule motorisé surviennent entre 75 et 125 ms après le début de l'accélération linéaire [27]. Certains auteurs ont aussi argumenté que le temps nécessaire au muscle pour atteindre sa force maximale (60 à 70 ms après le début de l'activité musculaire) était trop long [28]. D'un autre point de vue, Severy et al. (1955) [8] et Ono et al. (1997) [10] ont montré que la musculature pouvait protéger le rachis cervical en limitant les mouvements cervicaux si elle était activée avant le début de l'accélération linéaire. De plus, Brault et al. (2000) [29] ont montré que, lorsque l'activité des muscles cervicaux débutait, la tête était dans la phase de translation relative postérieure par rapport au tronc. Ainsi, la musculature cervicale antérieure, et plus particulièrement le sternocleidomastoïdeus, subirait une contraction excentrique lors d'un accident en véhicule motorisé. Ce type de contraction pourrait résulter en une entorse de la musculature cervicale puisque les muscles sont plus vulnérables aux blessures lors de contractions excentriques [30]. En outre, il a été montré que les muscles cervicaux étaient les structures les moins résistantes à l'étirement [31]. Ceci amena Kumar et al. (2002) [32] à suggérer que les muscles étaient le maillon faible parmi toutes les structures du rachis cervical. Kumar et al. (2002) [32] ont aussi montré que l'activité électrique musculaire lors d'une accélération linéaire pouvait dépasser celle enregistrée lors d'une force isométrique maximale. Ainsi, étant donné le mode de contraction lors d'un accident de la route, il est permis de spéculer que non seulement l'activité électrique musculaire sera plus grande lors d'un tel mouvement mais aussi que le délai électromécanique sera inférieur à celui mesuré pour d'autres types de contraction [33].

Certains indices permettent de croire que ces blessures sont fréquentes à la suite d'accident automobile. En effet, l'apparition retardée des symptômes fréquemment observée chez les victimes d'un coup du lapin suggère la présence d'une blessure musculaire excentrique qui peut prendre quelques jours avant de se manifester. Par contre, les lésions musculaires guérissent d'elles-mêmes généralement à l'intérieur d'une période de 30 jours. Il devient alors difficile d'expliquer par une lésion musculaire les douleurs chroniques ressenties par les personnes victimes d'un accident en véhicule motorisé.

Seuil des blessures cervicales

Une des thématiques importantes concernant le coup du lapin consiste à identifier s'il existe un seuil relatif ou absolu pour lequel tous les sujets développeraient des douleurs cervicales suivant un accident en véhicule motorisé. La prémisse soutenant cette idée est que la blessure survenant au niveau des tissus cervicaux est indépendante de la réponse posturale des sujets.

En premier lieu, il existe certaines études épidémiologiques qui nous fournissent un aperçu général de l'impact requis pour créer une blessure. Une première étude suggère que 69% des blessures légères au rachis cervical surviennent lors de changements de vitesse de moins de 20 km/h [34]. Une seconde étude a montré que près de 70% des blessures surviendraient lors d'impact impliquant un changement de vitesse de 15 km/h et moins [35]. Une deuxième partie de la réponse se trouve dans les études qui ont été effectuées chez l'humain à la suite desquelles certains sujets ont ressenti des malaises cervicaux après avoir été soumis à des accélérations présumément trop élevées.

De façon générale, ces études suggèrent que les impacts inférieurs à 10 km/h peuvent causer des problèmes mineurs et de courte durée et que le seuil pour les blessures plus sérieuses devrait être supérieur à 10 km/h.

D'autres auteurs ont tenté d'établir soit un critère fixe, soit une combinaison de facteurs pouvant causer l'apparition de symptômes suivant un accident en véhicule motorisé. Ici, nous présenterons des modèles qui jettent un éclairage différent sur la problématique du seuil de blessure suivant un accident automobile.

Les critères de blessure cervicale : NIC, Nij et Nkm

le «neck injury criterion» (NIC)

$$NIC = 0.2a_{rel} + v_{rel}^2$$

Dans cette équation, a_{rel} et v_{rel} représente respectivement l'accélération linéaire et la vitesse linéaire relatives entre la première vertèbre thoracique et l'occiput. La constante 0.2 représente la longueur totale du cou moyen chez l'humain. Cet indice doit être calculé lorsque la rétraction relative de la tête sur le tronc est maximale. En fonction de ce critère, Boström et al. (1996) [25] ont suggéré que pour éviter des conséquences à long terme, une valeur du NIC inférieure à 15 m²/s² devait être respectée. Tel que construit, le NIC présume que la blessure suite à un coup du lapin survient lors de la phase de rétraction relative de la tête sur le tronc. Ainsi, si un sujet subit une blessure suite à une hyperextension ou à une hyperflexion du

rachis cervical (même si cela est peu fréquent), le NIC ne permettra probablement pas de la prédire.

Un second critère, le Nij, est un critère non-spécifique combinant les forces axiales et les moments de flexion-extension survenant lors d'un coup du lapin. Voici l'équation pour calculer le Nij :

$$N_{ij} = \frac{F_z(t)}{F_{int}} + \frac{M_y(t)}{M_{int}}$$

Dans cette équation, Fz représente la force axiale et My le moment de force agissant sur le rachis cervical. Fint et Mint sont des constantes qui varient en fonction de la taille du mannequin.

Finalement, le troisième critère, le Nkm, fut élaboré selon la prémisse que la présence combinée de forces de cisaillement et de moments de rotation était nécessaire pour causer une blessure cervicale. Voici l'équation pour calculer le Nkm :

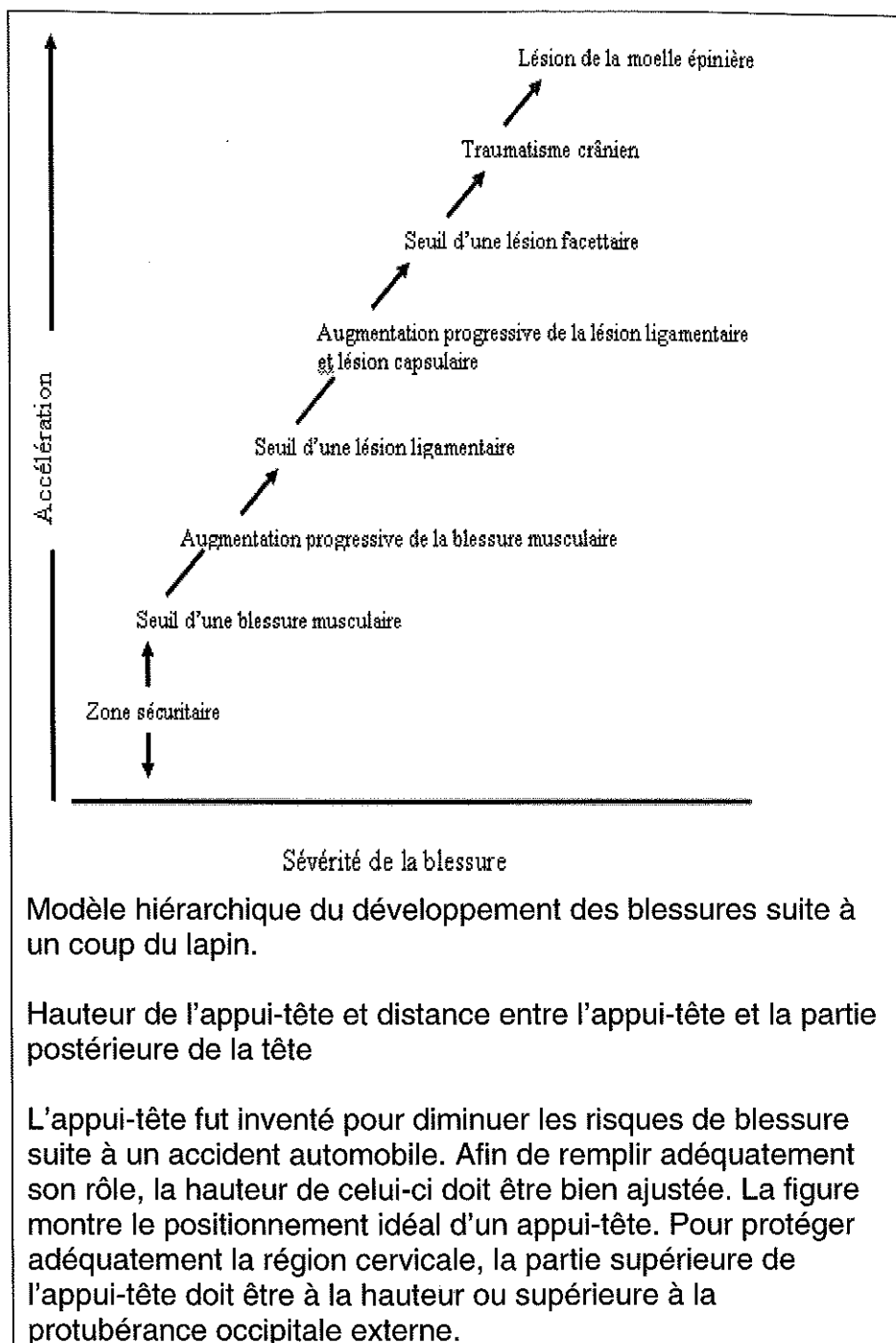
$$N_{km} = \frac{F_x(t)}{F_{int}} + \frac{M_y(t)}{M_{int}}$$

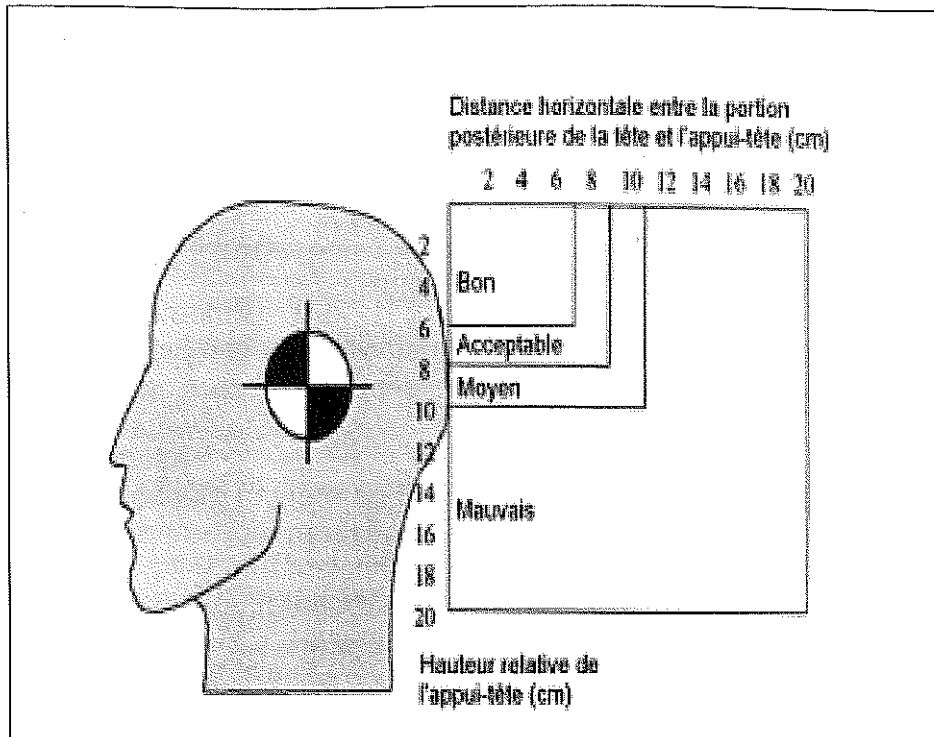
Dans cette équation, Fx représente la force de cisaillement axiale cervicale et My le moment de force agissant sur le rachis cervical. Tout comme pour l'équation 2, Fint et Mint sont des constantes qui dépendent de la taille du mannequin. Ce critère fut élaboré pour être utilisé lors de la phase de rebond de la tête.

Ces deux critères de blessure cervicale (Nij et Nkm) n'ont pas été validés expérimentalement.

Modèle de Kumar

À la lumière de ces analyses, les auteurs ont suggéré que les blessures survenant suite à un accident en véhicule motorisé étaient complexes et progressives. Bien que Kumar et al. (2002) [32] n'aient pas identifié de seuil précis pour lequel surviendrait chacune des blessures observées chez les victimes d'un coup du lapin, ils ont tout de même proposé un modèle hiérarchique reliant ces blessures à l'accélération subie lors de l'accident





Positionnement adéquat de l'appui-tête.

Cette figure illustre deux paramètres importants afin de bien ajuster l'appui-tête d'un véhicule motorisé : la hauteur de l'appui-tête et la distance horizontale entre la partie postérieure de la tête et l'appui-tête.

Conclusion

En résumé, il n'existe pas de consensus concernant le ou les mécanismes entraînant les blessures suite à un coup du lapin. Certaines observations semblent suggérer un certain mécanisme de blessure alors que d'autres semblent infirmer ce même mécanisme. Cependant, les mécanismes de blessure cités précédemment suggèrent qu'une ou plusieurs structures puissent être lésées suite à un accident en véhicule motorisé. Lorsqu'une fracture vertébrale ou une lésion neurologique importante survient, il est possible de l'identifier à l'examen clinique ou lors d'examens spécialisés (radiologie, imagerie par résonance magnétique ou tomographie axiale). Dans ces cas particuliers, la relation entre la symptomatologie du patient et la blessure identifiée subie lors de l'accident est facile à déterminer. La difficulté survient lorsque les victimes d'un accident en véhicule motorisé se présentent avec plusieurs symptômes alors qu'aucune blessure n'est identifiable comme c'est le cas des blessures de tissus mous (muscles, ligaments, capsules zygapophysaires, disques intervertébraux). Ces personnes peuvent présenter une pléiade de symptômes difficilement liés à la blessure subie. De plus, les gens victimes d'un accident en véhicule motorisé peuvent développer un ou

plusieurs symptômes de façon plus ou moins tardive; une partie de cette population demeurera même asymptomatique pendant plusieurs années avant de présenter une quelconque symptomatologie. Bien que toutes ces victimes d'accident de la route aient subi un traumatisme de la région cervicale, l'origine exacte de leur problème demeure obscure en plus de varier entre les individus.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier J.S Blouin [5] pour sa production scientifique qui a contribué à l'écriture de ce papier.

Références :

- [1] La sécurité routière en France, Bilan de l'année 2006, édition la documentation française.
- [2] Laumon B., Le registre du Rhône des victimes d'accidents de la circulation routière, rapport UMRETTE N°0302 Février 2003
- [3] Laumon B., Recherches coordonnées sur les traumatismes consécutifs à un accident de la circulation routière et sur les causes et leur conséquences, Rapport final Predit 1996 – 2000, rapport UMRETTE N°0205 Septembre 2002
- [4] AIS : Abbreviated Injury Scale, d'après l'AAAM (Association for the Advancement of Automotive Medicine) The Abbreviated Injury Scale, 1990 Revision. AAAM, des Plaines, IL, USA, 1990
- [5] Blouin J.S., Mécanismes de stabilisation de la tête sur le tronc en posture assise. Contribution réflexe, cognitive et adaptabilité de ces mécanismes , Ph.D., Université Laval, Doctorat en kinésiologie, 2004
- [6] Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, Cassidy JD, Duranceau J, Suissa S, Zeiss E (1995) Scientific monograph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders: redefining "whiplash" and its management. Spine 20: 1S-73S
- [7] Taylor JR, Kakulas BA (1991) Neck injuries. Lancet 338: 1343
- [8] Severy DM, Mathewson JH, Bechtol CO (1955) Controlled automobile rear-end collisions. An investigation of related engineering and medical phenomena. Can Services Med J 11: 727-759
- [9] Szabo TJ, Welcher JB, Anderson RD, Rice MM, Ward JA, Paulo LR, Carpenter NJ (1994) Human occupant kinematic response to low speed rear-end impacts. Proceedings 38th Stapp Car Crash Conference: 23-35
- [10] Ono K, Kaneoka K, Wittek A, Kajzer J (1997) Cervical injury mechanism based on the analysis of human cervical vertebral motion and head-neck-torso kinematics during low speed rear impacts. Proceedings 41st Stapp Car Crash Conference: 339-355
- [11] Bogduk N, Yoganandan N (2001) Biomechanics of the cervical spine Part 3: minor injuries. Clin Biomech 16: 267-275

- [12] McConnell WE, Howard RP, Guzman HM, Bomar JB, Raddin JH, Benedict JV, Smith HL, Hatsell CP (1993) Analysis of human test subject kinematic responses to low velocity rear end impacts. Proceedings 37th Stapp Car Crash Conference: 21-30
- [13] McConnell WE, Howard RP, Poppel JV, Krause R, Guzman HM, Bomar JB, Raddin JH, Benedict JV, Hatsell CP (1995) Human head and neck kinematics after low velocity rear-end impacts - understanding 'whiplash'. Proceedings 39th Stapp Car Crash Conference: 215-238
- [14] Watanabe Y, Ichikawa H, Kayama O, Ono K, Kaneoka K, Inami S (2000) Influence of seat characteristics on occupant motion in low-speed rear impacts. *Accid Anal Prev* 32: 243-250
- [15] Macnab I (1966) Whiplash injuries of the neck. *Manit Med Rev* 46: 172-174
- [16] Macnab I (1971) The whiplash syndrome. *Orthop Clin North Am* 2: 389
- [17] Mulhall KJ, Moloney M, Burke TE, Masterson E (2003) Chronic neck pain following road traffic accidents in an Irish setting and it's relationship to seat belt use and low back pain. *Ir Med J* 96: 53-54
- [18] Krakenes J, Kaale BR, Moen G, Nordli H, Gilhus NE, Rorvik J (2002) MRI assessment of the alar ligaments in the late stage of whiplash injury--a study of structural abnormalities and observer agreement. *Neuroradiology* 44: 617-624
- [19] Panjabi MM, Cholewicki J, Nibu K, Babat LB, Dvorak J (1998) Simulation of whiplash trauma using whole cervical spine specimens. *Spine* 23: 17-24
- [20] Kaneoka K, Ono K, Inami S, Hayashi K (1999) Motion analysis of cervical vertebrae during whiplash loading. *Spine* 24: 763-769
- [21] Lord SM, Barnsley L, Wallis BJ, Bogduk N (1996) Chronic cervical zygapophysial joint pain after whiplash. A placebo-controlled prevalence study. *Spine* 21: 1737-1744
- [22] Insurance Institute for Highway Safety (2002) Improved seat/head restraint designs are reducing insurance claims for neck injuries in rear-end crashes. *Status Report* 37: 1-3
- [23] Svensson MY, Aldman B, Lövsund P, Hansson HA, Seeman T, Suneson A, Örtengren T (1993) Pressure effects in the spinal canal during whiplash extension motion - a possible cause of injury to the cervical spinal ganglia. Proceedings of the International IRCOBI Conference on the biomechanics of impacts: 189-200
- [24] Eichberger A, Darok M, Steffan H, Leinzinger PE, Bostrom O, Svensson MY (2000) Pressure measurements in the spinal canal of post-mortem human subjects during rear-end impact and correlation of results to the neck injury criterion. *Accid Anal Prev* 32: 251-260
- [25] Boström O, Svensson MY, Aldman B (1996) A new neck injury criterion candidate - based on injury findings in the

cervical spine ganglia after experimental neck extension trauma. Proceedings of the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Injury: 123-136

[26] Henderson CNR (1995) Three neurophysiologic theories on the chiropractic subluxation. In: Gatterman MI (ed) Mosby, St-Louis, MO, pp 225-233

[27] Siegmund GP, Sanderson DJ, Inglis JT (2002) The effect of perturbation acceleration and advance warning on the neck postural responses of seated subjects. Exp Brain Res 144: 314-321

[28] Yoganandan N, Pintar FA, Kleinberger M (1999) Whiplash injury. Biomechanical experimentation. Spine 24: 83-85

[29] Brault JR, Siegmund GP, Wheeler JB (2000) Cervical muscle response during whiplash: evidence of a lengthening muscle contraction. Clin Biomech 15: 426-435

[30] Friden J (1984) Changes in human skeletal muscle induced by long-term eccentric exercise. Cell Tissue Res 236: 365-372

[31] Yamada H (1973) Strength of biological materials. Robert E. Krieger, Huntington, New York

[32] Kumar S, Narayan Y, Amell T (2002) An electromyographic study of low-velocity rear-end impacts. Spine 27: 1044-1055

[33] Herzog W (1994) Muscle. Biomechanics of the musculoskeletal system. In: Nigg BM, Herzog W (eds) John Wiley & Sons, pp 154-187

[34] Hell W, Langweider K, Waltz F, Muser M, Kramer M, Hartwig E (1999) Consequences for seat design due to rear-end accident analysis, sled tests and possible test criteria for reducing cervical spine injuries after rear-end collisions. Proceedings of the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts: 243-259

[35] Croft AC, Herring P, Freeman MD, Haneline MT (2002) The neck injury criterion: future considerations. Accid Anal Prev 34: 247-255