ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE MÉCANIQUE
M.Ing.

PAR
BERGEVIN, Éric

ÉVALUATION D'UN APPAREIL DE MESURE DES APPUIE-TÊTE EN VUE DE L'APPLICATION DE RÈGLEMENTS

MONTRÉAL, LE 20 MAI 2009

© Éric Bergevin, 2009

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Philippe Bocher, directeur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

Mme Nicola Hagemeister, présidente du jury
Département de génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

Mme Sylvie Nadeau, membre du jury
École de technologie supérieure

M. Jean Arteau, membre du jury
École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 23 AVRIL 2009

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

En premier lieu, j'aimerais remercier Transports Canada pour le financement de cette recherche dans le cadre de l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête à la Commission économique pour l'Europe des Nations unies.

Je tiens également à remercier Monsieur John Gane de l'« Insurance Corporation of British Columbia (ICBC) » qui a fourni ses aménagements pour effectuer les essais ainsi que l'utilisation d'une machine tridimensionnelle point H et de deux (2) appareils de mesure des appuie-tête.

Des remerciements particuliers s'adressent également à Madame Jocelyn Pedder, Monsieur Dave Hillebrandt et Claire McDonald de RONA Kinetics ltd pour leur expertise et l'élaboration de la logistique du projet de recherche, et sans qui, cette étude n'aurait probablement pas été possible.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Julie Deschatelets et Monsieur Jason Goto pour leur participation dans la prise des mesures.

Finalement, j'aimerais remercier mon directeur de recherche, Monsieur Philippe Bocher, pour sa patience, ses conseils, ses encouragements et son aide précieuse lors de la rédaction du mémoire.

ÉVALUATION D'UN APPAREIL DE MESURE DES APPUIE-TÊTE EN VUE DE L'APPLICATION DE RÈGLEMENTS

BERGEVIN, Éric

RÉSUMÉ

Le présent mémoire a pour objectif d'évaluer la fiabilité de l'appareil de mesure des appuie-tête (AMAT) et sa procédure d'utilisation. Lorsqu'il est utilisé conjointement avec OSCAR, la machine tridimensionnelle point H, un instrument permettant de reproduire la posture assise d'un occupant dans un siège automobile, l'AMAT permet de mesurer les dimensions statiques d'un appuie-tête.

Ce mémoire passe en revue l'historique de cette invention, l'évolution de son processus de fabrication, ses tolérances dimensionnelles de fabrication, son appréciation sur le plan mondial, ses lacunes et ses limitations. Le mémoire présente aussi les résultats d'une analyse de répétabilité et de reproductibilité dans laquelle quatre (4) opérateurs sont appelés à mesurer huit (8) véhicules à sept (7) reprises.

Cet ouvrage permet de dresser certains constats et précise les conditions pour permettre l'utilisation de cet instrument de mesure, notamment au niveau de la procédure d'utilisation. Il conclut que l'AMAT est fabriquée avec des tolérances dimensionnelles strictes et représente un moyen suffisamment précis et reproductible de mesurer la position statique des appuie-tête pour être utilisé dans la réglementation.

MOTS-CLÉS : Appareil de mesure des appuie-tête (AMAT) / Appuie-tête / Coup de fouet cervical / Retrait

ÉVALUATION D'UN APPAREIL DE MESURE DES APPUIE-TÊTE EN VUE DE L'APPLICATION DE RÈGLEMENTS

BERGEVIN, Éric

ABSTRACT

The purpose of this Master's thesis is to verify the reliability of the Head Restraint Measuring Device (HRMD). When used in combination with the OSCAR three-dimensional H-point machine, an instrument used to reproduce the seating posture of a vehicle occupant, the HRMD allows static measurement of a head restraint.

This paper provides a historical review of the HRMD and scrutinises its manufacturing specifications and dimensional tolerances, its worldwide appreciation, its deficiencies and limitations. It presents data from the results of a recent repeatability and reproducibility study that was completed by four (4) operators on a sample of eight (8) vehicles.

The paper identifies some limitations of the device and sources of measurement variability. It concludes that the HRMD is manufactured to strict dimensional tolerances and represents a sufficiently accurate and repeatable means of measuring the static position of head restraints and could be used for regulatory purposes.

KEYWORDS: Backset / Head Restraint / Head Restraint Measuring Device (HRMD) / Whiplash

TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE 1
1.1 Problématique 1
1.1.1 Le rôle de l'appuie-tête pour la prévention des blessures 1
1.1.1.1 Notions d'anatomie 2
1.1.1.2 La cinétique de l'occupant lors du coup de fouet cervical 9
1.1.1.3 La pathologie du coup de fouet cervical 11
1.1.1.4 Mécanisme de blessure du coup de fouet cervical 12
1.1.1.5 Les coûts liés à la pathologie du coup de fouet cervical 14
1.1.2 Les exigences gouvernementales actuelles pour les appuie-tête 15
1.1.2.1 Nouveau règlement américain sur les appuie-tête (NHTSA, 2005) 16
1.1.2.2 Élaboration d'un règlement mondial sur les appuie-tête 16

CHAPITRE 2 MISE EN SITUATION ET PRÉSENTATION DU PLAN DE TRAVAIL 24
2.1 Mise en situation 24
2.2 Plan de travail 24

CHAPITRE 3 ENTREVUE AVEC LES INVENTEURS DE L'AMAT 26
3.1 Contexte de l'invention 26
3.2 Élaboration du prototype 27
3.2.1 Description de l'AMAT 28
3.3 Le support de l'AMAT : La machine tridimensionnelle point H 29
3.3.1 La machine tridimensionnelle de type OSCAR 29
3.3.1.1 Deux modèles OSCAR sur le plan mondial 30
3.3.1.2 Le futur d'OSCAR 31
3.3.2 La machine tridimensionnelle de type ASPECT 32
3.4 Expansion démographique de l'AMAT sur le plan mondial 34
3.4.1 Harmonisation des procédures d'utilisation de l'AMAT 34
3.4.2 Changement de vocation de l'AMAT 35
3.5 Évolution manufacturière de l'AMAT 35
3.5.1 Dimensions de l'AMAT 35
3.5.2 Masse de l'AMAT 38
3.5.3 Matériaux et évaluation des procédés de fabrications de l'AMAT 38
3.5.4 Modifications à la sonde pour mesurer le retrait 40
3.5.5 Contrôle de la qualité du produit final 40
3.6 Imitations du HMRD 41
3.7 Gabarit d'étalonnage GLORIA 43

CHAPITRE 4 PROCÉDURES, RÉSULTATS, RÉPÉTABILITÉ ET REPRODUCTIBILITÉ 46
4.0 Mise en contexte 46
4.1 Opérateurs 47
4.2 Choix des véhicules 47
4.3 Séquence des mesures 49
4.3.1 Exclusion de la variabilité entre combinaisons d'OSCAR-AMAT 51
4.3.2 Exclusion de la variabilité de fabrication des sièges 52
4.3.3 Exclusion de la variabilité dans le réglage des sièges 52
4.4 Préparations, manipulations et mesures 52
4.4.1 Préparation des combinaisons OSCAR-AMAT 52
4.4.2 Préparation du véhicule et du siège à mesurer 53
4.4.3 Manipulations d'un opérateur pour une série de mesures 54
4.4.3.1 Installation d'OSCAR dans le siège 55
4.4.3.2 Installation de l'AMAT sur OSCAR 56
4.4.3.3 Mesure de la hauteur et du retrait 57
4.5 Traitement des données 58
4.5.1 Répétabilité obtenue par les opérateurs 60
4.5.1.1 Répétabilité de la mesure de la hauteur 60
4.5.1.2 Répétabilité de la mesure du retrait 65
4.5.2 Reproductibilité obtenue par les opérateurs 69
4.5.2.1 Reproductibilité de la mesure de la hauteur 72
4.5.2.2 Reproductibilité de la mesure du retrait 74

CHAPITRE 5 SYNTHÈSE DES DISCUSSIONS 77
5.1 Sources d'erreurs 77
5.1.1 Tolérance de l'angle de torse d'OSCAR 77
5.1.2 Difficultés avec la forme du siège et le revêtement 77
5.1.2.1 Forme du siège 78
5.1.2.2 Siège de cuir 79
5.1.3 Force sur la sonde de retrait 80
5.1.4 Force à exercer sur l'assise d'OSCAR lors de son positionnement 81
5.1.5 Température et humidité 83
5.1.6 Comportement des sièges neufs ou usagés 83
5.1.7 Temps de repos entre les séries de mesures 83
5.1.8 Réglage du siège pour l'installation d'OSCAR 84
5.1.8.1 Réglage longitudinal du siège 84
5.1.8.2 Réglage vertical du siège 85
5.1.8.3 Réglage de l'angle du dossier de siège 85
5.1.9 Étalonnage de la combinaison OSCAR-AMAT 87
5.2 Retour sur les résultats de l'étude pour le retrait 87

CONCLUSION 90

RECOMMANDATIONS 92

ANNEXE I FORMULAIRE DE L'IDENTIFICATION DU VÉHICULE 94

ANNEXE II FORMULAIRE DE COLLECTE DES DONNÉES 95

ANNEXE III RÉSULTATS COMPLETS DE L'ESSAI 96

LISTE DE RÉFÉRENCES 104

BIBLIOGRAPHIE 110

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 Résultats initiaux de mesures du retrait présentés à l'UNECE 23

Tableau 4.1 Résultats de retrait moyen obtenus sur l'ensemble des véhicules 59

Tableau 4.2 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 1 61

Tableau 4.3 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 2 61

Tableau 4.4 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 3 62

Tableau 4.5 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 4 62

Tableau 4.6 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 5 63

Tableau 4.7 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 6 63

Tableau 4.8 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 7 64

Tableau 4.9 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 8 64

Tableau 4.10 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 1 65

Tableau 4.11 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 2 66

Tableau 4.12 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 3 66

Tableau 4.13 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 4 67

Tableau 4.14 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 5 67

Tableau 4.15 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 6 68

Tableau 4.16 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 7 68

Tableau 4.17 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 8 69

Tableau 4.18 Variation de l'angle de torse lors des mesures de hauteur et de retrait..... 71

Tableau 4.19 Effet de l'angle de torse sur les mesures de hauteur et de retrait..... 72

Tableau 4.20 Variabilité de la hauteur en fonction du nombre d'itérations 73

Tableau 4.21 Erreur type de la hauteur en mm pour divers écarts types 74

Tableau 4.22 Variabilité du retrait en mm en fonction du nombre d'itérations 75

Tableau 4.23 Erreur type du retrait à divers écarts types..... 76

Tableau 5.1 Comparaison des résultats entre des machines OSCAR ISO et OSCAR SAE..... 82

Tableau 5.2 Résultats obtenus par les participants à l'élaboration du règlement technique mondial sur les appuie-tête avant et après les recommandations de la présente étude..... 88

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Plans anatomiques. 2

Figure 1.2 Vue antérieure et vue latérale droite de la colonne vertébrale. 4

Figure 1.3 Vue postérieure et vue latérale gauche des vertèbres. 6

Figure 1.4 Plan transverse d'une vertèbre cervicale sans disque intervertébral. 6

Figure 1.5 Plan transverse d'une vertèbre cervicale avec disque intervertébral. 7

Figure 1.6 Le segment mobile rachidien. 8

Figure 1.7 Extension du cou (à gauche) et flexion du cou (à droite). 9

Figure 1.8 Mouvement initial du cou et de la tête lors d'une collision arrière 10

Figure 1.9 Mouvement du cou et de la tête lors du rebond d'une collision arrière. 11

Figure 1.10 Blessure par compression ou écrasement des disques intervertébraux. 13

Figure 1.11 Blessure causée par hyperextension cervicale. 14

Figure 1.12 Guide d'évaluation géométrique des appuie-tête. 21

Figure 3.1 Photographie de l'AMAT d'ICBC 28

Figure 3.2 Photographie d'une machine tridimensionnelle point H de type OSCAR. ... 30

Figure 3.3 Photographie d'une machine tridimensionnelle point H de type ASPECT... 32

Figure 3.4 Photographie du « Belt-Fit Test Device »..... 33

Figure 3.5 Vue de profil de la tête de l'AMAT..... 37

Figure 3.6 Vue de face de la tête de l'AMAT..... 37

Figure 3.7 Gabarit d'étalonnage de l'AMAT..... 41

Figure 3.8 Plaque d'identification apposée par RONA Kinetics..... 42

Figure 3.9 AMAT avec tête en plastique..... 42

Figure 3.10 AMAT avec sonde de mesure du retrait sans échelle graduée..... 43

Figure 3.11 AMAT sans mécanisme de serrage..... 43

Figure 3.12 Gabarit d'étalonnage GLORIA..... 45

Figure 4.1 Liste des véhicules pour l'étude..... 48

Figure 4.2 Photos des sièges de chacun des huit (8) véhicules..... 49

Figure 4.3 Matrice de l'essai..... 50

Figure 4.4 Positionnement du siège..... 54

Figure 4.5 Ajustement du dossier de siège..... 54

Figure 4.6 Pose de la mousseline. 54

Figure 4.7 Installation d'OSCAR. 54

Figure 4.8 Combinaison OSCAR-AMAT avec inclinomètre. 57

Figure 4.9 Mesure de la hauteur et du retrait avec les deux sondes de l'AMAT. 58

Figure 4.10 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 1. 61

Figure 4.11 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 2. 61

Figure 4.12 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 3. 62

Figure 4.13 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 4. 62

Figure 4.14 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 5. 63

Figure 4.15 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 6. 63

Figure 4.16 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 7 64

Figure 4.17 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 8. 64

Figure 4.18 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 1. 65

Figure 4.19 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 2. 66

Figure 4.20 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 3. 66

Figure 4.21 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 4. 67

Figure 4.22 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 5. 67

Figure 4.23 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 6. 68

Figure 4.24 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 7. 68

Figure 4.25 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 8. 69

Figure 5.1 Basculement d'OSCAR sur le siège. 78

Figure 5.2 Dynamomètre. 80

Figure 5.3 Utilisation d'un dynamomètre pour la sonde du retrait. 81

Figure 5.4 Poussoir à ressort calibré situé sur l'assise d'OSCAR SAE. 81

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AMAT	Appareil de mesure des appuie-tête
CEE	Commission économique pour l'Europe des Nations unies
ICBC	Insurance Corporation of British Columbia
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety
ISO	International Organization for Standardization
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
NRMA	National Roads and Motorist Association
OICA	Organisation internationale des constructeurs d'automobiles
RCAR	Research Council for Automotive Repairs
SAE	Society of Automotive Engineers
THATCHAM	Centre de recherche de réparation en assurance automobile
UMTRI	University of Michigan Transportation Research Institute
WP 29	Forum mondial de l'harmonisation des règlements concernant les véhicules

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

cm	centimètre
kg	kilogramme
mm	millimètre
N	Newton

DÉFINITIONS DES TERMES

Angle de torse : Angle mesuré entre la ligne verticale passant par le point H et l'axe de la tige de la machine tridimensionnelle point H lorsque la tige est totalement en appui vers l'arrière.

Appareil de mesure des appuie-tête (AMAT) : Appareil de mesure des appuie-tête conçu et développé par ICBC et RONA Kinetics.

Biofidèle : Se dit de ce qui se comporte comme un être humain.

Dispositif anthropomorphe d'essai : Réplique taille réelle d'un être humain, lestée et articulée de manière à simuler le comportement d'un corps humain. Il est équipé d'instruments permettant d'enregistrer autant de données que possible lors d'essais de collisions, comme l'accélération et la force d'impact de différentes parties du corps lors d'un choc.

Dispositif anthropomorphe d'essai « bioRID » : Mannequin d'homme de stature moyenne développé en Europe pour évaluer la possibilité de syndrome cervical dans les chocs arrière à basse vitesse.

Dispositif anthropomorphe d'essai « Hybrid III » : Mannequin conçu pour étudier les essais de chocs frontaux. Ce mannequin est le plus utilisé à l'échelle mondiale.

Écart type : Mesure de la dispersion d'une série d'observations statistiques par rapport à leur moyenne, qui s'obtient en extrayant la racine carrée de la variance.

Erreur type : Écart type de la distribution des erreurs autour de la valeur vraie, ces erreurs étant dues aux fluctuations aléatoires des échantillons.

Étendue : Écart entre la plus petite et la plus grande des valeurs observées.

Homme adulte du 50^{e} centile : L'homme adulte du 50^{e} centile représente un homme de taille moyenne. La moitié des hommes sur le plan mondial sont soit plus grands que ce dernier ou plus petits. Il s'agit d'une personne ayant pour caractéristiques physiques, entre autres, une masse de 74,4 ± 1,4 kg et une hauteur en position assise droite de 907 ±3 mm.

Homme adulte du 95^{e} centile : L'homme adulte du 95^{e} centile représente un homme de grande taille. Seulement 5 pour cent des hommes sur le plan mondial sont plus grands et plus lourds que ce dernier. Il s'agit d'une personne ayant pour caractéristiques physiques, entre autres, une masse de 97,5 kg, une taille de 1 849 mm et une hauteur en position assise droite de 965 mm.

Machine tridimensionnelle point H (machine point H ou OSCAR) : Dispositif (Figure 3.2) utilisé pour la détermination du point H et l'angle de torse.

Niveau de certitude : Différence entre l'unité et le seuil de confiance.

Point H : Centre de pivotement dans le plan médian du siège entre le corps et les membres inférieurs de la machine point H lorsque cette dernière est installée sur un siège de véhicule automobile. Le « H » vient du terme anglais « hip-joint-center location » qui signifie, mot pour mot, la position du centre du joint de la cuisse. Le point H se trouve donc dans le plan médian de la machine tridimensionnelle point H.

Répétabilité : Étroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs d'une même grandeur mesurée, mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure (opérateur, appareil, laboratoire et période unique). On utilise aussi les termes répétitivité ou fidélité pour la désigner.

Reproductibilité : Étroitesse de l'accord entre les résultats individuels obtenus avec la même méthode sur une matière identique soumise à l'essai, mais dans des conditions différentes (opérateurs différents, appareils différents, laboratoires différents ou périodes différentes).

Retrait (backset) : Distance longitudinale entre la face antérieure de l'appuie-tête et le derrière de la tête factice de l'AMAT.

Tablier : Séparation du compartiment moteur de l'habitacle.

INTRODUCTION

En 1992, les « Insurance Corporation of British Columbia (ICBC) » et « RONA Kinetics and Associates Ltd. » conçoivent et développent l'appareil de mesure des appuie-tête (AMAT). L'AMAT aide à assurer un design sécuritaire des sièges en vérifiant deux (2) mesures de l'appuie-tête qui sont primordiales pour la réduction des risques de blessures lors de collisions arrière. Ces deux mesures sont la hauteur et le retrait. Le retrait est la distance longitudinale entre la face arrière de l'AMAT et la face antérieure de l'appuie-tête. Lors d'une collision, lorsque la tête d'un occupant est projetée vers l'arrière, la hauteur fait en sorte que l'appuie-tête soit suffisamment élevé pour retenir la tête alors que le retrait réduit la vitesse de l'impact de la tête contre l'appuie-tête en diminuant le temps que prend la tête à entrer en contact avec l'appuie-tête.

Au cours des années, l'AMAT a été utilisé par plusieurs organisations sous l'égide de compagnies d'assurances pour évaluer la géométrie statique des appuie-tête dans les véhicules automobiles. Toutefois, l'AMAT est en train de passer d'une vocation promotionnelle et éducationnelle à une vocation réglementaire. Le gouvernement américain a publié récemment un projet de règlement sur les appuie-tête dans lequel il propose l'utilisation de l'AMAT pour ses essais de conformité. Mais encore, l'AMAT est envisagé comme instrument de mesure du retrait dans le règlement technique mondial sur les appuie-tête qui est en cours d'élaboration.

Bien que l'utilisation de l'AMAT soit de plus en plus répandue, avec presque 150 unités dans le monde, il y a peu d'études publiées à ce jour qui établissent si cet instrument est suffisamment fiable pour être utilisé pour l'application d'un règlement. De plus, aucune de ces études ne vérifie les tolérances dimensionnelles de fabrication de l'AMAT.

Le présent mémoire a comme objectif d'évaluer la fiabilité de l'AMAT en passant en revue l'historique de cette invention, l'évolution de son processus de fabrication, ses tolérances dimensionnelles de fabrication, son appréciation sur le plan mondial, ses lacunes et ses limitations. Le mémoire présente aussi les résultats d'une analyse de répétabilité et de

reproductibilité dans laquelle quatre (4) opérateurs sont appelés à mesurer huit (8) véhicules à sept (7) reprises.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Problématique

1.1.1 Le rôle de l'appuie-tête pour la prévention des blessures

Au Canada et aux États-Unis, le coup de fouet cervical représente 60 % de toutes les blessures en lien à des collisions automobiles (Gane, 2004). Ce type de blessure survient principalement lors de collisions arrière à basse vitesse. Mais encore, approximativement 90 % de toutes les blessures subies lors de collisions arrière sont des blessures qui surviennent au niveau du cou et la majorité de celles-ci surviennent alors que la vitesse d'impact du véhicule embouti était inférieure à 25 km/h (Gane, 2004).

À ce jour, de nombreux auteurs ont publié des études qui révèlent que lors de collisions arrières à basses vitesses, l'appuie-tête peut limiter le mouvement arrière de la tête et du cou de l'occupant et ainsi réduire les risques de blessures des tissus mous au niveau du cou (Eriksson, 2005; Farmer et coll., 2003; Hell et coll, 1999; Jakobsson et coll., 1994; Kleinberger et coll., 1999; Olsson et coll., 1990; Sorenson et coll., 1999; Svennson et coll., 1996; Tencer et coll., 2002). L'efficacité de l'appuie-tête est toutefois conditionnelle à son bon positionnement. Pour être efficace, l'appuie-tête doit être suffisamment près de la tête de l'occupant et suffisamment haut pour empêcher, autant que possible, le déplacement excessif vers l'arrière de la tête par rapport au torse et l'accélération relative de la tête par rapport au torse.

Le risque de subir des blessures au cou lors d'une collision arrière n'est cependant pas uniquement lié à la géométrie de l'appuie-tête, mais dépend d'une combinaison de facteurs liés autant au design de l'appuie-tête qu'à celui du dossier de siège (Kleinberger et coll., 2003). Bref, pour être efficaces, le siège et l'appuie-tête doivent permettre un déplacement synchronisé de la tête et du torse lors d'une collision arrière.

1.1.1.1 Notions d'anatomie

Afin d'aider à une meilleure compréhension des pages suivantes, cette partie présente quelques notions d'anatomie.

1.1.1.1.1 Principaux plans de référence du corps humain

Les principaux plans de référence du corps humain sont illustrés à la Figure 1.1.

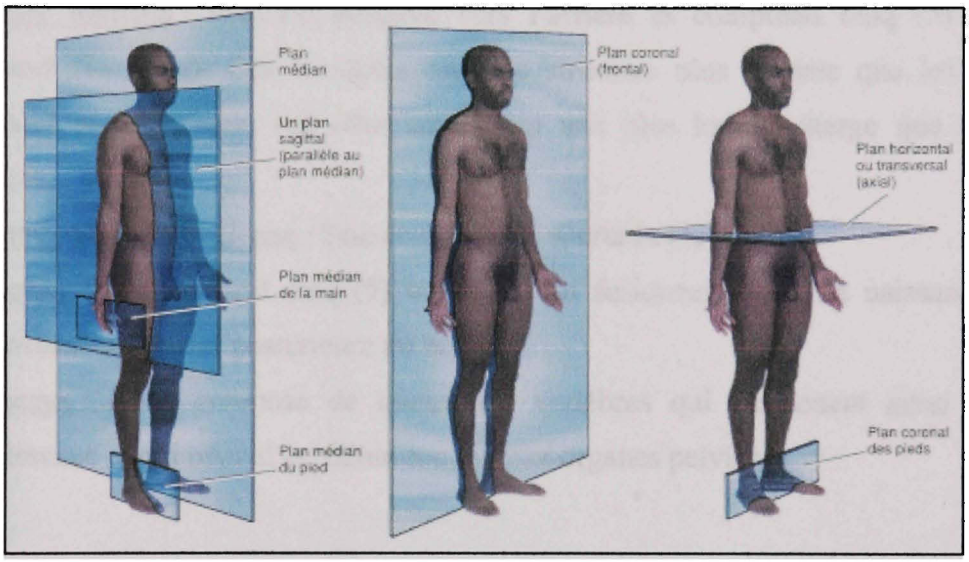


Figure 1.1 Plans anatomiques.

Tirée de GTS501 – Ingénierie des systèmes humains, 2006.

1.1.1.1.2 La colonne vertébrale

La pathologie du coup de fouet cervical ainsi que son mécanisme de blessure seront abordés dans les sections suivantes. C'est pourquoi il serait utile de tout d'abord voir l'anatomie de la colonne vertébrale. La colonne vertébrale (Figure 1.2), aussi appelée rachis vertébral ou épine dorsale, regroupe un ensemble de 33 vertèbres interreliées par des ligaments et des disques intervertébraux. Elle assure plusieurs rôles, notamment :

- elle offre un support axial au tronc et s'étend de la tête au bassin, où elle transmet la masse du tronc aux membres inférieurs;
- elle renferme et protège la moelle épinière;
- elle fournit des points d'attache aux côtes et aux muscles dorsaux.

En vue latérale, le rachis vertébral présente normalement quatre (4) courbures qui lui donnent sa forme de S et augmentent son élasticité et sa souplesse :

- Courbure cervicale : Elle est concave vers l'arrière et comprend sept (7) vertèbres cervicales (C_1 à C_7). Ces vertèbres sont les plus petites et les plus légères;
- Courbure thoracique ou dorsale : Elle est convexe vers l'arrière et comprend douze (12) vertèbres thoraciques (T_1 à T_{12}) dont la taille augmente progressivement avec leur rang, soit de haut en bas le long de l'axe médian du corps;
- Courbure lombale : Elle est concave vers l'arrière et comprend cinq (5) vertèbres lombaires (L_1 à L_5). Ces vertèbres ont une structure plus robuste que les vertèbres cervicales et thoracique, car elles supportent une plus lourde charge que les autres vertèbres;
- Courbure sacro-coccygienne : Elle comprend le sacrum et le coccyx :
    - Sacrum : Il comprend cinq (5) vertèbres qui fusionnent après la naissance et qui constituent la paroi postérieure du bassin;
    - Coccyx : Il se compose de quatre (4) vertèbres qui fusionnent aussi après la naissance et qui offrent un faible soutien aux organes pelviens.

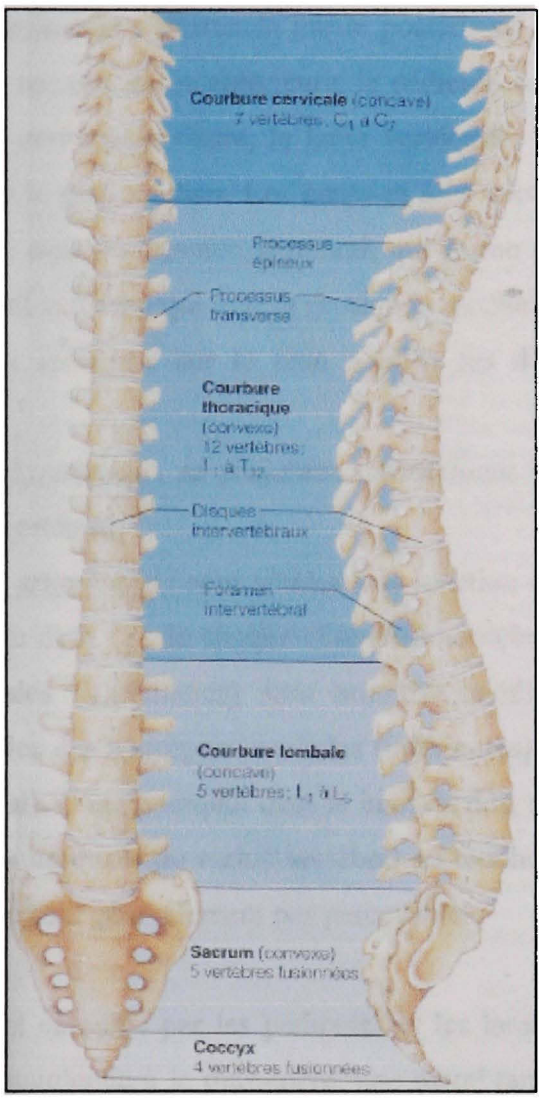


Figure 1.2 Vue antérieure et vue latérale droite de la colonne vertébrale.

Tirée de MARIEB, E., « Anatomie et physiologie humaines » 1999, p.178.

Une vertèbre type est composée d'un corps, d'un arc vertébral, d'une apophyse épineuse, de deux (2) apophyses transverses et de quatre (4) apophyses articulaires (Figures 1.3 et 1.4).

- Le corps vertébral : est cylindrique, mais quelque peu rétréci en son milieu. Il forme la partie antérieure du rachis vertébral. Son extrémité crâniale (supérieure) est convexe et son extrémité caudale (inférieure) est concave. Les corps vertébraux assurent un rôle de soutien et sont séparés par des disques intervertébraux qui amortissent les chocs;

- L'arc vertébral (ou arc neural) : forme la partie postérieure du rachis vertébral. Il est formé de chaque côté par une partie antérieure, le pédicule vertébral qui s'unit au corps de la vertèbre et une partie postérieure, la lame vertébrale. La lame droite et la lame gauche fusionnent sur le plan médian. Les corps et arcs vertébraux délimitent le canal vertébral, aussi appelé trou ou foramen vertébral, qui forme avec celui de chacune des autres vertèbres le canal vertébral qui loge et protège la moelle épinière;
- L'apophyse épineuse : surmonte sur le plan médian les deux (2) lames vertébrales fusionnées;
- Les deux apophyses transverses : se projettent latéralement à partir de la jonction des pédicules et du corps vertébral;
- Les quatre apophyses articulaires : sont situées à la jonction des pédicules et des lames vertébraux. Il en existe deux (2) de chaque côté de la vertèbre. Les facettes articulaires des apophyses crâniales (supérieures) sont orientées médialement (proche du plan médial), alors que celles des apophyses caudales (inférieures) sont dirigées latéralement (éloigné du plan médial). C'est pourquoi dans le haut du dos, soit derrière la nuque, nous pouvons percevoir des aspérités du rachis vertébral au toucher, alors qu'au bas du dos, ces mêmes aspérités ne sont généralement pas percevables.

La moelle épinière qui est entourée par les pédicules et les lames, repose dans un liquide céphalo-rachidien et est maintenue à la dure-mère, une membrane dure et rigide. Les nerfs rachidiens sont reliés à la moelle épinière par la racine motrice (antérieure) et la racine sensitive (postérieure). De part et d'autre de la vertèbre, le trou intervertébral à l'incisure du pédicule permet le passage du nerf rachidien, aussi appelé nerf spinal.

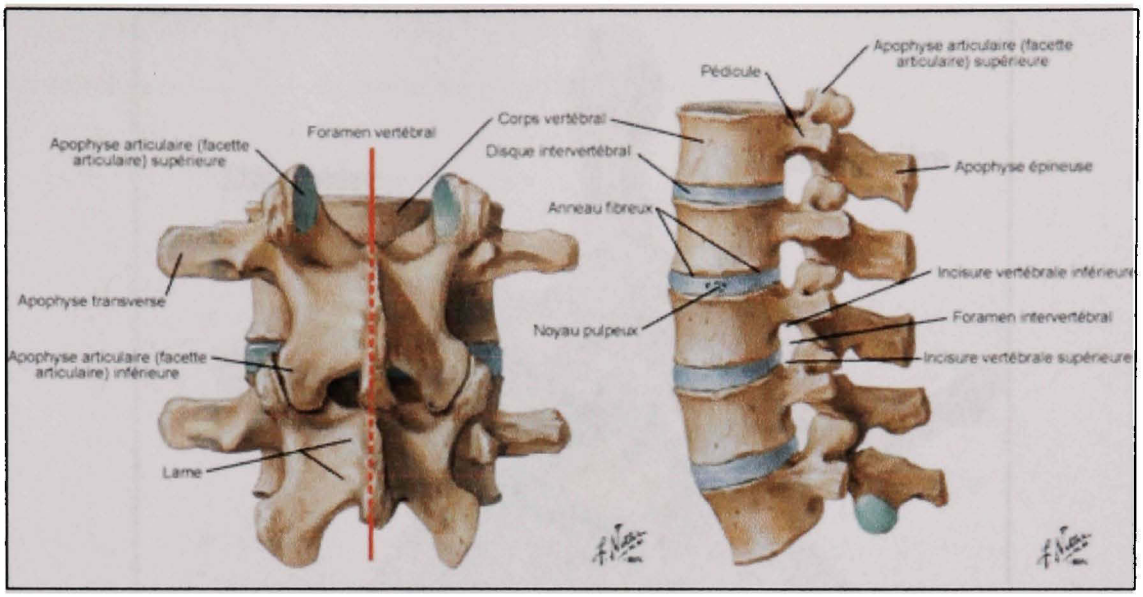


Figure 1.3 Vue postérieure et vue latérale gauche des vertèbres.

Tirée de l'Université d'Ottawa, 2007.

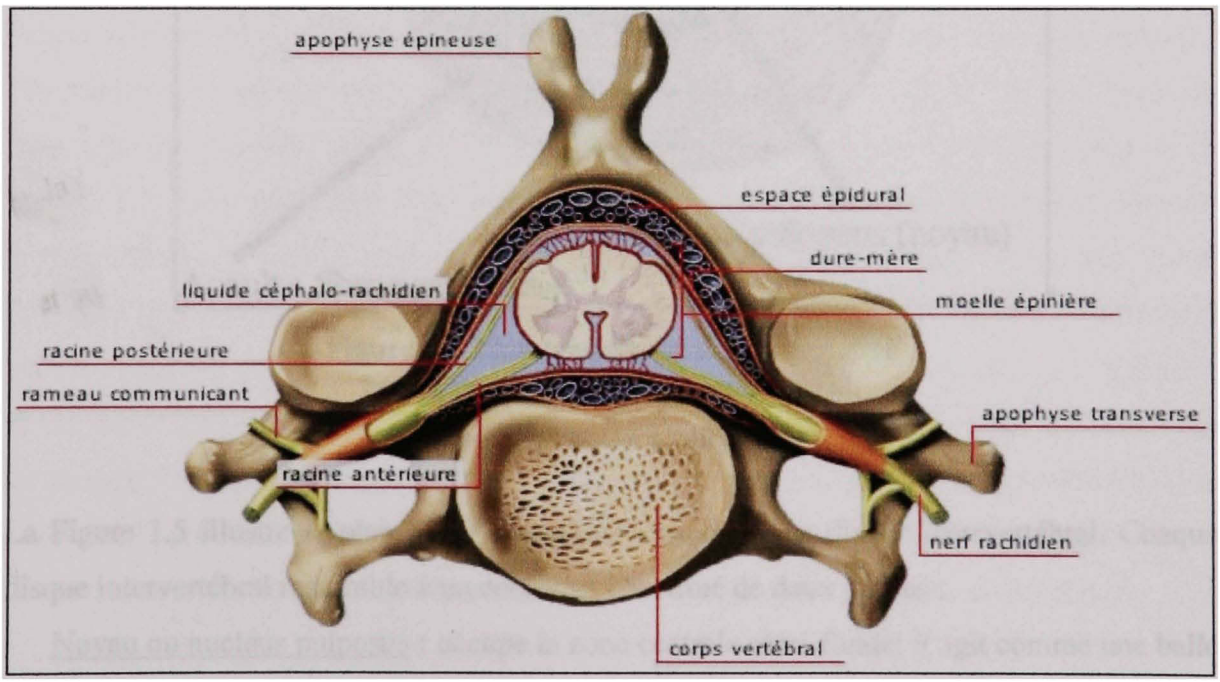


Figure 1.4 Plan transverse d'une vertèbre cervicale sans disque intervertébral.

Tirée des éditions Québec Amérique Inc., 2007.

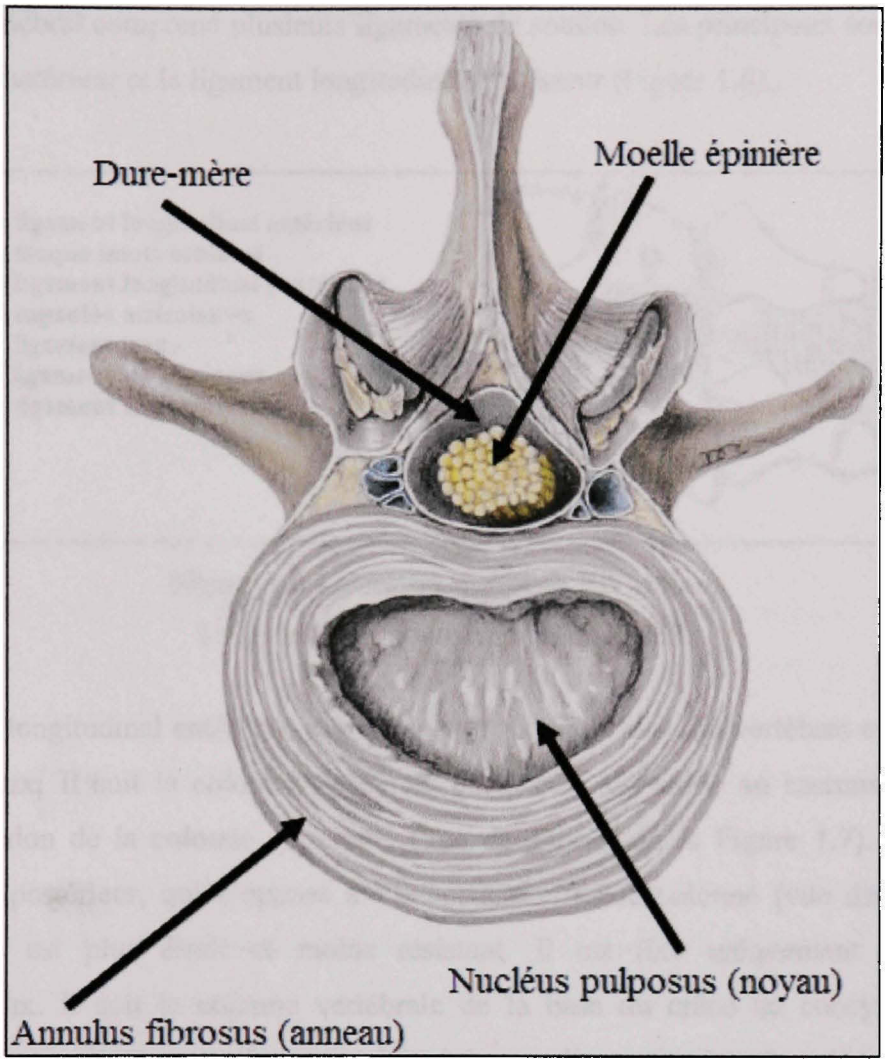


Figure 1.5 Plan transverse d'une vertèbre cervicale avec disque intervertébral.

Adaptée d'ITHACA College, 2003.

La Figure 1.5 illustre le plan transverse d'une vertèbre avec disque intervertébral. Chaque disque intervertébral ressemble à un coussinet constitué de deux parties :

- Noyau ou nucléus pulposus : occupe la zone centrale semi-fluide; il agit comme une balle de caoutchouc pour donner au disque élasticité et compressibilité;
- Anneau fibreux ou annulus fibrosus : entoure le noyau d'un anneau périphérique de fibres collagènes et de cartilages fibreux résistants qui limite l'expansion du noyau.

Le rachis vertébral comprend plusieurs ligaments de soutien. Les principaux sont le ligament longitudinal antérieur et le ligament longitudinal postérieur (Figure 1.6).

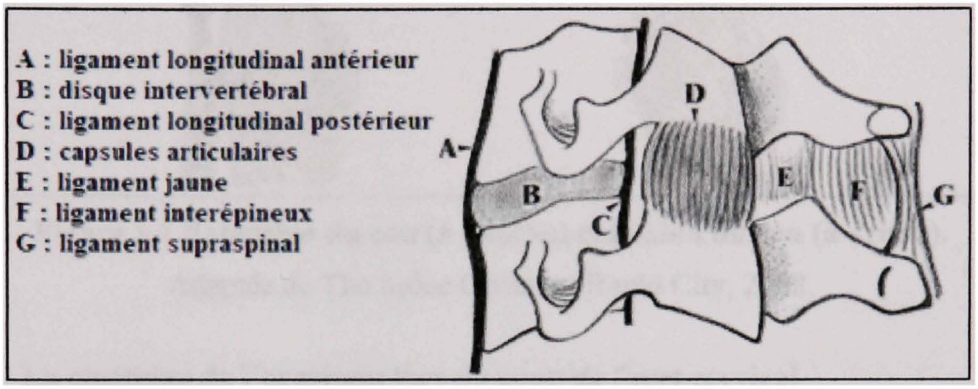


Figure 1.6 Le segment mobile rachidien.

Tirée de Maîtrise-Orthopédique, 2008.

Le ligament longitudinal antérieur, plus large, est fixé à la fois aux vertèbres et aux disques intervertébraux. Il suit la colonne vertébrale de la base du crâne au sacrum. Il empêche l'hyperextension de la colonne vertébrale (vue de gauche de la Figure 1.7). Le ligament longitudinal postérieur, qui s'oppose à l'hyperflexion de la colonne (vue de droite de la Figure 1.7), est plus étroit et moins résistant. Il est fixé uniquement aux disques intervertébraux. Il suit la colonne vertébrale de la base du crâne au coccyx. De courts ligaments (ligaments jaunes, ligaments interépineux, ligaments intertransversaires) relient chaque vertèbre à celles situées immédiatement au-dessous et au-dessus. Le ligament supraspinal unit les sommets des hypophyses épineuses de la septième vertèbre cervicale (C_7) au sacrum. Les ligaments jouent un rôle primordial en stabilisant la colonne vertébrale. Une déchirure ligamentaire au cours d'un mouvement extrême peut permettre à une vertèbre de se retrouver dans une position anormale et affecter la moelle épinière ou des nerfs spinaux.



Figure 1.7 Extension du cou (à gauche) et flexion du cou (à droite).
Adaptée de The Spine Center at Rapid City, 2008.

1.1.1.2 La cinétique de l'occupant lors du coup de fouet cervical

Le traumatisme par coup de fouet cervical peut survenir dans n'importe quel type de collision, mais c'est surtout lors de collisions arrière qu'il survient de manière plus fréquente. Ce mouvement brutal de la région cervicale, même lorsqu'il demeure à l'intérieur des limites physiologiques, peut entraîner de graves lésions (Bogduk et Yoganandan, 2001).

L'occupant d'un véhicule embouti de l'arrière subit une succession de déplacements rapides qui surviennent en quelques millièmes de seconde. Tout d'abord, le véhicule embouti est accéléré vers l'avant alors que l'occupant, par inertie, tend à demeurer au même endroit où il se trouvait avant la collision. Comme le siège est ancré au véhicule, le siège subit le même déplacement que le véhicule alors que le tronc de l'occupant entre en contact avec le dossier de siège. Le premier mouvement est celui des hanches et de la région lombaire qui sont propulsées vers le haut et vers l'avant. Le mouvement se propage ensuite à la portion supérieure du tronc, telle une onde de choc (McConnell et coll., 1993; McConnell et coll., 1995), ce qui a pour effet de redresser le rachis vertébral et le comprimer tel un ressort.

Pendant ce temps, le siège, un peu comme un élastique, absorbe l'énergie cinétique de l'occupant en se déformant vers l'arrière jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit atteint. À ce point, le tronc de l'occupant se déplace à la même vitesse que le véhicule et le siège, alors que la tête de l'occupant a tendance à demeurer au même endroit. La tête entame donc, de manière horizontale, un très rapide déplacement vers l'arrière par rapport au corps, donnant

une forme de « S » aux vertèbres comprimées du cou (Figure 1.8-b). De façon segmentaire, la région cervicale basse devient en hyperextension alors que la région cervicale haute est en hyperflexion (Eck et coll., 2001). Plus le retrait de l'appuie-tête est petit, plus cette forme de « S » au niveau du cou peut être diminuée.

Comme à ce moment le centre de gravité de la tête est postérieur au tronc (par rapport à la septième vertèbre cervicale), la tête pivote vers l'arrière et amorce un mouvement d'hyperextension cervicale (Figure 1.8-c). À ce moment, le rachis cervical adopte une posture en « C », caractéristique du mouvement d'extension cervicale. Pendant ce laps de temps, l'élévation vers le haut du tronc, qui s'est poursuivi tout au long de ce processus, atteint son maximum. C'est aussi à ce moment que le déplacement maximal de la tête vers l'arrière est atteint (extension cervicale maximale). Un siège avec un appuie-tête suffisamment élevé peut stopper le déplacement de la tête vers l'arrière et ainsi réduire cette extension cervicale.

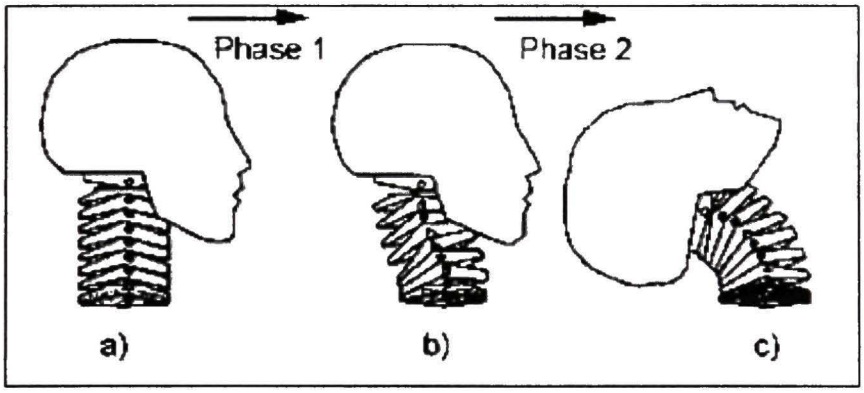


Figure 1.8 Mouvement initial du cou et de la tête lors d'une collision arrière.

Tirée de Svennson et coll., 1993.

Le corps de l'occupant entreprend ensuite la phase de rebond. Les forces au niveau du cou agissent comme un élastique pour ramener la tête dans l'axe du torse (Figure 1.9-a). Ce faisant, elles propulsent la tête violemment vers l'avant.

Par la suite, le véhicule embouti ainsi que le siège sur lequel l'occupant repose ralentissent de manière plus ou moins abrupte, selon que l'occupant du véhicule embouti applique les freins ou non. L'occupant cesse d'exercer une force contre le siège et l'énergie emmagasinée dans le siège, sous forme de déformation, repousse l'occupant vers l'avant tel un élastique qu'on relâche. On appelle ce déplacement vers l'avant le contrecoup.

Le contrecoup occasionne tout d'abord une protraction du cou et de la tête, c'est-à-dire que le mouvement du rachis vertébral amène la tête vers l'avant par rapport aux omoplates (Figure 1.9-b), et génère ensuite une hyperflexion (Figure 1.9-c). Cette action est accrue si le dossier de siège est rigide (constante de ressort plus élevée) et si l'occupant porte une ceinture de sécurité avec une partie baudrier qui freine, de manière abrupte, le déplacement vers l'avant du torse de l'occupant. Les déplacements de la tête et du cou agissent comme un coup de fouet. C'est pourquoi on surnomme ce traumatisme le coup de fouet cervical. La locution anglophone pour le même phénomène est « whiplash ». D'autres expressions utilisées sont coup du lapin ou entorse cervicale.

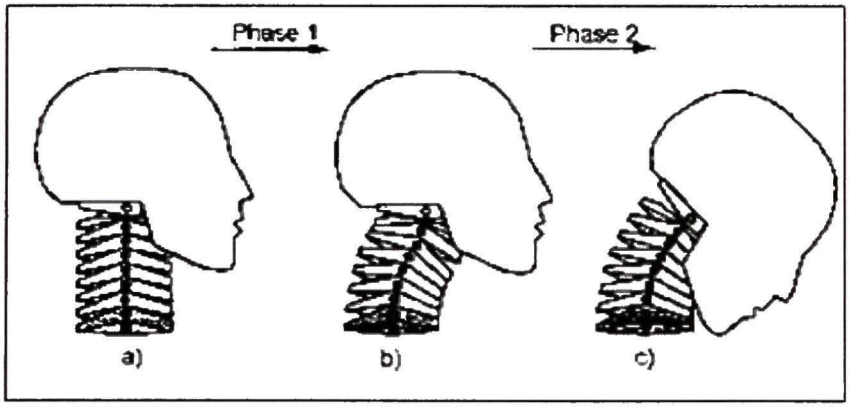


Figure 1.9 Mouvement du cou et de la tête lors du rebond d'une collision arrière.

Tirée de Svennson et coll., 1993.

1.1.1.3 La pathologie du coup de fouet cervical

Le traumatisme par coup de fouet cervical est un ensemble de symptômes communs qui met en cause les tissus mous de la tête, du cou et de la colonne vertébrale. C'est-à-dire que le

traumatisme comprend des blessures des vertèbres cervicales qui sont essentiellement définies comme des blessures qui ne comportent pas de fracture ou de dislocation, mais plutôt des blessures musculaires, articulaires ou ligamentaires. Ce ne sont pas des blessures qui menacent la stabilité du rachis vertébral, mais cela ne signifie pas pour autant qu'elles ne sont pas des blessures sérieuses.

Les symptômes associés à ce traumatisme comprennent généralement de la douleur aiguë et chronique au niveau du cou, à une épaule ou un bras, à la mâchoire ou encore à la tête. Les symptômes peuvent aussi comprendre des troubles de l'équilibre, des problèmes oculaires, de l'acouphène, des nausées, des paresthésies (fourmillement), de la faiblesse au niveau des membres supérieurs, de la douleur au bas du dos ainsi que des troubles de la concentration, d'attention et de mémoire (Spitzer et coll., 1995).

Les symptômes de douleur peuvent être ressentis sans que des lésions soient évidentes. L'apparition des symptômes peut être retardée ou durer seulement quelques heures. Par contre, dans certains cas, les effets d'une blessure peuvent durer durant plusieurs années ou se perpétuer. Les symptômes de courtes durées sont généralement associés à des traumatismes aux muscles ou ligaments, alors que les symptômes de longues durées sont typiquement associés à des dommages aux nerfs.

1.1.1.4 Mécanisme de blessure du coup de fouet cervical

Bien que la cinétique de la tête et du cou pendant un traumatisme par coup de fouet cervical soit relativement bien connue, il y a plusieurs mécanismes de blessures qui sont proposées par la communauté scientifique pour l'expliquer, mais le constat prédominant est qu'il est causé par l'accélération relative entre les vertèbres. Cette accélération relative peut prendre diverses formes :

- La compression ou l'écrasement des disques intervertébraux par forces axiales (McConnel et coll., 1995) peut occasionner l'écrasement des disques intervertébraux, voire une hernie discale (Figure 1.10). Lors d'une hernie discale, le disque s'affaiblit, l'anneau fibreux se rompt et le nucléus pulposus est expulsé hors de l'anneau fibreux. En

se déplaçant, le disque peut donc venir en contact avec une racine nerveuse ou la moelle épinière elle-même et exercer une irritation ou une compression douloureuse. Lorsqu'une racine nerveuse est coincée au niveau d'une vertèbre cervicale, la douleur s'étend vers un bras et classiquement jusqu'à la main ou, selon le niveau atteint, certains doigts peuvent être engourdis.

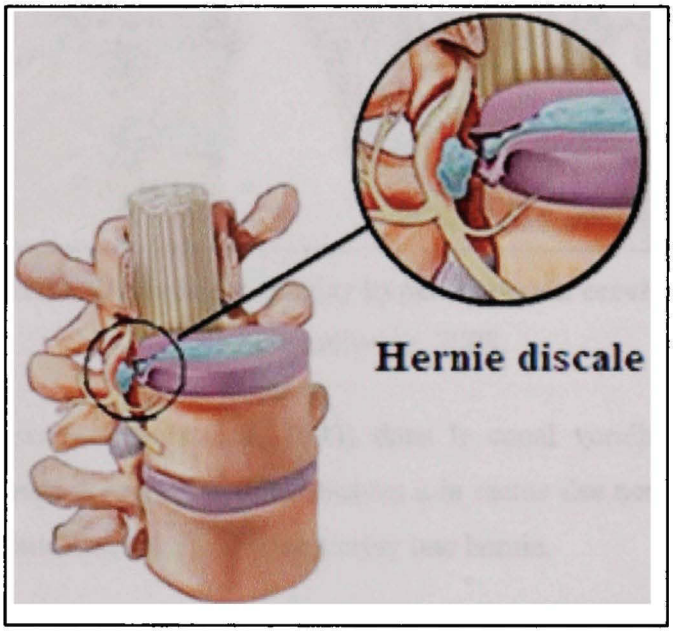


Figure 1.10 Blessure par compression ou écrasement des disques intervertébraux.

Adaptée d'Orthocare, 2007.

- Des forces de cisaillement peuvent entraîner le glissement d'une vertèbre cervicale sur l'autre (Walz et coll., 1995) typiquement dans la région cervicale supérieure (C_1, C_2) lors d'un épisode d'hyperflexion du cou ou encore provoquer des mouvements discordants simultanés d'extension et de flexion du cou (le cou prend la forme d'un « S ») entre respectivement, les régions cervicales inférieures (C_4, C_5, C_6) et supérieure (C_1, C_2) (Lorenzo, 2001) occasionnant une inflammation du nerf rachidien, des dommages aux disques intervertébraux ou encore au ligament antérieur ou postérieur.
- Des moments de flexion extrêmes (Kaneoka et coll., 1999) au niveau du rachis cervical, provenant principalement de l'hyperextension cervicale (Figure 1.11), peuvent aussi endommager des disques intervertébraux, des facettes articulaires (Yoganadan et coll.

1999), ou occasionner l'étirement excessif de muscles ou ligaments attachés aux vertèbres cervicales (Barnsley et coll. 1998).

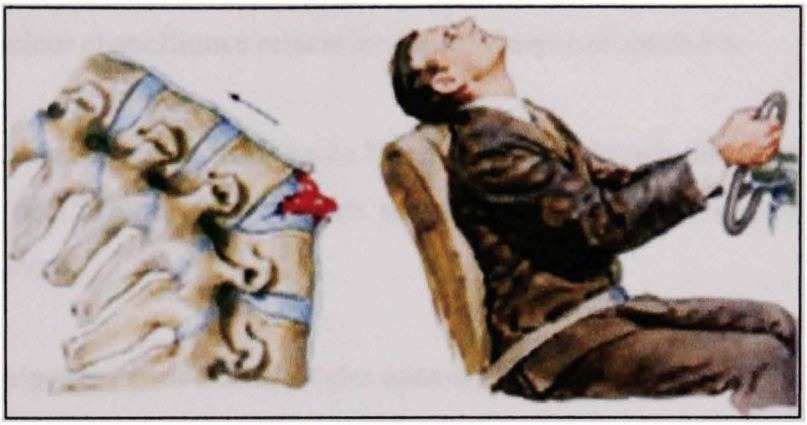


Figure 1.11 Blessure causée par hyperextension cervicale.
Tirée de Spineuniverse, 2008.

- Des pressions transitoires (Svennson, 1993) dans le canal vertébral lors de flexions rapides du cou peuvent occasionner des blessures à la racine des nerfs rachidiens ou aux disques intervertébraux sans nécessairement créer une hernie.

Les blessures occasionnées par ces mécanismes varient considérablement d'une personne à l'autre, selon l'âge, l'état de santé, le conditionnement physique, le sexe, la stature, la musculature, la tolérance aux blessures ou encore la prédisposition génétique (SAE J1460/2, 2008).

1.1.1.5 Les coûts liés à la pathologie du coup de fouet cervical

Le traumatisme par coup de fouet cervical est un problème répandu mondialement qui a des coûts sociaux et économiques considérables. Selon les données les plus récentes provenant de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (UNECE) et de la Institute for Forensic Medicine de l'université de Munich, il y a plus d'un million de blessures par coup de fouet cervical qui surviennent chaque année en Europe, occasionnant des coûts variant entre 7,7 et 15,4 milliards de dollars canadiens (notamment entre 1,5 et 3 milliards de dollars en Allemagne et entre 1,2 et 1,6 milliard de dollars au Royaume-Uni). Aux États-

Unis, le gouvernement évalue que les coûts varient entre 8 et 10 milliards de dollars canadiens par année. Finalement, au Canada les coûts annuels avoisinent les 450 millions de dollars canadiens. À ces coûts substantiels se rajoutent aux coûts émotionnels et sociaux provenant de douleur et souffrance ressenties par les personnes touchées.

Selon l'Institute for Forensic Medicine de l'Université de Munich, les coûts pourraient être réduits de plus de 150 millions de dollars par année au Canada si les sièges automobiles étaient mieux conçus.

1.1.2 Les exigences gouvernementales actuelles pour les appuie-tête

À l'heure actuelle, le Canada, les États-Unis, et les nombreux pays qui souscrivent aux règlements européens, possèdent des exigences très semblables pour les appuie-tête. Les exigences communes pour les appuie-tête sont une hauteur minimale, une largeur minimale dans le plan coronal et la capacité pour le dossier de siège de ne pas s'affaisser ou de subir des déplacements trop importants vers l'arrière lorsque des forces prédéterminées sont appliquées contre le dossier de siège dans le plan médian.

Le règlement européen comprend certaines exigences additionnelles. Il comprend une dimension maximale pour tout trou se trouvant dans l'appuie-tête ou espace qui sépare l'appuie-tête du dossier de siège, car ces trous ou espaces pourraient emprisonner la tête d'un occupant lors d'une collision et causer des blessures importantes au niveau du cou. Le règlement prévoit aussi une limite minimale pour les rayons de courbure sur les composants avant et arrière des appuie-tête pour empêcher ces derniers d'exposer des formes effilées ou tranchantes qui pourraient blesser un occupant assis dans le siège ou siégeant à l'arrière. Finalement, le règlement comprend un essai d'absorption d'énergie de l'appuie-tête dans lequel une tête factice instrumentée d'un accéléromètre est propulsée contre la surface antérieure de l'appuie-tête. Le niveau d'accélération mesuré par la tête ne doit pas excéder certaines valeurs limites. Ceci permet de vérifier que l'appuie-tête n'est pas fabriqué de matériaux trop durs qui pourraient augmenter les risques de blessures des occupants.

Les règlements canadiens et américains sont identiques et comprennent un essai dynamique optionnel. Dans cet essai, le siège est fixé sur un traîneau et ce dernier est accéléré. Un dispositif anthropomorphe d'essai est positionné dans le siège et la tête du dispositif ne doit pas subir une rotation excessive vers l'arrière par rapport à son torse.

1.1.2.1 Nouveau règlement américain sur les appuie-tête (NHTSA, 2005)

À compter du 1er septembre 2009, le gouvernement américain entend apporter des changements importants à son règlement sur les appuie-tête. Tout d'abord, il incorpore certaines exigences du règlement européen, telles que les espaces ou trous pouvant emprisonner la tête d'un occupant et l'essai d'absorption d'énergie. De plus, il met de l'avant un nouvel essai dynamique optionnel et établit une nouvelle exigence qui consiste à assurer une distance de retrait maximale. Ces nouvelles exigences ont pour but de diminuer les risques de blessures par coup de fouet cervical lors de collisions automobiles arrière à basse vitesse.

1.1.2.2 Élaboration d'un règlement mondial sur les appuie-tête

Les règlements techniques mondiaux sont élaborés en conformité avec l'« Accord concernant l'établissement de règlements techniques mondiaux applicables aux véhicules à roues, ainsi qu'aux équipements et pièces qui peuvent être montés et/ou utilisés sur les véhicules à roues », aussi connu sous le nom d'Accord de 1998 ou d'Accord mondial (UNECE, 1998).
L'Accord de 1998 est administré par le Forum mondial de l'harmonisation des règlements concernant les véhicules (WP29), qui a été établi en 1952 au sein du Comité des transports intérieurs de l'UNECE. L'Accord de 1998 établit une procédure mondiale par laquelle les pays peuvent harmoniser et élaborer conjointement des règlements techniques mondiaux concernant la sécurité des véhicules à roues et de leurs équipements et pièces. Il traite aussi de la protection de l'environnement, du rendement énergétique et de la protection contre le vol.

Il y a en ce moment 29 parties contractantes à cet accord entré en vigueur le 25 août 2000. Les parties contractantes sont le Canada, les États-Unis, le Japon, la France, le Royaume-Uni,

l'Union européenne, l'Allemagne, la Fédération de Russie, la République populaire de Chine, la République de Corée, l'Italie, l'Afrique du Sud, la Finlande, la Hongrie, la Turquie, la Slovaquie, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas et les Antilles, l'Azerbaïdjan, l'Espagne, la Roumanie, la Suède, la Norvège, Chypre, le Luxembourg, la Malaisie, l'Inde, la Lituanie et la Moldavie.

Des groupes de travail sont chargés d'aider le WP29 à élaborer les règlements techniques mondiaux. Ces groupes sont composés d'experts techniques des parties contractantes et de l'industrie, ainsi que de consommateurs ou d'usagers de la route. Le public, les fabricants d'automobiles et les fournisseurs sont représentés par des organisations non gouvernementales accréditées par l'UNECE. Chaque groupe de travail se réunit au moins deux fois par année pour élaborer des règlements harmonisés sur la sécurité automobile. Les groupes de travail sont aussi divisés en groupes de travail non officiels qui se réunissent plusieurs fois par année pour discuter de points précis des règlements à l'ébauche, comme les méthodologies d'essai, les valeurs limites, les règlements quant au rendement des véhicules ou de pièces et les marques d'homologation ou d'agrément.

Lors de la 126^{e} séance du WP29 tenue en mars 2002, le Comité exécutif de l'Accord de 1998 a adopté un programme de travail qui comprenait l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête. Ce programme comprenait aussi l'examen et l'évaluation des questions pertinentes relatives aux prescriptions concernant les appuie-tête, ainsi que la formulation de recommandations concernant l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête. Quoi qu'il en soit, les travaux n'ont débuté que quelques années plus tard, car il a fallu attendre jusqu'en novembre 2004 pour qu'une partie contractante à l'Accord mondial de 1998 prenne le leadership dans ce dossier. Ce sont les États-Unis qui l'ont fait. Ces derniers qui étaient sur le point de publier un règlement modifié sur les appuie-tête, ont soumis un document formel établissant le plan de travail et mettant en évidence les exigences à améliorer et à ajouter aux règlements principaux existants sur les appuie-tête, notamment à ceux du Japon, de la Corée, des États-Unis, de l'Europe, de l'Australie et du Canada. Le plan de travail proposé par les États-Unis a finalement été entériné en mars 2005.

Avec leur plan de travail et leur rôle de leader pour l'élaboration de ce règlement, les États-Unis espèrent calquer le règlement technique mondial sur le contenu de leur règlement modifié, prévu pour septembre 2009. Quoi qu'il en soit, les plus importants changements projetés, soit le nouvel essai dynamique optionnel et la nouvelle exigence qui consiste à assurer une distance de retrait maximale, sont deux initiatives controversées, et l'obtention d'un consensus pour l'élaboration d'un règlement technique mondial ne sera pas chose facile.

La controverse entourant l'exigence du retrait est principalement liée à l'instrument de mesure devant servir pour le mesurer, car il n'y avait jusqu'à maintenant aucun instrument de mesure éprouvé connu. Mais avec l'invention de l'appareil de mesure des appuie-tête (AMAT), cela est en train de changer. Le présent mémoire a pour principal but de démontrer pour le compte de Transports Canada que cet instrument est suffisamment efficace et fiable pour être utilisé pour appuyer la réglementation. Ainsi, il est espéré que ce mémoire permettra de contribuer à obtenir un consensus sur ce point.

1.1.2.2.1 L'essai dynamique évalué par l'UNECE

Comme nous l'avons vu précédemment, il est démontré que les exigences géométriques tels que la hauteur et le retrait, aident à réduire les blessures par coup de fouet cervical en garantissant que l'appuie-tête puisse être positionné suffisamment haut et près de la tête de manière à limiter les déplacements de la tête et du cou lors d'une collision arrière. Quoi qu'il en soit, pour être vraiment efficaces, le siège et l'appuie-tête doivent permettre un déplacement synchronisé de la tête et du torse lors d'une collision arrière. Il va sans dire, que les aspects géométriques de l'appuie-tête ne sont vérifiés qu'en mode statique et ne garantissent pas pour autant que ce type de déplacement puisse être obtenu. C'est pourquoi il faut ultimement un essai dynamique pour vérifier tout cela.

Malheureusement, l'essai dynamique du futur règlement américain sur les appuie-tête pose problème, car comme nous l'avons vu, il n'existe à ce jour aucun consensus sur le plan mondial sur le mécanisme de la blessure par coup de fouet cervical lors d'une collision automobile. Par conséquent, il est difficile d'établir :

- Des conditions d'essais qui reflètent fidèlement les conditions réelles d'une collision, tel que le signal d'impulsion ou corridor d'accélération à utiliser et selon qu'il faut faire l'essai avec le siège à même le véhicule ou plutôt faire l'utilisation d'un traîneau.
- Le choix d'un dispositif anthropomorphe d'essai qui possède non seulement un haut degré de précision à titre d'instrument de mesure, mais qui plus est, doit reproduire le plus fidèlement possible, le mécanisme de blessure du coup de fouet cervical pour un être humain. À ce titre, le dispositif anthropomorphe d'essai « Hybrid III » prescrit dans le projet de règlement américain ne répond pas à ces critères, car c'est un dispositif conçu principalement pour les impacts frontaux. Le dispositif anthropomorphe d'essai « BioRID » devrait plutôt être utilisé, car il est spécifiquement conçu pour les impacts arrière et est donc plus fidèle au comportement humain pour ce genre d'utilisation. Cependant, sa structure requiert certaines améliorations et la procédure de positionnement du dispositif dans un siège automobile reste encore à parfaire pour réduire les variations d'un essai à l'autre et améliorer ainsi la répétabilité et la reproductibilité.
- Des indicateurs d'évaluation plus précis en lien à la théorie sur le mécanisme de blessure par coup de fouet cervical. Si nous nous fions à ce qui est connu jusqu'à maintenant, il faudrait mesurer le mouvement relatif entre les parties supérieures et inférieures du cou et les forces appliquées à chacun de ces endroits. Pourtant, ces mesures ne font pas partie du règlement américain.
- Les valeurs de référence à être utilisées pour le règlement qui devraient être basées sur des résultats d'analyse de risques de blessures et d'études de faisabilité.
- Une évaluation des effets sur la réduction des blessures et l'analyse des coûts en rapport aux bénéfices apportés.

Bref, il est nécessaire de clarifier tous ces éléments avant d'élaborer un essai dynamique. Pour ce faire, il faut non seulement continuer d'amasser des données sur les collisions, mais aussi améliorer l'information qui est recueillie pour permettre et poursuivre l'analyse des blessures subies lors de collisions. Il faut effectuer davantage de simulations avec des modèles par éléments finis. Mais encore, il faut savoir ce qui doit être précisément mesuré et

connaître les limites du corps humain. Ceci pose un problème, car comme nous l'avons vu au paragraphe 1.1.1.4, chaque personne n'a pas la même résistance à ce type de blessure.

Sans avoir réponse à toutes ces questions et à défaut de posséder tous les outils permettant d'élaborer un essai dynamique complet, il est tout de même possible de réglementer d'autres aspects lorsque des études convergent vers des constats prédominants. Un bon exemple est la hauteur de l'appuie-tête. Cette dernière est réglementée depuis plusieurs décennies, autant au Canada qu'ailleurs dans le monde, et elle a aidé à diminuer le nombre de blessures lors de collision arrière en limitant l'extension de la tête (Farmer et coll., 2003; Kleinberger et coll., 1999). Le gouvernement américain, dans une étude effectuée en 1982, a estimé à 28 % le niveau d'efficacité de l'appuie-tête pour réduire le coup de fouet cervical pour un appuie-tête non réglable (hauteur fixe) et 17 % pour un appuie-tête réglable. Cette différence en efficacité s'explique en partie parce que les appuie-tête réglables ne sont généralement pas aussi hauts que les appuie-tête non réglables lorsque ces derniers sont dans leur position la plus basse ou ne sont pas ajustés dans une position adéquate et suffisamment élevée pour bien protéger l'occupant qui occupe le siège (Kahane, 1982, p. 42).

La Figure 1.12, issue d'un guide d'évaluation géométrique des appuie-tête utilisé mondialement par divers groupes d'assureurs, illustre la différence entre un bon appuie-tête et un mauvais appuie-tête sur le plan géométrique. Un appuie-tête considéré « BON » rencontrera deux conditions. Il sera suffisamment haut pour atteindre le sommet du pavillon des oreilles (environ 6 cm du sommet de la tête) et possèdera un retrait inférieur à 7 cm. À titre comparatif, un appuie-tête considéré « MÉDIOCRE » aura une hauteur qui se situera sous le centre de gravité de la tête (environ 10 cm ou plus du sommet de la tête) et possèdera un retrait supérieur à 11 cm. Des appuie-tête considérés « ACCEPTABLE » et « MARGINAL » se situent entre un appuie-tête « BON » et « MÉDIOCRE », un appuie-tête « ACCEPTABLE » étant légèrement mieux qu'un appuie-tête « MARGINAL ».

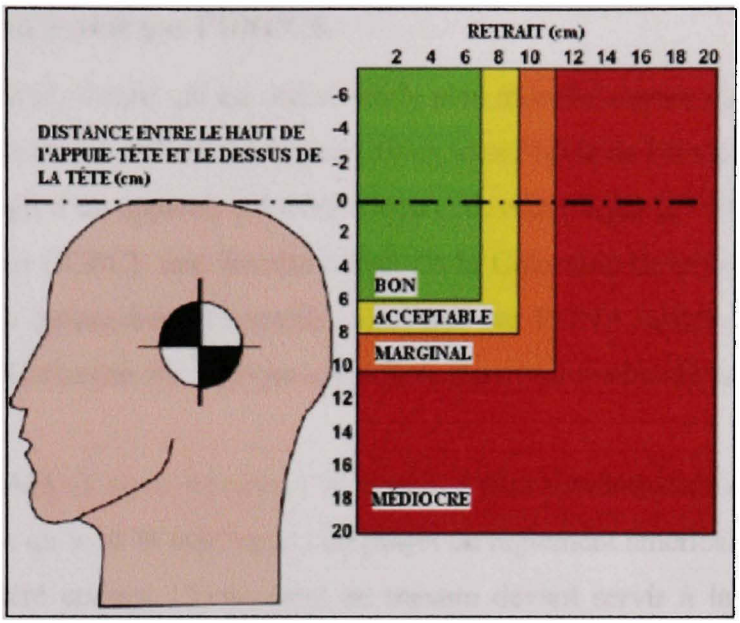


Figure 1.12 Guide d'évaluation géométrique des appuie-tête.

Tirée de RCAR, 2008.

1.1.2.2.2 Le retrait évalué par l'UNECE

Pour mesurer le retrait, l'outil qui est utilisé sur le plan mondial depuis une dizaine d'années par plusieurs fabricants, chercheurs et organisations sous l'égide de compagnies d'assurances, est l'AMAT. Il s'agit d'un appareil qui a été conçu et développé par la Insurance Corporation of British Columbia (ICBC), une Société d'État de la Colombie-Britannique qui fournit un régime d'assurance automobile universelle, ainsi que par RONA Kinetics, une petite firme d'ingénieurs de la Colombie-Britannique spécialisée dans le domaine de la sécurité routière.

Jusqu'à ce jour, l'AMAT avait été utilisé seulement à titre promotionnel ou pour appuyer la recherche. Ce n'est qu'avec la publication du projet de règlement américain que l'AMAT est maintenant considéré comme l'instrument de mesure devant servir à la vérification de la conformité de fabrication des appuie-tête. Le règlement technique mondial est appelé à reprendre les grandes lignes du règlement américain et l'AMAT est aussi considéré pour ce règlement. Le règlement américain propose une exigence de retrait maximal de 50 mm, ce qui est plus strict que les 70 mm requis dans le guide d'évaluation géométrique des appuie-tête (figure 1.12) des assureurs pour qu'un appuie-tête soit jugé « BON ».

Bien que l'utilisation de l'AMAT soit de plus en plus répandue, avec presque 150 unités vendues par ICBC à travers le monde, il y a peu d'études publiées à ce jour qui établissent si cet instrument est suffisamment fiable pour être utilisé pour l'application d'un règlement. De plus, aucune de ces études ne vérifie les tolérances dimensionnelles de fabrication de l'AMAT. Depuis le début des négociations entourant l'élaboration du règlement technique mondial, plusieurs pays ont présenté des résultats (UNECE, 2005) de mesures concernant l'AMAT, notamment les États-Unis, le Japon et l'Organisation internationale des constructeurs d'automobiles qui regroupe 40 associations et représente la quasi-totalité de l'industrie automobile mondiale. Ces résultats sont présentés au tableau 1.1. Pour trois itérations de mesures, des erreurs types relatives de 12,4 % et plus ont été obtenues dans chacune de ces études pour des intervalles de confiance de 95,54 %, ce qui semble indiquer que des améliorations seraient souhaitables au niveau de l'AMAT.

Tableau 1.1

Résultats initiaux de mesures du retrait présentés à l'UNECE

	Études avec 3 itérations de mesure					
	Erreur type			Erreur type relative		
	±1σ (68.32%)	±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)	±1σ (68.32%)	±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)
Japon	±3.2 mm	±6.4 mm	±9.6 mm	6.4 %	12.8 %	19.2 %
Ford	±3.1 mm	±6.2 mm	±9.3 mm	6.2 %	12.4 %	18.6 %
États-Unis	±3.9 mm	±7.8 mm	±11.7 mm	7.8 %	15.6 %	23.4 %

Plusieurs questions ont aussi été soulevées concernant l'AMAT, notamment au niveau des dimensions de l'AMAT qui peuvent diverger d'une unité à l'autre, de la possibilité d'utiliser l'AMAT avec l'ASPECT plutôt qu'avec OSCAR, du contrôle de la qualité de l'AMAT, des modifications subies par l'AMAT et des imitations de l'AMAT.

Faute d'étude, le Canada n'avait jusqu'à maintenant pas fourni son opinion aux rencontres de l'UNECE concernant cette exigence. Il est espéré que les résultats obtenus dans le cadre de la réalisation de ce mémoire pour le compte de Transports Canada permettront d'obtenir un consensus à l'UNECE en répondant aux points litigieux soulevés par certains des participants et en démontrant que l'AMAT est suffisamment fiable et efficace pour être adopté dans le règlement technique mondial pour vérifier la conformité des appuie-tête aux exigences du retrait.

CHAPITRE 2

MISE EN SITUATION ET PRÉSENTATION DU PLAN DE TRAVAIL

2.1 Mise en situation

L'adoption de l'AMAT à titre d'instrument de mesure officiel pour la vérification du retrait sur les sièges automobiles est contestée non seulement dans le cadre de l'adoption d'un règlement américain modifié sur les appuie-tête, mais également dans le cadre de l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête à l'UNECE. Historiquement, les principales préoccupations concernant l'AMAT sont sa répétabilité, sa reproductibilité et ses tolérances de fabrication.

Ce mémoire vise à déterminer si cet instrument de mesure est suffisamment fiable pour être utilisé en vue de l'application de règlements. Les conclusions de ce mémoire devraient permettre de dresser certains constats et conditions pour l'utilisation de cet instrument à titre réglementaire. Les conclusions pourraient servir à façonner la position canadienne aux négociations entourant les rencontres pour l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête à l'UNECE.

2.2 Plan de travail

Le présent mémoire se divise en trois parties :

- Le chapitre 3 présente l'historique de l'AMAT. L'information a été recueillie lors d'une entrevue réalisée avec les inventeurs et concepteurs de l'AMAT. Cette entrevue a permis de préciser l'évolution de son processus de fabrication, les tolérances dimensionnelles, ses lacunes et ses limitations d'utilisation. Il s'agit ici d'un exercice qui n'avait jamais été fait jusqu'à présent et l'information recueillie dans le cadre de cette entrevue est donc tout à fait inédite.
- Le Chapitre 4 évalue la fiabilité de l'AMAT en décrivant une analyse de répétabilité et de reproductibilité dans laquelle quatre (4) opérateurs, dont l'auteur de ce mémoire, ont mesuré la distance entre la tête de l'AMAT et l'appuie-tête du siège et cela à sept (7)

reprises sur huit (8) véhicules de gabarits différents. Il vérifie aussi la procédure d'utilisation de l'AMAT.

- Finalement, le chapitre 5 effectue la synthèse des discussions. Il passe en revue les lacunes et limitations qui ont été observées dans le cadre de cette étude avec l'AMAT ou avec les instructions servant à son utilisation. Il compare aussi les résultats obtenus par les divers participants à l'UNECE dans le cadre de l'élaboration du règlement technique mondial sur les appuie-tête.

CHAPITRE 3

ENTREVUE AVEC LES INVENTEURS DE L'AMAT

L'information fournie dans ce chapitre a été acquise lors d'entrevues réalisées du 10 au 12 juillet 2006 auprès des concepteurs de l'AMAT aux bureaux de la Insurance Corporation of British Columbia (ICBC) et de RONA Kinetics ltée à Vancouver en Colombie-Britannique, ainsi que lors d'entretiens subséquents. Ce chapitre a pour but de répondre aux diverses questions concernant l'AMAT et OSCAR soulevées par les participants à l'élaboration du règlement technique mondial sur les appuie-tête (c.-à-d. différence remarquée au niveau des dimensions d'un AMAT à l'autre, possibilité d'utiliser l'AMAT avec l'ASPECT plutôt qu'OSCAR, contrôle de la qualité de l'AMAT et tolérances dimensionnelles, modifications subies par l'AMAT, imitations de l'AMAT, etc.). Les personnes interviewées sont Monsieur John Gane, Gestionnaire en sécurité automobile et recherche pour la ICBC, Madame Jocelyn Pedder, Présidente de RONA Kinetics, ainsi que Monsieur David Hillebrandt, bras droit de Madame Pedder. La ICBC est une Société d'État de la Colombie-Britannique qui fournit un régime d'assurance automobile universel pour ses résidents, alors que RONA Kinetics est une petite firme d'ingénieurs de la Colombie-Britannique spécialisée dans le domaine de la sécurité routière.

3.1 Contexte de l'invention

En 1992, la ICBC est confrontée à une situation financière difficile et essaie de trouver un moyen de réduire le nombre de réclamations de 10 %. Après étude, ils remarquent que la majorité des réclamations est liée à des blessures au cou au niveau des tissus mous et survenant principalement lors de collisions arrière à basse vitesse. Ces blessures comptent alors pour 67 % de toutes les réclamations avec approximativement 30 000 blessures par année et des coûts annuels équivalents à 600 millions de dollars canadiens.

De manière à remédier à ce problème, ICBC entreprend un programme en 1993 visant à promouvoir l'achat de véhicules automobiles plus sécuritaires auprès des automobilistes

immatriculés en Colombie-Britannique. L'initiative débouche, la même année, sur la publication par ICBC d'un guide pour les consommateurs intitulé « Buying a Better Auto ». Le guide, qui a pour objectif d'être publié sur une base annuelle, compare différentes automobiles d'un millésime donné au niveau de caractéristiques de sécurité de base telle que le système à sacs gonflable, le système de freinage antibloquant, la protection contre les impacts latéraux et les appuie-tête. Comme il n'existe à l'époque aucun instrument de mesure reconnu pour évaluer la hauteur et le retrait des appuie-tête, ICBC décide d'effectuer les mesures par rapport à un employé qui possède une grandeur de 178 cm et une masse de 75 kg, soit un gabarit correspondant à celui de l'homme adulte du 50^{e} centile. Il va sans dire que cette façon de faire ne respecte pas les règles de l'art dans le domaine.

3.2 Élaboration du prototype

À la suite de la publication de son guide du consommateur, plusieurs fabricants de véhicules automobiles contactent la ICBC. Ces fabricants sont très intéressés par le système de cotation innovateur utilisé par ICBC pour évaluer le taux de rendement statique des appuie-tête. Par contre, ils font remarquer à ICBC que l'utilisation d'un sujet humain est loin de constituer un instrument de mesure fiable et avec raison. C'est pourquoi Monsieur Gane entreprend aussitôt de développer un instrument de mesure qui pourra offrir de meilleures répétabilité et reproductibilité. Pour concevoir son instrument de mesure, Monsieur Gane s'inspire de la machine tridimensionnelle point H (OSCAR).

Au minimum, Monsieur Gane veut que l'instrument de mesure puisse ressembler à un humain (posséder un cou et une tête) de manière à ce que d'un aspect promotionnel, le public en général puisse s'identifier au mannequin. Consultée par Monsieur Gane, Madame Pedder propose d'attacher à OSCAR la tête factice instrumentée utilisée pour les essais de casques de sécurité. Finalement, RONA Kinetics ltée conçoit et développe l'AMAT traduit du terme anglais : « Head Restraint Measuring Device (HRMD) ». La Figure 3.1 ci-dessous montre une photo de l'appareil de mesure en question.

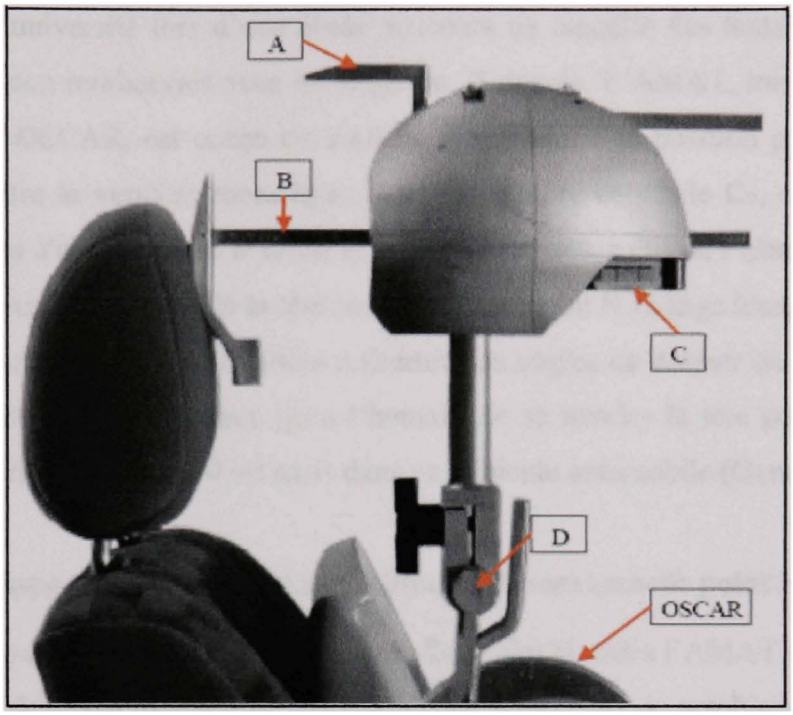


Figure 3.1 Photographie de l'AMAT d'ICBC.

3.2.1 Description de l'AMAT

L'AMAT consiste en une tête factice comprenant deux sondes rétractables permettant de mesurer la position de l'appuie-tête (flèches A et B). La sonde du haut (A) sert à mesurer la hauteur de l'appuie-tête par rapport au-dessus de la tête d'essai. La deuxième sonde (B) sert à mesurer la distance horizontale entre la tête d'essai et l'appuie-tête. L'AMAT est vissé à une patte de fixation qui s'insère dans le dispositif OSCAR. Un niveau à bulle (C) incorporé à l'AMAT permet de positionner la tête en position horizontale en ajustant l'articulation au niveau du cou (D).

La position de la tête par rapport au dispositif OSCAR est fondée sur des données anthropométriques publiées en 1983 par la « University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) » (Anthropomorphic Specifications for Mid-Sized Male Dummy (side-view with skeleton), Transportation Research Institute, the University of Michigan Drawing No. MM-104) et commandée par la « National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) », l'homologue de Transports Canada aux États-Unis. Les données ont été

compilées par l'université lors d'une étude au cours de laquelle des humains étaient assis dans des sièges non rembourrés avec un angle de 25 degrés. L'AMAT, lorsqu'il est installé sur le dispositif OSCAR, est conçu de manière à reproduire la position précise du disque intervertébral entre la vertèbre thoracique T_1 et la vertèbre cervicale C_7, et du condyle de l'occipital (points d'attache entre le crâne et l'atlas à la vertèbre C_1) de l'humain mâle du 50^e centile. La position du sommet de la tête par rapport au point H change lorsque l'articulation au niveau du cou est ajustée de manière à fournir des angles de dossier de siège différents. Ceci est cohérent avec la tendance qu'a l'humain de se niveler la tête pour maintenir un champ visuel horizontal lorsqu'il est assis dans un véhicule automobile (Gane, 1999).

3.3 Le support de l'AMAT : La machine tridimensionnelle point H

Il existe deux types de machines tridimensionnelles point H, mais l'AMAT n'est compatible qu'avec un seul de ces deux types de machines. Les deux types de machines point H sont le modèle OSCAR et le modèle ASPECT.

3.3.1 La machine tridimensionnelle de type OSCAR

Le mannequin OSCAR a vu le jour à la fin des années 50. Il pèse 77 kg ± 1,5 kg et représente un homme mâle américain de taille moyenne (50^e centile mâle) ayant une grandeur debout de 1 800 mm. Il est issu d'un prototype de la General Motors datant de la fin des années 50. Une photographie de ce dernier est fournie à la Figure 3.2.

OSCAR comprend deux coques rigides jointes ensemble avec deux éléments de jambe détachables et ajustables. Les coques diffèrent l'une de l'autre et sont formées de manière à reproduire les pourtours du bassin et du dos en position assise du 50^e centile mâle de référence. Un assortiment de masses est aussi distribué au niveau du dos, du bassin et des jambes du mannequin de manière à reproduire la distribution de masse propre au mâle de référence. Plus concrètement, OSCAR possède huit (8) masses au niveau du torse et deux (2) masses au niveau du bassin (élément 6), deux (2) masses au niveau des cuisses et des mollets (élément 4). Les poids correspondent à des points d'appui du corps.

À l'origine, OSCAR a été créé pour standardiser la mesure de trois (3) aspects géométriques de l'habitacle interne d'un véhicule automobile. Tout d'abord, le point H représente un indicateur de positionnement de l'occupant plus réaliste que des points de références qui seraient pris sur un pourtour de siège qui ne subit pas de déflexion. La déflexion générée par OSCAR contre le dossier de siège fournit aussi une mesure plus représentative de l'angle du dossier de siège que d'autres méthodes qui ne tiennent pas compte de cette déflexion. Enfin, les jambes et cuisses ajustables permettent de mesurer l'emplacement pour les jambes d'occupants de tailles différentes.

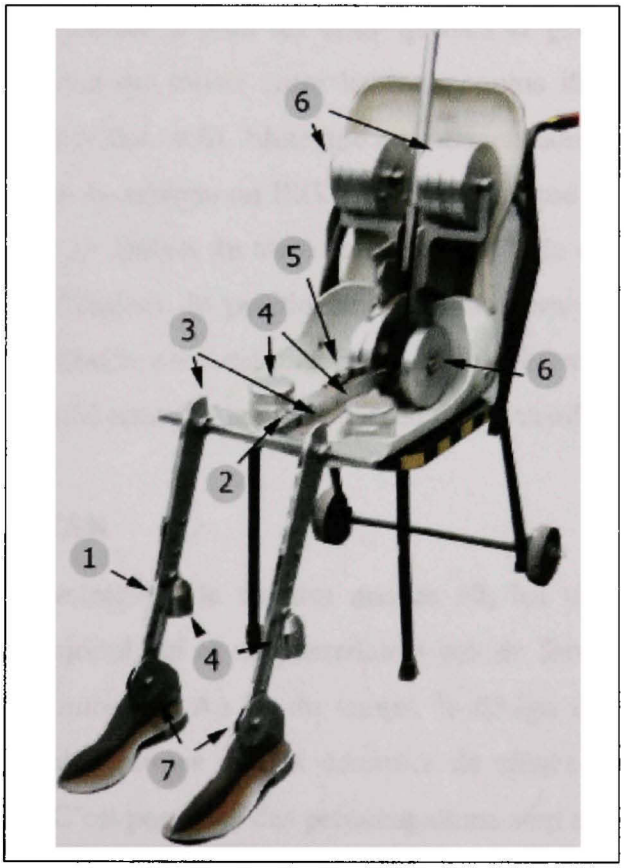


Figure 3.2 Photographie d'une machine tridimensionnelle point H de type OSCAR.

3.3.1.1 Deux modèles OSCAR sur le plan mondial

Autant les règlements nord-américains qu'européens stipulent l'utilisation de ce mannequin. Toutefois, les règlements nord-américains spécifient l'utilisation de la procédure SAE J826

alors que les règlements européens requièrent l'utilisation de la norme ISO 6549. C'est pourquoi des ouvrages différents spécifient l'utilisation du mannequin OSCAR SAE J826 ou OSCAR ISO 6549. De petites différences existent entre ces deux normes. Tout d'abord, la norme SAE J826 indique que le mannequin a une masse totale de 75 kg et comprend un poussoir à ressort calibré (élément 5) pour aider à positionner le bassin du mannequin dans le siège. La norme ISO 6549, quant à elle, indique que le mannequin a une masse de 76 kg et elle ne comprend pas de poussoir à ressort calibré. Par ailleurs, le mannequin décrit dans la norme SAE possède une tige ajustable en forme de T (élément 2) pour les cuisses alors que celui de la norme ISO n'en possède pas. Néanmoins, les procédures de positionnement du mannequin OSCAR sont similaires pour les deux normes et génèrent des résultats quasi identiques. L'autre différence qui existe entre les mannequins ISO et SAE a rapport aux supports de masses du torse (élément 6). Alors que ces derniers sont soudés sur le mannequin SAE, ils sont boulonnés sur le mannequin ISO. Il a été remarqué que les machines point H sur lesquelles les supports de masses du torse sont fixés à l'aide de boulons plutôt que par soudage possèdent des tolérances de positionnement plus serrées que sur les unités sur lesquels les supports sont soudés, car il est plus facile de fixer les supports avec précision par boulonnage que par soudage à cause de la distorsion du métal chauffé.

3.3.1.2 Le futur d'OSCAR

Quand OSCAR a été développé à la fin des années 50, les sièges automobiles étaient beaucoup plus mous qu'aujourd'hui et ne possédaient pas de formes caractéristiques aussi définies ou de supports lombaires. Au fil du temps, le design des sièges a changé pour incorporer des coussins plus fermes et des contours de sièges qui épousent mieux les silhouettes des occupants. C'est pourquoi des préoccupations sont apparues récemment quant aux forme et rigidité du mannequin OSCAR qui ne sont peut-être plus optimales pour la production des sièges d'aujourd'hui. Selon certains observateurs, OSCAR aurait tendance à être assis plus haut et davantage vers l'avant du siège que des occupants humains qui peuvent mieux épouser les formes d'un siège.

3.3.2 La machine tridimensionnelle de type ASPECT

Pour pallier au « problème » d'OSCAR, une nouvelle machine tridimensionnelle point H a été développée en 2002. Cette deuxième génération de machines point H, illustrée à la Figure 3.3, porte le nom ASPECT.

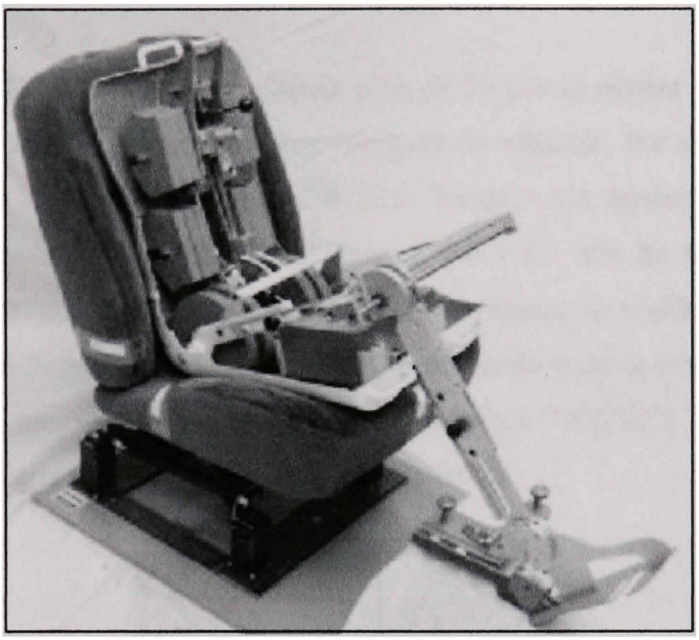


Figure 3.3 Photographie d'une machine tridimensionnelle point H de type ASPECT.

Tirée d'UMTRI, 1999.

Le mannequin ASPECT, contrairement au mannequin OSCAR, possède une colonne articulée qui permet au torse du mannequin d'épouser les contours du siège (Schneider, 1999) de manière plus réaliste. En effet, ceci permet au point H d'être positionné davantage vers l'arrière et plus conforme aux positions utilisées par des occupants humains. Par ailleurs, la répartition de sa masse est basée sur de nouvelles données. L'ASPECT est plus biofidèle, car il possède un bassin moins imposant qui lui permet de s'enfoncer davantage dans le coussin de siège. Il mesure des angles de torse plus prononcés qui sont aussi plus conformes aux positions adoptées par des occupants humains. L'ASPECT ne possède qu'une seule jambe, et l'utilisation de cette dernière n'est pas essentielle pour établir la position du point H ou obtenir l'angle de torse. Finalement, la procédure SAE J4002,

développée spécifiquement pour l'utilisation de l'ASPECT et publiée en 2004, est plus simple et conviviale à utiliser (Flannagan, 2005). Toujours selon Flannagan (2005), l'ASPECT offre de meilleures répétabilité et reproductibilité pour la mesure de l'angle de torse et une meilleure reproductibilité pour le positionnement du point H qu'OSCAR. Par contre, OSCAR garde une meilleure répétabilité en ce qui a trait à l'établissement du point H.

Quoi qu'il en soit, OSCAR est utilisé depuis plus de 30 ans et détient toujours le statut de représentation physique la plus utilisée d'un occupant de véhicule. Par ailleurs, seul OSCAR est compatible avec l'AMAT et le « Belt-Fit Test Device. » Ce dernier est un dispositif de contrôle de l'ajustement des ceintures de sécurité qui a été mis au point par Transports Canada (Brown, 2001). Il est illustré à la Figure 3.4. Il permet de vérifier que la ceinture de sécurité est disposée de manière adéquate sur les os du bassin d'un occupant moyen adulte. Il n'y a aucun plan à court terme d'adapter ces dispositifs à l'ASPECT, car selon Monsieur Gane, cela créerait deux (2) critères d'évaluation différents.



Figure 3.4 Photographie du « Belt-Fit Test Device ».

3.4 Expansion démographique de l'AMAT sur le plan mondial

L'AMAT, à l'origine, devait être produit en un seul exemplaire pour être utilisé exclusivement par ICBC pour évaluer le taux de rendement statique des appuie-tête pour les conducteurs de la Colombie-Britannique. Toutefois, la « Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) » aux États-Unis trouva l'initiative très intéressante et demanda à ICBC de lui fournir un AMAT. Ainsi, un deuxième AMAT fut donc construit et dès 1995, IIHS se mit à évaluer les appuie-tête sur les véhicules automobiles vendus aux États-Unis, en utilisant un système de cotation très semblable à celui de la ICBC. Dorénavant, la promotion d'appuie-tête plus sécuritaire pour les automobiles s'effectuait à bien plus grande échelle.

Sous peu, les fabricants, ainsi que les organismes de réglementation au Canada, aux États-Unis, au Japon, en Australie et au Royaume-Uni reconnurent aussi la valeur de l'AMAT et achetèrent des unités. À compter de 1996, ICBC commença à utiliser l'AMAT plutôt qu'un sujet humain pour évaluer le rendement statique des appuie-tête pour la publication annuelle de son guide du consommateur. ICBC espérait qu'en instituant un système de cotation des appuie-tête largement publicisé et diffusé, les fabricants opteraient pour la construction de sièges plus sécuritaires. Tout compte fait, ICBC semble avoir misé juste, car sur une période de sept (7) ans suivant le début du programme en 1993, la proportion de véhicules automobiles équipés d'appuie-tête jugés « Bons » par ICBC est passée de 21 % à 60 %.

3.4.1 Harmonisation des procédures d'utilisation de l'AMAT

En 2000, le système de cotation des appuie-tête a été harmonisé sur le plan mondial par le centre de recherche de réparation en assurance automobile (THATCHAM) au Royaume-Uni, et a été adopté comme la procédure officielle de mesure des appuie-tête du Research Council for Automotive Repairs (RCAR). Ce dernier est un regroupement mondial d'assureurs automobiles et inclut ICBC au Canada, IIHS aux États-Unis, le National Roads and Motorist Association (NRMA) en Australie, THATCHAM au Royaume-Uni ainsi que de nombreux autres organismes. La procédure officielle de mesure des appuie-tête a en fin de compte été modifiée à nouveau en 2004 pour ajouter un essai dynamique supplémentaire pour les sièges de véhicules automobiles dotés d'appuie-tête offrant un bon rendement lors de l'évaluation

statique. Pour l'essai dynamique, un mannequin bioRID est placé dans un siège et ce dernier est fixé à un traineau. L'essai dynamique simule une collision arrière à 32 km/h en accélérant momentanément le traineau. Pendant cette simulation, on évalue le rendement du siège en fonction de sa capacité à soutenir le torse, le cou et de la tête du mannequin. Ceci est déterminé en calculant le temps en millisecondes que prend la tête pour entrer en contact avec l'appuie-tête. On vérifie aussi l'accélération maximale atteinte au niveau du torse ainsi que les forces maximales de cisaillement et de traction atteintes au niveau du cou. On alloue une note selon les résultats obtenus.

3.4.2 Changement de vocation de l'AMAT

Récemment, l'AMAT est passé d'une vocation promotionnelle à une vocation réglementaire. Le gouvernement américain a publié en janvier 2004 un nouveau règlement sur les appuie-tête dans lequel il propose l'utilisation de l'AMAT pour ses essais de conformité à compter de septembre 2009. Mais encore, l'AMAT a été choisi comme instrument de mesure optionnel dans le cadre du règlement technique mondial sur les appuie-tête qui a été adopté à l'UNECE en mars 2008. Il va sans dire que l'utilisation de l'AMAT est de plus en plus répandue.

3.5 Évolution manufacturière de l'AMAT

L'AMAT a été originalement conçu pour éduquer les usagers de véhicules automobiles sur l'importance de sélectionner des véhicules équipés de sièges plus sécuritaires. Par conséquent, il était important que l'AMAT puisse posséder des formes lui donnant une apparence humaine à laquelle le public peut s'identifier facilement. Quoi qu'il en soit, la forme et le fini de surface de la tête de l'appareil sont purement esthétiques, car les surfaces externes de la tête ne sont pas utilisées pour la mesure. Seule la précision des sondes rétractables est primordiale.

3.5.1 Dimensions de l'AMAT

En ce qui a trait au choix des dimensions, des matériaux et du processus de fabrication de la tête de l'AMAT, les concepteurs se sont référés à la norme ISO EN960:2006 utilisée pour

tester les casques de sécurité. La tête de l'AMAT est fabriquée en conformité avec les dimensions fournies dans cette norme pour la tête de grandeur « J ». Cette dernière correspond à un tour de tête ou à un casque possédant une circonférence intérieure nominale de 570 mm (la grandeur de tête moyenne d'un homme du 50^{e} centile). Les dimensions externes de la tête doivent se conformer à des plans de référence déterminés, donnés en fonction d'un plan de référence. La tolérance sur toutes les dimensions linéaires est de ± 0,25 mm. De plus, la norme exige que la forme de la tête soit symétrique de chaque côté du plan sagittal médian. Des tracés d'usinage sur la tête correspondant au plan de référence ainsi qu'aux plans horizontal, coronal et sagittal médian sont illustrés aux Figures 3.5 et 3.6. Ces inscriptions, bien que conçues pour tester les casques de sécurité selon la norme ISO EN960:2006, demeurent sur la tête pendant et après la fabrication. De plus, pour permettre d'attacher la tête au cou de l'AMAT, les concepteurs définissent la géométrie interne de la tête. Deux trous de positionnement sont aussi utilisés à l'intérieur de la tête aux fins d'usinage.

La tête est fixée à une patte de fixation formant le cou, et l'ensemble est installé sur le mannequin OSCAR à l'aide de deux (2) fourches machinées qui s'insèrent dans les supports de masses du torse. Une troisième fourche, passant entre les supports de masse du torse, s'insère sous-pression au haut du rachis du mannequin OSCAR permettant de stabiliser l'AMAT. Des vis de pression aux fourches assurent un assemblage sans jeu entre l'AMAT et le mannequin OSCAR.

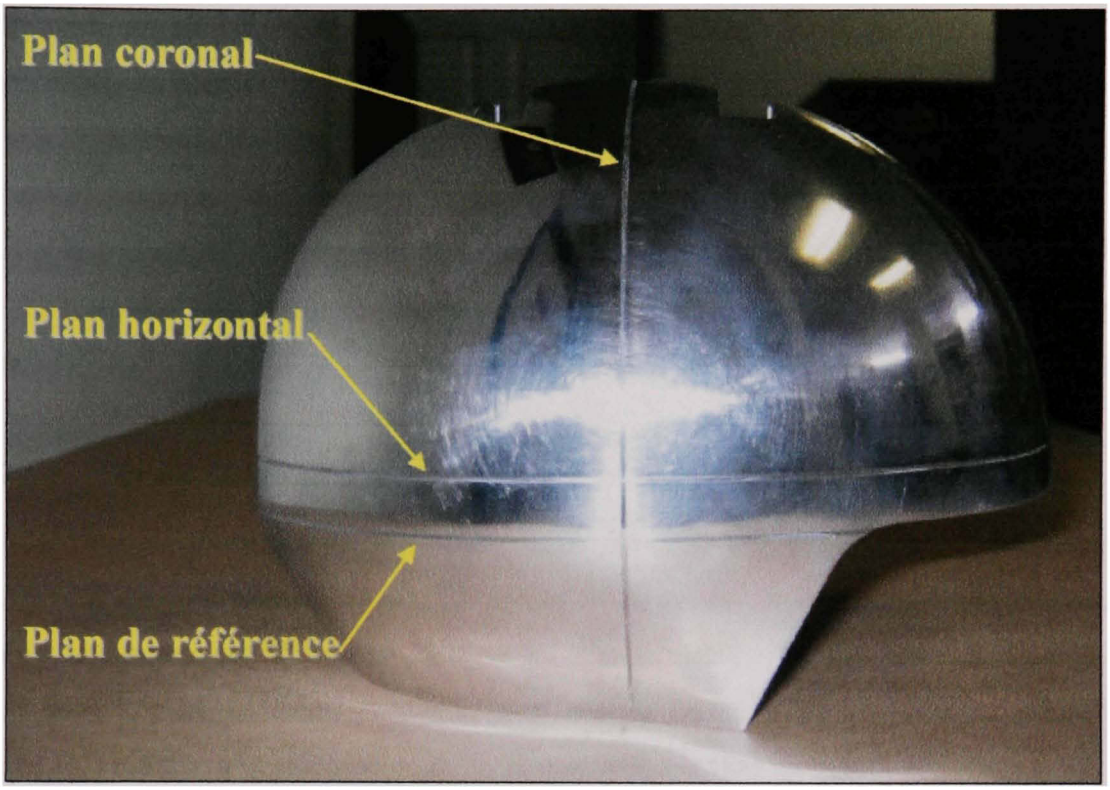


Figure 3.5 Vue de profil de la tête de l'AMAT.

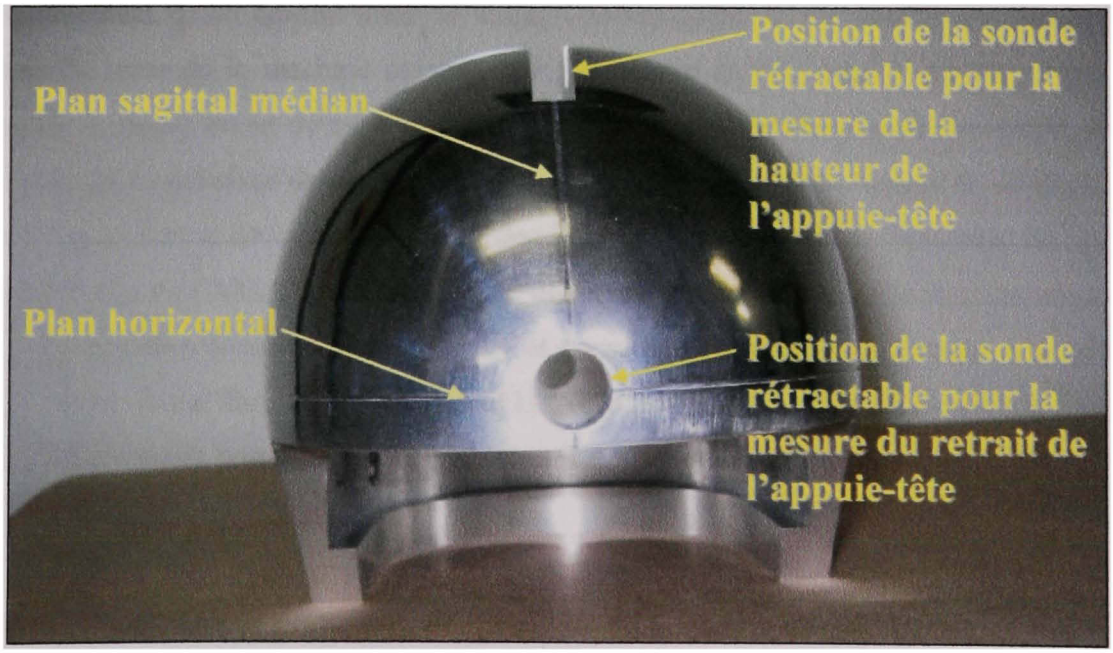


Figure 3.6 Vue de face de la tête de l'AMAT.

La sonde du retrait s'insère longitudinalement à la hauteur du centre de gravité de la tête, à l'intersection du plan sagittal médian et un plan situé 12,7 millimètres au-dessus du plan de référence. La sonde du retrait est graduée en demi-centimètres pour permettre la prise de mesures. La sonde pour mesurer la hauteur de l'appuie-tête glisse horizontalement et longitudinalement hors du sommet de la tête et permet la mesure de la hauteur de l'appuie-tête. Les sondes sont aussi maintenues par des vis de pression pour éliminer tout jeu potentiel.

3.5.2 Masse de l'AMAT

Dans le cadre du processus de fabrication, la masse de la tête de l'AMAT doit demeurer à l'intérieur d'une tolérance de 3 150 ± 50 grammes, ce qui correspond à la masse moyenne de la tête d'un homme du 50^{e} centile. Cela est accompli en enlevant du matériau à l'intérieur de la tête entre le plan horizontal et le plan de référence. La masse de l'AMAT est importante, car une fois montée à la machine point H, la combinaison doit maintenir la même masse que celle du modèle caractérisé par les données anthropométriques publiées par la UMTRI pour le 50^{e} centile et reproduire le plus fidèlement possible la distribution de poids et le positionnement de ce dernier dans un siège. Conséquemment, sur chacun des supports de masses du torse de la machine point H, afin de monter la tête supplémentaire et toujours respecter la masse totale du système, deux (2) masses sont remplacées par une seule masse. La masse est chanfreinée de manière à s'insérer dans les supports de masses du torse et offrir plus d'espace latéral pour positionner les deux (2) fourches machinées de la patte de fixation formant le cou de l'AMAT. La tige de ligne de torse est aussi retirée de la machine point H et deux (2) rondelles fournies avec l'AMAT et possédant l'épaisseur du flasque sont placées dans l'espace laissé libre au pivot du point H. Ainsi, lorsque l'AMAT est ajouté à la machine point H, les masses combinées sont maintenues à ± 50 grammes de la masse originale de la machine point H.

3.5.3 Matériaux et évaluation des procédés de fabrications de l'AMAT

Les 25 premières unités de l'AMAT ont été construites à partir de magnésium coulé. La décision d'utiliser du magnésium était basée sur deux (2) critères. Tout d'abord parce que le

magnésium détient une fréquence de résonance naturelle propice à l'installation d'accéléromètres pour tester des casques contre la résistance à l'impact. Il va sans dire que ce critère n'était pas nécessaire pour l'AMAT puisque ce dernier n'a pour fonction que de prendre des mesures statiques (l'AMAT n'est pas utilisé pour mesurer des accélérations lors d'essais dynamiques). En second lieu, la tête était sablée par jets de sable après le moulage pour lui donner un aspect mât qui facilitait la prise de photo (elle ne réfléchissait pas la lumière). Dans un autre ordre d'idées, le magnésium occasionnait le rejet d'un nombre important de pièces, car des défauts ne devenaient apparents que tard au cours de l'usinage de certaines parties. Ce problème provient du fait que le magnésium est un matériau très inflammable et volatil, par conséquent il était difficile à couler puisqu'il s'enflammait à l'état liquide et laissait dans le matériau des pochettes qui n'étaient pas visibles à la surface.

Pour ces raisons, lorsque le 26^{e} AMAT a été placé sur le carnet de commandes, le magnésium a été remplacé par de l'aluminium. Toutefois, comme l'aluminium est plus lourd que le magnésium, une plus grande quantité de matériau devait être enlevée à l'intérieur de la tête pour respecter la masse requise de 3 150 ± 50 grammes. Quoi qu'il en soit, le coulage de l'aluminium a continué de poser des problèmes de porosité. Il n'y avait pas un bon écoulement du métal ce qui rendait le sablage par jets de sable très difficile, et l'aspect esthétique imparfait. Ces aspects n'avaient pas d'incidence sur la fiabilité des mesures, mais rendaient l'AMAT moins attrayant aux yeux des acquéreurs potentiels.

Pour remédier à ces problèmes, les unités 36 à 43 ont ensuite été usinées à partir d'un bloc d'aluminium. Toutefois, lorsque le machiniste a usiné ces unités, il a utilisé les mauvais points de référence ce qui a fait en sorte que la couronne de la tête était de dix à quinze millimètres plus bas que requis. Ceci explique pourquoi des différences de dimensionnement d'un AMAT à l'autre ont été observées par certains des participants à l'élaboration du règlement technique mondiale sur les appuie-tête à l'UNECE. Bien que la forme de la tête était légèrement différente du dessin pour ces unités, cela n'avait aucun effet sur les mesures, car le siège de la portion interne de la tête avait été modifié par le machiniste de manière à préserver le même niveau de précision et la même échelle de mesure des sondes

rétractables. De plus, plutôt que d'être sablé par jets de sable, ces unités ont été polies ce qui leur a donné un fini de surface plus étincelant. Bien que plus difficile à photographier, ce fini de surface propre à un miroir confère un aspect plus attrayant au produit final.

Comme l'usinage de l'aluminium ne causait plus de problèmes de porosité ou de retassures, les unités 44 et les suivantes ont été fabriquées de cette manière. À ce jour, plus de 150 unités AMAT ont été vendues. La fabrication est maintenant faite par machine de mesure de coordonnées et environ huit (8) heures sont nécessaires pour compléter une unité.

3.5.4 Modifications à la sonde pour mesurer le retrait

Initialement, uniquement la partie postérieure de la tête était utilisée pour mesurer le retrait. Toutefois, il a été remarqué que l'appuie-tête était souvent trop bas pour être mesuré. La forme de la sonde rétractable pour mesurer le retrait a donc été agrandie pour qu'elle descende plus bas au niveau du cou. De plus, initialement la sonde pour la mesure du retrait possédait la largeur entière de la tête de l'AMAT mais cela n'offrait aucun avantage. Conséquemment, la sonde a été modifiée de manière à lui donner un profil plus effilé.

3.5.5 Contrôle de la qualité du produit final

Une fois l'unité fabriquée, l'AMAT est placé sur le gabarit d'étalonnage illustré à la Figure 3.7 afin de s'assurer que les dimensions de hauteur et de retrait mesurées avec les sondes rétractables de l'AMAT sont conformes à celles du dessin (tolérance de ± 2 mm). Le gabarit d'étalonnage permet aussi de vérifier que le cou est vertical, solide et qu'il n'y a pas de jeu indésirable dans l'assemblage. Le parallélisme de l'unité est aussi contrôlé avec la sonde rétractable pour la mesure du retrait en vérifiant que cette dernière est parallèle à la tige verticale du gabarit d'étalonnage. Ce contrôle de qualité est effectué au moment de l'assemblage et de l'inspection finale de l'AMAT avant d'être expédié au nouvel acquéreur. Finalement, le numéro de série de l'AMAT est inscrit sur chacune des sondes pour éviter que les sondes soient utilisées sur un autre AMAT.

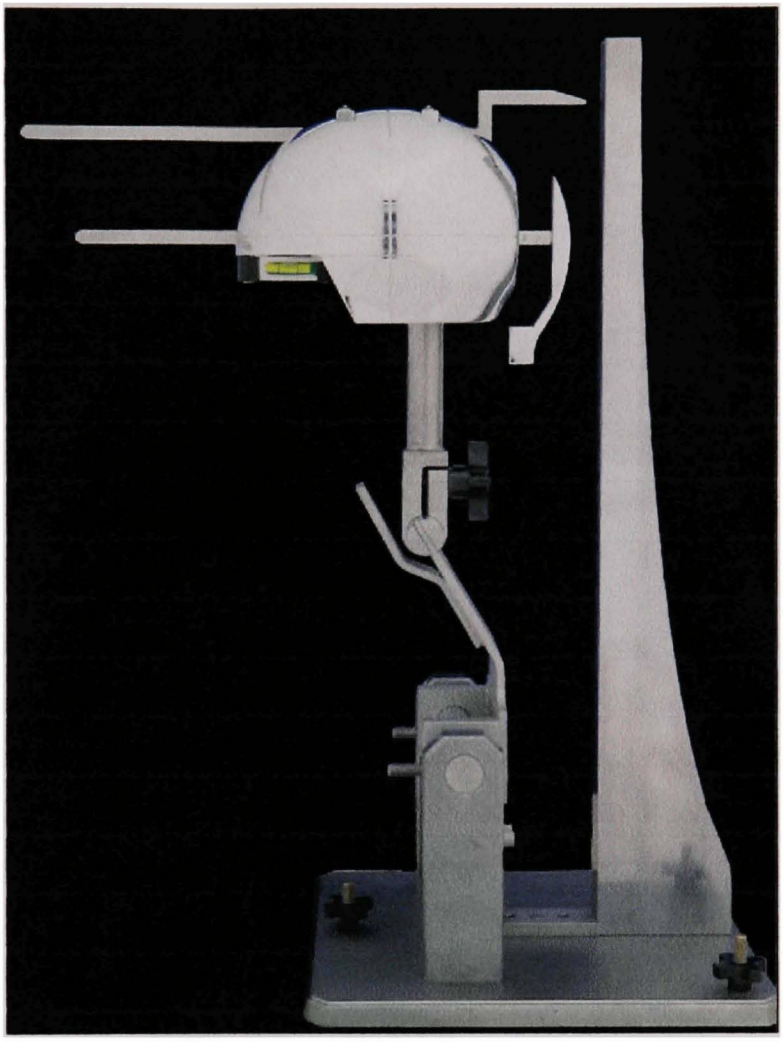


Figure 3.7 Gabarit d'étalonnage de l'AMAT.

3.6 Imitations du HMRD

L'AMAT n'est pas breveté ce qui veut dire que quiconque peut construire des unités et les vendre. Pour différencier l'AMAT construit par ICBC des AMATs pouvant provenir d'autres sources, une plaque d'identification contenant le numéro de série est apposée par RONA Kinetics pour certifier son authenticité. Cette dernière est illustrée à la Figure 3.8.

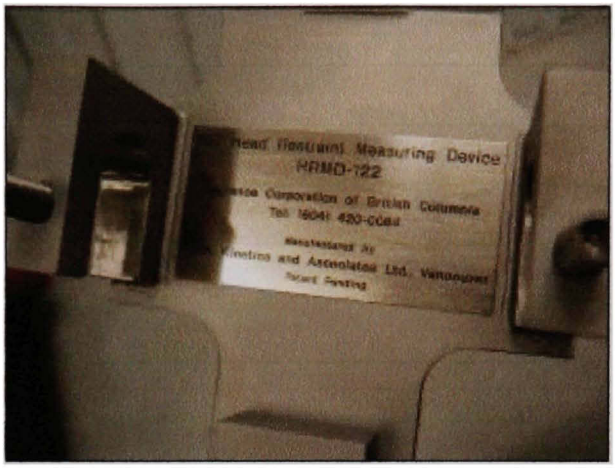


Figure 3.8 Plaque d'identification apposée par RONA Kinetics.

Malheureusement, les imitations de l'AMAT ne possèdent pas nécessairement la même précision ou les caractéristiques requises. Les Figures 3.9, 3.10 et 3.11 dénotent certaines différences importantes : respectivement, une tête factice en plastique ne respectant pas les tolérances massiques, une sonde de mesure du retrait sans échelle de mesure, et un mécanisme de serrage d'ajustement à la machine point H inexistant.

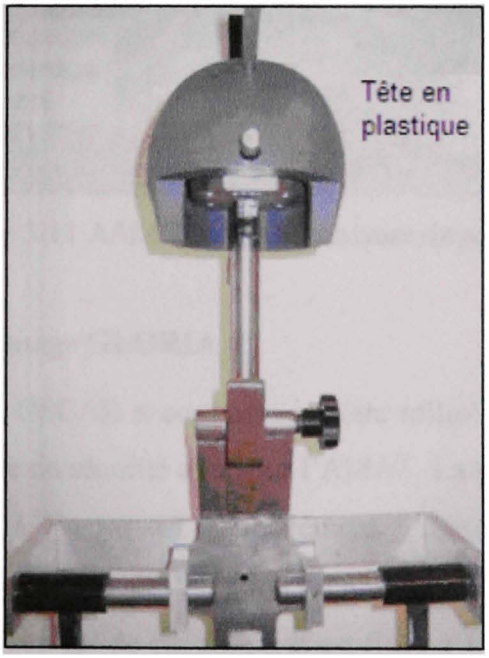


Figure 3.9 AMAT avec tête en plastique.

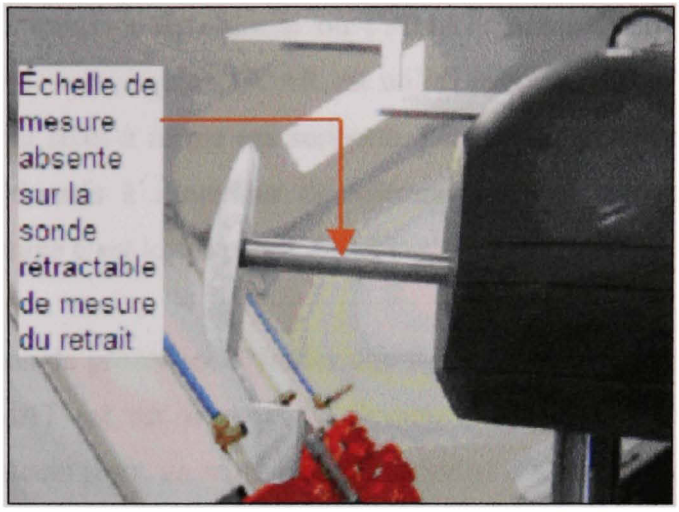


Figure 3.10 AMAT avec sonde de mesure du retrait sans échelle graduée.

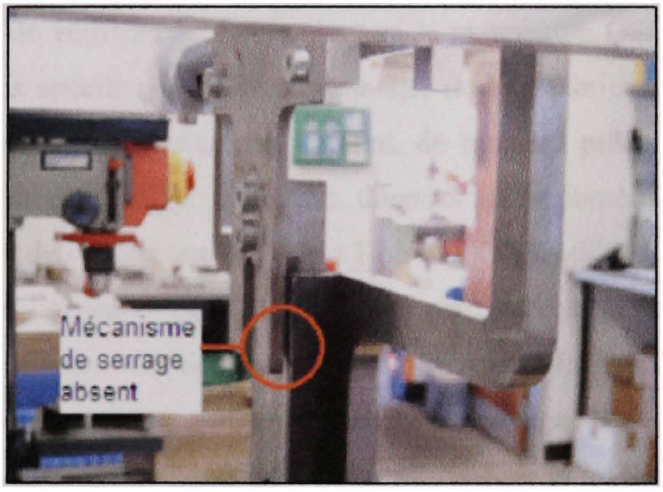


Figure 3.11 AMAT sans mécanisme de serrage.

3.7 Gabarit d'étalonnage GLORIA

Au cours des années 1990, OSCAR a commencé à être utilisé autant pour le dispositif de positionnement de la ceinture de sécurité que pour l'AMAT. La variabilité du positionnement du point H d'un OSCAR à l'autre est généralement faible (±0.250 mm). Elle est plus considérable pour le positionnement des supports de masses de torse (Avery, 2008) puisque la tolérance pour le positionnement de ces supports est fixée à ±10 mm par les fabricants. Ce positionnement serait moins critique si OSCAR n'était pas utilisé pour le dispositif de

positionnement de la ceinture de sécurité ou l'AMAT. Ainsi cette tolérance prend plus d'importance lorsque le mannequin OSCAR est utilisé avec ces deux dispositifs de mesure car ces dispositifs sont fixés à même ces supports. Par conséquent, il est important que les supports soient positionnés à l'intérieur de tolérances mieux définies pour assurer des mesures précises, comme c'est le cas pour l'AMAT.

Comme il n'existe pas de procédure d'étalonnage formelle pour la machine point H et que l'utilisation de l'AMAT est sur le point de devenir obligatoire pour la certification des appuie-tête dans plusieurs pays, un regroupement mondial d'assureurs automobile dont John Gane fait partie, a mis au point un gabarit d'étalonnage portant le nom de GLORIA ainsi qu'une procédure d'étalonnage. Le gabarit d'étalonnage GLORIA est illustré à la Figure 3.12. Ce gabarit permet d'étalonner un AMAT sur un OSCAR donné. La procédure d'étalonnage permet de vérifier que non seulement le mannequin OSCAR et l'AMAT sont toujours conforme aux spécifications dimensionnelles de leur fabricant respectif, mais aussi que lorsqu'ils sont utilisés ensemble, ils forment, de manière précise, le corps et la tête factice d'un homme du 50^{e} centile propre aux données anthropométriques d'UMTRI. Ceci permet sommes toutes de vérifier que ni l'AMAT ou l'OSCAR utilisé n'a subit de dommages qui pourraient fausser l'acuité des mesures qui sont prises et qu'une bonne reproductibilité peut être obtenue en utilisant, des combinaisons d'OSCAR-AMAT qui sont conformes et ce partout dans le monde. Il est prévu que des gabarits d'étalonnage GLORIA soient disponibles au Royaume-Uni, en Europe, en Amérique du Nord, en Asie et en Australie d'ici quelques années. Un service d'étalonnage sera offert à ces divers endroits dotés du gabarit d'étalonnage GLORIA, mais il reste à déterminer qui offrirait ce service.

Pratiquement, la face antérieure de la tige verticale du gabarit d'étalonnage GLORIA fournie une référence pour vérifier l'AMAT et ses sondes. Une fois la combinaison OSCAR-AMAT installé dans le gabarit, des mesures peuvent être prises avec des points de repères prédéterminés du gabarit. Le gabarit permet de vérifier que le positionnement de chacune des deux sondes rétractables se situe à l'intérieur d'une tolérance de ±1mm. Si tel n'est pas le cas, des réparations au niveau de l'AMAT ou d'OSCAR sont requises. Par exemple, dans

certains cas, il pourrait être nécessaire de redresser les supports de masse de torse de la machine OSCAR. Une fois la certification complétée, une plaquette est apposée sur l'AMAT et l'OSCAR pour l'indiquer. Il est recommandé de refaire étalonner au moins tous les cinq (5) ans ou lorsque des dommages au niveau des composants de l'AMAT ou de l'OSCAR sont suspectés.

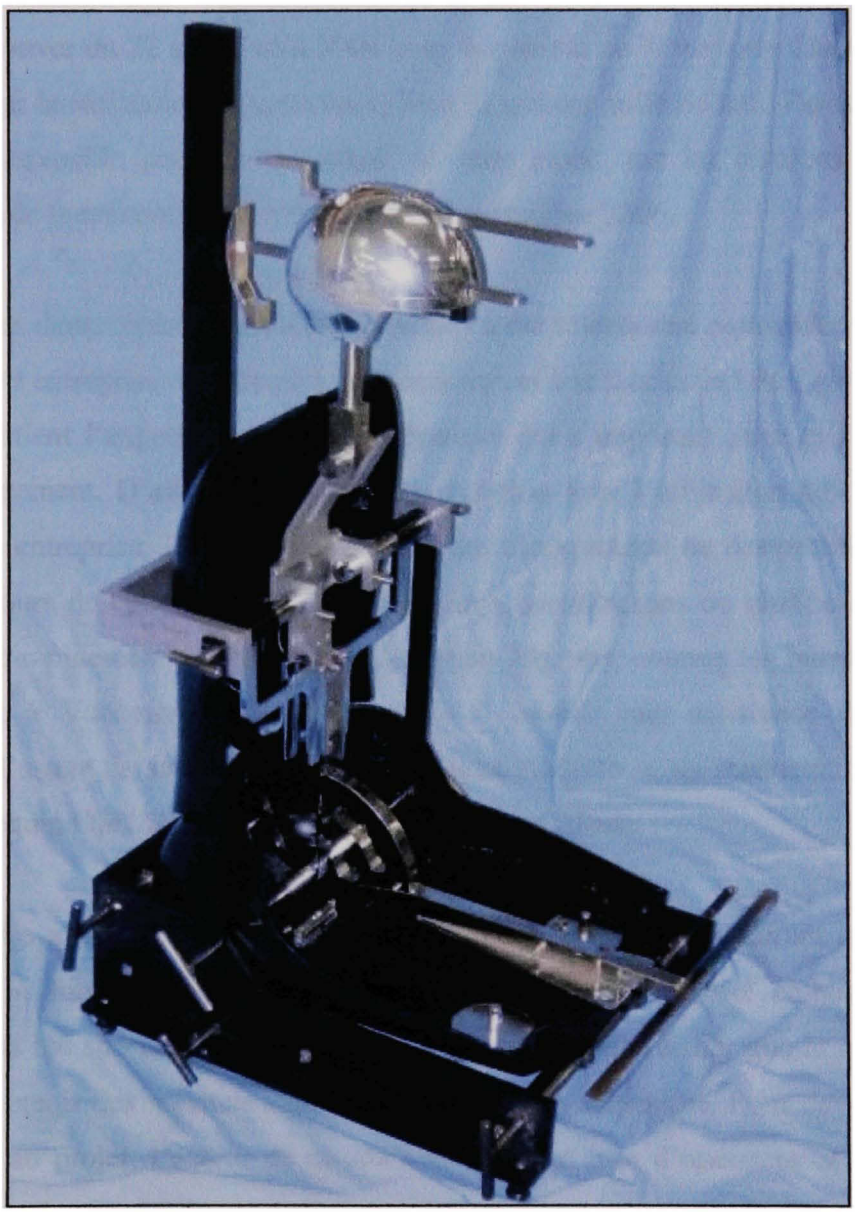


Figure 3.12 Gabarit d'étalonnage GLORIA.

CHAPITRE 4

PROCÉDURES, RÉSULTATS, RÉPÉTABILITÉ ET REPRODUCTIBILITÉ

4.0 Mise en contexte

L'essai de répétabilité et de reproductibilité de l'AMAT s'est effectué dans les ateliers de la ICBC à Vancouver du 22 au 25 août 2006 pour le compte de Transports Canada. Le budget disponible pour la réalisation de cette étude était de quinze mille dollars. Par ailleurs, peu de temps était disponible pour la réalisation de cette étude, car les résultats devaient être présentés lors de la rencontre de l'UNECE du 12 septembre 2006.

Pour pallier ces deux contraintes, RONA Kinetics a été sélectionné pour aider à effectuer les essais, car cette entreprise a participé à la conception et à la fabrication de l'AMAT. En effet, l'entreprise détient l'expertise et les connaissances qui s'imposent pour que l'AMAT soit utilisé adéquatement. D'ailleurs, le guide d'instruction pour l'utilisation de l'AMAT a été écrit par cette entreprise. Il va sans dire que si des changements ou des problèmes devaient survenir au cours de cette étude, les modifications, justifications ou clarifications requises pouvaient être rapidement fournies par l'entreprise. De plus, comme les bureaux de RONA Kinetics sont à Vancouver, ICBC était apte à fournir une assistance en fournissant gratuitement l'usage de ses ateliers, ainsi que deux AMATs et un mannequin OSCAR. Le second mannequin OSCAR a été fourni par Transports Canada.

RONA Kinetics a fourni deux opérateurs ainsi que la logistique entourant la location des véhicules et la formation des opérateurs. RONA Kinetics a aussi embauché la firme AnalysisWorks Inc spécialisée dans l'analyse statistique pour vérifier que la matrice d'essai permettait d'obtenir des résultats significatifs sur le plan statistique. Pour davantage réduire les coûts liés au projet, l'auteur de ce mémoire a agi à titre d'opérateur et a fait appel à Transports Canada pour lui fournir un quatrième opérateur.

4.1 Opérateurs

Pour l'étude, quatre (4) opérateurs ont à tour de rôle effectué des mesures à sept (7) reprises sur huit (8) véhicules différents. Les quatre (4) opérateurs utilisés pour l'étude ne possédaient pas une expérience considérable dans la manipulation de machines OSCAR. Deux (2) opérateurs étaient des ingénieurs juniors en mécanique alors que les deux autres opérateurs étaient respectivement un technologue et un étudiant en statistiques. C'est pourquoi avant les essais, ils ont reçu une formation d'une demi-journée. Somme toute, après leur courte formation, trois (3) opérateurs sur quatre (4) possédaient moins d'une journée d'expérience dans la pose de machines OSCAR dans un véhicule automobile.

Les raisons pour l'utilisation d'opérateurs sans expérience appréciable étaient tout d'abord d'ordre économique, mais aussi pour démontrer aux participants de l'élaboration du règlement technique mondial à l'UNECE que même avec des opérateurs peu expérimentés, il était possible d'obtenir d'excellentes répétabilité et reproductibilité. Notons par ailleurs que l'opérateur n° 4 était une femme. Il est important de le spécifier, car la pose de la machine OSCAR et de l'AMAT est plus difficile pour une personne possédant une force musculaire moindre. Cet opérateur, bien que respectant les mêmes instructions d'utilisation de l'AMAT et d'OSCAR, a dû utiliser une technique légèrement différente pour soulever la machine OSCAR dans le véhicule et était plus propice à se fatiguer que les autres opérateurs qui possédaient une force musculaire plus importante. Malgré cette contrainte, cet opérateur n'a pas obtenu une variabilité plus importante que les autres opérateurs au niveau des résultats.

4.2 Choix des véhicules

Huit (8) véhicules (Figure 4.1) ont été utilisés pour la réalisation de cette étude. Les véhicules ont été sélectionnés de manière à provenir de fabricants et de gabarits différents, c'est-à-dire voiture de tourisme (compacte et sous-compacte), camionnettes et mini fourgonnettes, et possédants des sièges de style, de rembourrage et de matériaux différents comme le cuir ou le vinyle. Les véhicules qui ont été utilisés pour l'étude sont les suivants :



N° 1 – 2006 Chevrolet Silverado



N° 2 – 2006 Jeep 3.7 L



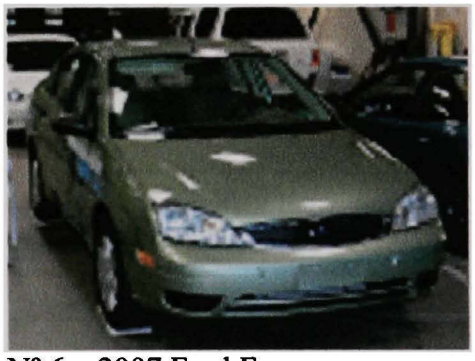
N° 3 – 2006 Toyota Sienna CE



N° 4 – 2006 Chevrolet Malibu



N° 5 – 2006 Hyundai Accent



N° 6 – 2007 Ford Focus



N° 7 – 2007 Dodge Caliber



N° 8 – 2006 Mercedes C230

Figure 4.1 Liste des véhicules pour l'étude.

La Figure 4.2 fournit une photo de chacun des sièges des huit véhicules testés.



Figure 4.2 Photos des sièges de chacun des huit (8) véhicules.

4.3 Séquence des mesures

La séquence utilisée pour prendre les mesures est illustrée à la Figure 4.3. Pendant que les opérateurs n° 1 et n° 3 prennent les mesures de hauteur et de retrait sur leur véhicule respectif, les opérateurs n° 2 et n° 4 sont responsables de remplir le formulaire de collecte des données (voir annexe II) et de donner en main propre les masses ou divers composants aux opérateurs n° 1 et n° 3 pour ainsi leur faciliter la tâche et diminuer les risques de blessures. Les données inscrites sur le formulaire incluent de l'information comprenant l'identification du véhicule, la confirmation de la combinaison d'OSCAR-AMAT utilisé, les mesures de hauteur et de retrait, ainsi que l'angle de torse mesuré par l'opérateur sur le mannequin OSCAR, et l'heure du début et de fin de la prise des mesures.

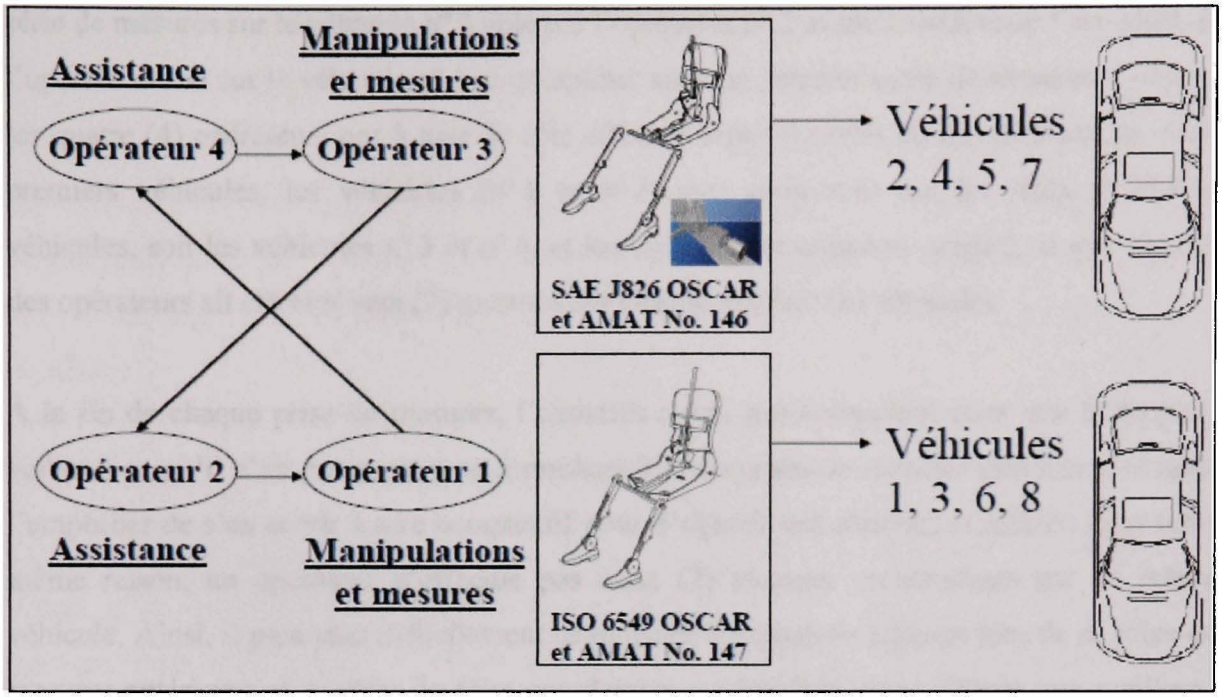


Figure 4.3 Matrice de l'essai.

Les manipulations d'un opérateur pour une série de mesures seront expliquées en détail au paragraphe 4.4.3. Elles comprennent l'installation d'une mousseline de coton sur le siège, l'installation de la machine OSCAR, l'installation de l'AMAT sur OSCAR, la prise des mesures de hauteur et de retrait, mais aussi l'enlèvement de l'AMAT, d'OSCAR et de la mousseline de coton.

Pendant la prise de mesures faite par les opérateurs, si une anomalie est notée par l'assistant dans la manière de procéder de l'opérateur, elle est notée sur le formulaire. Cette information pourra servir lors de l'analyse des résultats si des irrégularités sont observées. Par contre, les assistants n'ont pas le droit d'intervenir auprès des opérateurs de manière à ne pas influencer les mesures.

Un cycle complet par un opérateur se résume de la manière suivante : le premier opérateur (n° 1) effectue sa première prise de mesures (hauteur et retrait) sur le véhicule n° 1 et se dirige vers le véhicule n° 2 pour devenir l'assistant de l'opérateur n° 4 qui lui effectue une première prise de mesures sur ce véhicule (n° 2), l'opérateur n° 1 effectue ensuite sa première

série de mesures sur le véhicule n° 2 aidé par l'opérateur n° 2 avant de redevenir l'assistant de l'opérateur n° 4 sur le véhicule n° 1 et compléter ainsi un premier cycle de mesures. Lorsque les quatre (4) opérateurs ont à tour de rôle effectué sept (7) séries de mesures sur les deux premiers véhicules, les véhicules (n° 1 et n° 2) sont remplacés par les deux prochains véhicules, soit les véhicules n° 3 et n° 4, et les cycles se poursuivent jusqu'à ce que chacun des opérateurs ait effectué sept (7) mesures sur chacun des huit (8) véhicules.

À la fin de chaque prise de mesures, l'assistant remet son formulaire dans une boîte pour veiller à ce qu'il n'ait pas accès à ce formulaire lors de prises de mesures ultérieures et ainsi l'empêcher de s'en servir à titre comparatif pour d'obtenir des résultats répétitifs. Pour cette même raison, un opérateur n'effectue pas deux (2) mesures consécutives sur un même véhicule. Ainsi, il peut plus difficilement se rappeler les résultats obtenus lors de sa prise de mesures antérieure et essayer de faire coordonner ses résultats pour obtenir une meilleure répétabilité. En effectuant ainsi des rotations entre les mesures, chacun des opérateurs obtient aussi un répit entre chaque prise de mesures.

4.3.1 Exclusion de la variabilité entre combinaisons d'OSCAR-AMAT

Comme indiqué au paragraphe 3.7, il peut exister des variabilités importantes entre différents agencements de combinaisons d'OSCAR-AMAT. Au moment de ces essais, il n'existait toujours pas de service d'étalonnage GLORIA au Canada qui aurait permis d'uniformiser la variabilité d'une combinaison à l'autre. Pour éliminer cette variabilité, les deux combinaisons d'OSCAR-AMAT qui ont été utilisées dans cette étude ont servi à mesurer des véhicules différents. Ainsi, la combinaison d'OSCAR-AMAT n° 1 a servi à mesurer les véhicules n° 2, 4, 5 et 7 alors que la combinaison d'OSCAR-AMAT n° 2 a servi à mesurer les véhicules n° 1, 3, 6 et 8. En d'autres mots, il n'y a eu aucune comparaison des résultats obtenus avec l'une ou l'autre des combinaisons pour le siège d'un véhicule donné. Il va sans dire qu'il serait intéressant lors d'études futures d'effectuer des comparaisons de mesures avec des combinaisons d'OSCAR-AMAT différentes, à condition qu'elles aient toutes deux reçu un étalonnage préalable avec le gabarit d'étalonnage GLORIA, mais ce n'est pas l'objectif de la présente étude.

4.3.2 Exclusion de la variabilité de fabrication des sièges

La variabilité de fabrication pour un même siège peut faire varier les mesures du retrait et de la hauteur. La variabilité de fabrication des sièges a donc été exclue parce que cela représentait une source non pertinente et indésirable d'erreurs dans le cadre d'une étude qui servait plutôt à vérifier le niveau de répétabilité et reproductibilité de l'AMAT. Pour exclure cette variabilité, tous les opérateurs ont mesuré un seul et même siège dans chacun des véhicules.

4.3.3 Exclusion de la variabilité dans le réglage des sièges

La variabilité de réglage des sièges a été exclue, non seulement pour cause de contrainte de temps et de coûts, mais aussi parce que le but des essais n'était pas d'évaluer si des opérateurs pouvaient régler les sièges de manière répétitive à des positions prédéterminées, mais plutôt d'évaluer, pour une position de siège fixe, si l'AMAT pouvait permettre d'obtenir des mesures répétitives et reproductibles.

La variabilité dans le positionnement et l'ajustement des sièges a donc été exclue en maintenant le siège fixe après que ce dernier ait été ajusté par le premier opérateur à effectuer des mesures sur le véhicule. Une fois ajusté une première fois, le siège maintenait les mêmes positions et réglages tout au long des essais.

4.4 Préparations, manipulations et mesures

4.4.1 Préparation des combinaisons OSCAR-AMAT

Bien qu'il n'ait pas été possible d'étalonner les combinaisons OSCAR-AMAT avec le gabarit d'étalonnage GLORIA, les mannequins OSCAR ont tout de même été vérifiés de manière à s'assurer qu'ils n'étaient pas endommagés. Pour ce faire, les deux (2) mannequins OSCAR ont été comparés à leur dessin technique respectif. L'une des unités, soit celle provenant de Transports Canada, s'est avérée avoir des supports de torse qui dépassaient tellement les spécifications du dessin OSCAR que l'AMAT ne pouvait même pas y être fixé. Les supports de torse ont dû être redressés en les chauffant au chalumeau.

Il y a deux types de machines OSCAR qui ont été utilisées pour cette étude : un OSCAR américain (SAE J826) et un OSCAR européen (ISO 6549). Les AMATs portant les numéros de série n° 146 et n° 147 ont été respectivement fixés aux OSCAR SAE et OSCAR ISO. Tout au long des essais, chaque AMAT est demeuré assigné à son OSCAR respectif. Il n'y a pas eu de croisements effectués entre OSCARs et AMATs, car cela représenterait un usage inapproprié de l'AMAT qui est conçu pour être utilisé avec un seul et même OSCAR après avoir été étalonné avec ce dernier. L'utilisation de mannequins OSCAR de sources différentes permettait aussi de vérifier si des résultats semblables pouvaient être obtenus avec l'une ou l'autre des machines.

4.4.2 Préparation du véhicule et du siège à mesurer

Avant la première prise de mesures, le véhicule est mis à niveau, documenté et photographié à l'aide du formulaire fourni à l'annexe I. Comme il est spécifié dans les normes SAE J826 et ISO6549, les manipulations suivantes sont effectuées. Les tapis de caoutchouc recouvrant le plancher du véhicule, le cas échéant, sont enlevés du véhicule. Les fenêtres du véhicule sont abaissées pour permettre au siège d'atteindre une température se situant aux alentours de 20 degrés Celsius. Si le siège sur lequel les mesures sont effectuées n'a jamais servi, une personne ayant une masse entre 68 et 79 kg s'assoit dans le siège à deux reprises pour des périodes d'une minute de manière à assouplir le coussin et le dossier de siège. Le siège doit ensuite être au repos pour une période minimale de 30 minutes avant de procéder à l'installation d'une combinaison d'OSCAR-AMAT et prendre des mesures.

Ensuite, le siège sur lequel les mesures sont effectuées est ajusté et positionné de manière à être dans sa position longitudinale et verticale centrale (Figure 4.4). L'appuie-tête, s'il est ajustable, doit être dans sa position le plus basse. Si le siège est doté d'un accoudoir, ce dernier est placé en position de rangement, et si des ajustements lombaires ou dorsaux existent, ils sont placés dans une position non déployée. Le dossier de siège est ajusté le plus près possible de 25 degrés en plaçant un inclinomètre sur sa face antérieure (Figure 4.5). L'angle du dossier pourra être corrigé lors de la première installation du mannequin OSCAR s'il est déterminé qu'une position adjacente du dossier est plus près de 25 degrés.

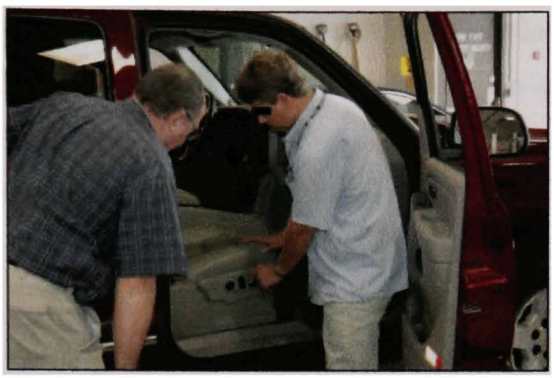


Figure 4.4 Positionnement du siège.



Figure 4.5 Ajustement du dossier de siège.

4.4.3 Manipulations d'un opérateur pour une série de mesures

La première opération de l'opérateur consiste à recouvrir la surface de la place assise occupée par la machine OSCAR d'une étoffe de mousseline de coton (Figure 4.6) d'une taille suffisante et d'une texture appropriée définie comme une toile de coton uniforme de 18,9 fils/cm^2 pesant 0,228 kg/m^2 ou d'une étoffe tricotée ou non tissée présentant des caractéristiques équivalentes. L'étoffe permet d'avoir un coefficient de friction constant lorsqu'un mannequin OSCAR est installé sur un siège (Figure 4.7).

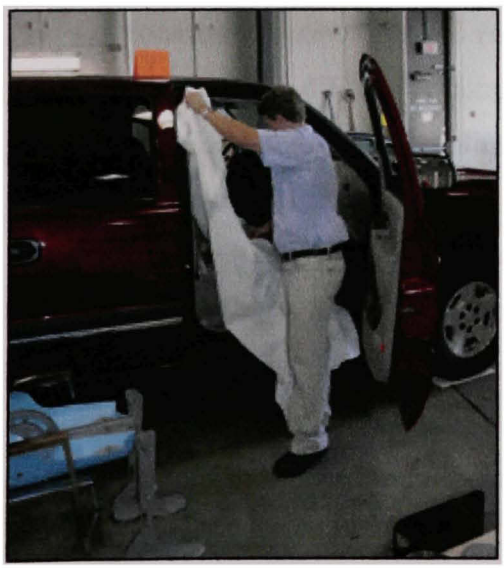


Figure 4.6 Pose de la mousseline.

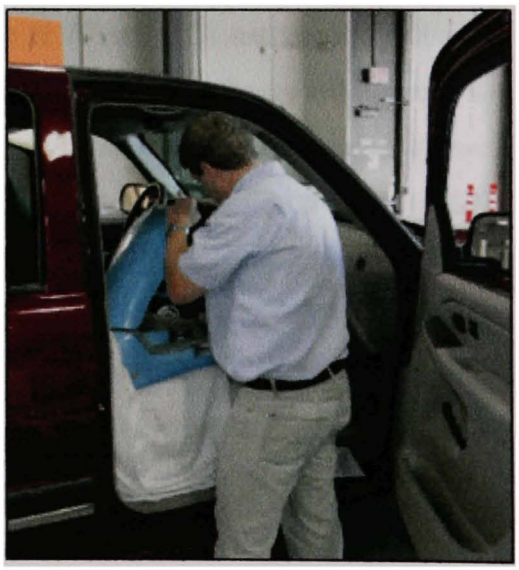


Figure 4.7 Installation d'OSCAR.

4.4.3.1 Installation d'OSCAR dans le siège

L'installation du mannequin OSCAR comprend une série de mouvements qui doivent être effectués dans une séquence déterminée pour assurer un positionnement répétitif et reproductif :

- OSCAR doit être placé de façon que son plan médian coïncide avec celui du siège.
- La droite passant par les boutons de visée du point H doit être parallèle au sol et perpendiculaire au plan médian longitudinal du siège en utilisant le niveau à bulle latéral disposé sur l'assise d'OSCAR comme point de référence.
- Les deux (2) ensembles de jambes et pieds doivent être avancés de telle façon que les pieds prennent des positions naturelles sur le plancher et être positionnés autant que possible de façon que les deux (2) pieds soient situés approximativement à la même distance du plan médian de la machine OSCAR.
- Les masses de cuisses et masses de jambes inférieures doivent être ajoutées tout en gardant OSCAR à niveau.
- Quelques manipulations sont ensuite nécessaires de manière à assurer que la position de l'assise contre le dossier de siège est constante d'une installation à l'autre :
    - L'élément de dos est incliné en avant contre la butée avant et OSCAR est éloigné légèrement du dossier de siège en utilisant la barre en T (élément 2 de la Figure 3.2).
    - Le poussoir à ressort calibré (élément 5 de la Figure 3.2) est ensuite utilisé pour enfoncer l'assise d'OSCAR contre le dossier de siège à une charge équivalente à 100 ± 10 N. Cette dernière est appliquée à l'intersection des secteurs circulaires de hanche et du logement de la barre en T. Notons toutefois que le mannequin OSCAR ISO ne possédait pas de poussoir à ressort calibré ce qui implique qu'un dynamomètre aurait dû être utilisé à la place pour simuler une force équivalente au ressort. Malheureusement, aucun dynamomètre n'était disponible lors des essais et les opérateurs ont donc tous utilisés leur propre jugement pour essayer de reproduire le plus fidèlement possible la force requise. Il va sans dire que ce paramètre aurait dû être contrôlé.
    - Le dos de la machine est ensuite reposé avec précaution sur le dossier du siège. Par la suite, il faut être prudent de ne pas faire glisser OSCAR vers l'avant.

- Les masses de fesses droite et gauche et ensuite, alternativement, les huit (8) masses de torse sont disposées à leur endroit respectif tout en maintenant OSCAR à niveau.
- En utilisant l'inclinomètre le long de la ligne de torse, il peut être confirmé que l'angle du dossier de siège est de 25 degrés ± 2 degrés (Figure 4.5).
- L'élément de dos de la machine est ensuite incliné vers l'avant à nouveau de manière à supprimer la contrainte sur le dossier de siège et OSCAR est balancé d'un côté à l'autre (latéralement) sur un arc de 10 degrés durant trois cycles complets afin de supprimer toute tension entre OSCAR et le siège. Durant ce balancement, la barre en T peut avoir tendance à s'écarter des alignements verticaux et horizontaux spécifiés. Cette barre en T doit donc être retenue avec la main durant les mouvements de bascule pour éviter qu'elle se déplace de manière longitudinale.
- Pour s'assurer qu'il n'y a pas de contrainte au niveau des pieds, ils sont relevés alternativement de la quantité minimale nécessaire pour éviter tout mouvement additionnel du pied. Lorsque les pieds sont déposés, les talons doivent être au contact de la structure prévue à cet effet.
- Le torse d'OSCAR est ramené sur le dossier de siège et le niveau latéral est vérifié une dernière fois pour s'assurer, que la machine est horizontale dans le plan transversal.

4.4.3.2 Installation de l'AMAT sur OSCAR

L'AMAT, avec la sonde du retrait déjà insérée, s'installe sur OSCAR en enfonçant la patte de fixation de l'AMAT sur les supports de torse et contre le montant situé entre les supports de torse d'OSCAR. La tête doit être déposée délicatement, car tout mouvement brusque peut occasionner le glissement d'OSCAR de part et d'autre du siège. C'est pourquoi il faut revérifier l'angle de torse sur l'inclinomètre après avoir installé l'AMAT pour s'assurer que l'angle requis de 25 degrés ± 2 degrés est toujours respecté. Si l'angle est inadéquat, il faut enlever l'AMAT et reprendre l'installation d'OSCAR.

Une fois l'angle de dossier confirmé, la sonde du haut servant à mesurer la hauteur de l'appuie-tête est installée. Ensuite, l'articulation au niveau du cou permet d'ajuster la tête en

position horizontale en se servant du niveau à bulle incorporé à l'AMAT. La combinaison OSCAR-AMAT est enfin prête pour la prise des mesures (Figure 4.8).



Figure 4.8 Combinaison OSCAR-AMAT avec inclinomètre.

4.4.3.3 Mesure de la hauteur et du retrait

Pour mesurer la hauteur, la sonde du haut est poussée longitudinalement vers l'arrière jusqu'à ce que l'extrémité de la sonde soit en contact ou tout juste au-dessus de l'appuie-tête (Figure 4.9). La hauteur de l'appuie-tête est déterminée en mesurant la distance entre le sommet de l'appuie-tête et la partie inférieure de la sonde à l'aide d'une règle ou d'un ruban à mesurer disposé à angle droit. La hauteur obtenue correspond à la hauteur de l'appuie-tête par rapport au sommet de la tête d'OSCAR.

Le retrait est mesuré avec la sonde du bas (Figure 4.9). La sonde est poussée longitudinalement en direction de l'appuie-tête jusqu'à ce qu'elle y touche. La force à

exercer contre la sonde avant de prendre la mesure n'est pas spécifiée, ce qui constitue une lacune. Cette dernière sera discutée plus en détail au chapitre 5. Le retrait peut être lu directement sur l'échelle calibrée inscrite sur la sonde. Une fois les mesures prises, l'opérateur désassemble l'AMAT et OSCAR dans l'ordre inverse de leur installation et enlève la mousseline de coton.

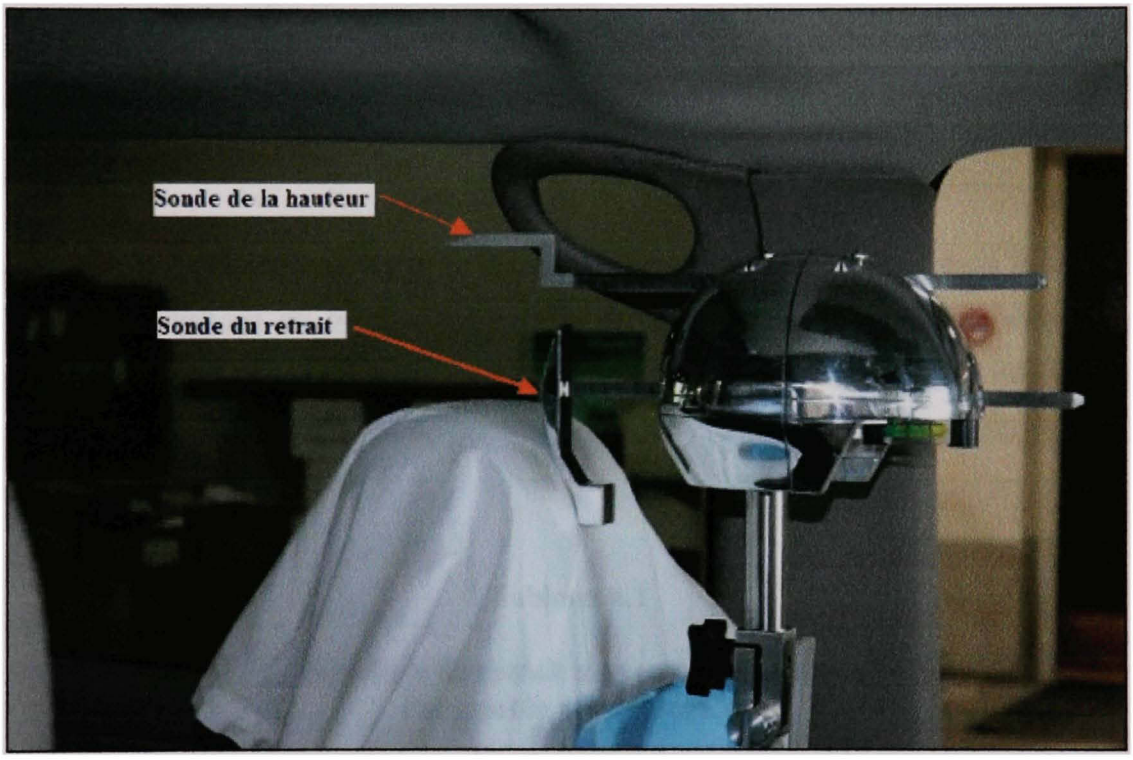


Figure 4.9 Mesure de la hauteur et du retrait avec les deux sondes de l'AMAT.

4.5 Traitement des données

Les données recueillies lors de la prise des mesures sont alors entrées dans un chiffrier Excel et envoyées à la firme de statistiques AnalysisWorks Inc pour être transformées et analysées. La firme a effectué des analyses de répétabilité et de reproductibilité pour sept (7) itérations. Des analyses additionnelles ont ensuite été réalisées par l'auteur de ce mémoire pour évaluer les résultats si seulement trois (3) itérations avaient été prises. Les résultats complets des essais sont fournis à l'annexe III.

Bien que des résultats de hauteur et de retrait soient présentés dans cette étude, le principal but de l'étude est de vérifier la fiabilité de l'AMAT pour effectuer la mesure du retrait, et non celle de la hauteur. La hauteur est une exigence qui existe depuis plus de trente ans et elle n'est pas mesurée à l'aide de l'AMAT dans la réglementation. Par contre, les résultats de la hauteur sont tout de même présentés, car l'AMAT est non seulement utilisé pour la mesure de la hauteur par les regroupements d'assureurs, mais il pourrait aussi remplacer la méthode conventionnelle utilisée pour mesurer la hauteur. Ceci étant dit, cette étude n'a pas pour but de comparer la méthode conventionnelle servant à mesurer la hauteur à celle de l'AMAT ou encore de déterminer si l'AMAT pourrait la remplacer.

Rappelons que l'exigence du retrait proposé dans la norme américaine et dans le règlement technique mondial est de 50 mm. Le tableau 4.1 illustre le retrait moyen mesuré pour l'ensemble des huit (8) véhicules utilisés dans le cadre de cette étude. Il est intéressant de noter que seulement deux (2) véhicules auraient rencontré cette exigence si elle avait été en vigueur.

Tableau 4.1

Résultats de retrait moyen obtenus sur l'ensemble des véhicules

	Retrait moyen mesuré	± 2 σ
Silverado	80 mm	± 5.7 mm
Jeep	101 mm	± 3.2 mm
Sienna	65 mm	± 5.8 mm
Malibu	93 mm	± 2 mm
Accent	89 mm	± 3.3 mm
Focus	28 mm	± 3.2 mm
Caliber	82 mm	± 2.3 mm
C230	47 mm	± 2.6 mm

4.5.1 Répétabilité obtenue par les opérateurs

Les résultats des mesures de hauteur et de retrait obtenus par chacun des opérateurs sur chacun des véhicules sont fournis aux paragraphes 4.5.1.1 et 4.5.1.2, respectivement. Plus les courbes sont horizontales, plus cela indique des résultats constants et une bonne répétabilité. Les causes de variation des valeurs de retrait mesurées seront discutées plus en détail au chapitre 5.

4.5.1.1 Répétabilité de la mesure de la hauteur

Les tableaux 4.2 à 4.9 ainsi que les Figures 4.10 à 4.17 illustrent la distribution des mesures de hauteur acquises par chacun des opérateurs pour chacun des véhicules. Le meilleur résultat de répétabilité pour la hauteur a été obtenu par l'opérateur n° 3 sur le véhicule n° 8. Ce dernier a obtenu sept (7) résultats identiques, ce qui lui a conféré une étendue nulle et un écart-type nul. Le pire résultat a été obtenu par l'opérateur n° 1 sur le véhicule n° 3, avec un écart-type de 0,28 cm et une étendue moyenne de 0,8 cm. L'une des sept mesures effectuées par ce dernier se trouvait passablement à l'écart des autres mesures obtenues, ce qui explique cet écart-type et cette étendue plus importante. Les causes pour la variation des valeurs mesurées de hauteur vont être discutées plus en détail au chapitre 5.

Tableau 4.2

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 1

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	10.3	10.4	10.3	10.3
Mesure 2	10.1	10.7	10.6	10.5
Mesure 3	10.2	10.3	10.5	10.6
Mesure 4	10.4	10.5	10.6	10.7
Mesure 5	10.4	10.3	10.5	10.6
Mesure 6	10.3	10.4	10.6	10.6
Mesure 7	10.3	10.4	10.6	10.6
Moyenne	10.29	10.43	10.53	10.56
Ecart-type	0.11	0.14	0.11	0.13
Min	10.10	10.30	10.30	10.30
Max	10.40	10.70	10.60	10.70
Etendue	0.30	0.40	0.30	0.40

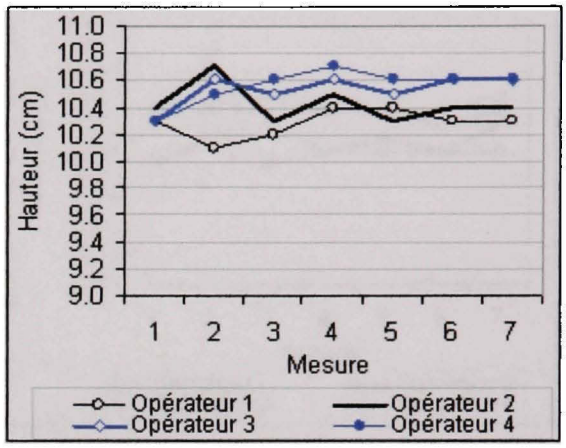


Figure 4.10 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 1.

Tableau 4.3

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 2

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	9.4	9.1	9.4	9.5
Mesure 2	9.3	9.3	9.4	9.2
Mesure 3	9.2	9.7	9.4	9.2
Mesure 4	9.2	9.2	9.4	9.7
Mesure 5	9.3	9.2	9.2	9.2
Mesure 6	9.3	9.3	9.4	9.3
Mesure 7	9.2	9.2	9.3	9.3
Moyenne	9.27	9.29	9.36	9.34
Ecart-type	0.08	0.20	0.08	0.19
Min	9.20	9.10	9.20	9.20
Max	9.40	9.70	9.40	9.70
Etendue	0.20	0.60	0.20	0.50

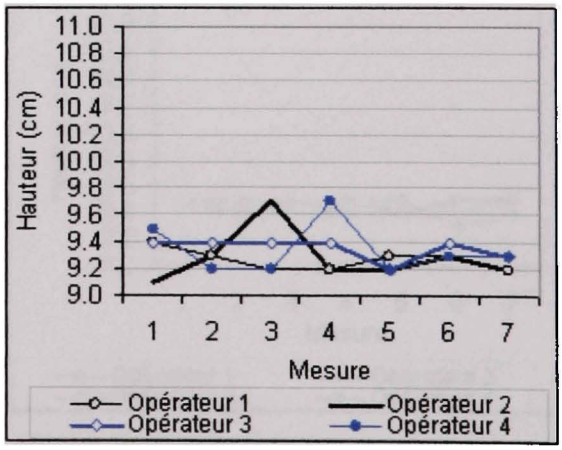


Figure 4.11 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 2.

Tableau 4.4

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 3

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	9.3	8.9	9.3	9.3
Mesure 2	9.7	9.1	9.4	9.3
Mesure 3	8.9	9.2	9.4	9.3
Mesure 4	9.0	9.0	9.3	9.3
Mesure 5	9.0	9.1	9.3	9.3
Mesure 6	9.0	9.0	9.2	9.3
Mesure 7	9.0	9.2	9.3	9.4
Moyenne	9.13	9.07	9.31	9.31
Ecart-type	0.28	0.11	0.07	0.04
Min	8.90	8.90	9.20	9.30
Max	9.70	9.20	9.40	9.40
Etendue	0.80	0.30	0.20	0.10

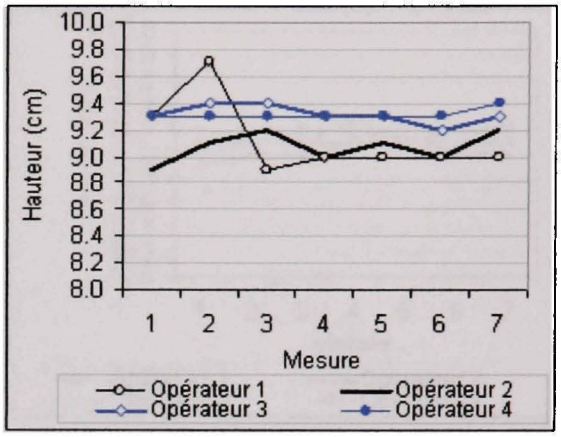


Figure 4.12 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 3.

Tableau 4.5

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 4

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	9.4	9.5	9.5	9.4
Mesure 2	9.4	9.4	9.5	9.5
Mesure 3	9.5	9.5	9.4	9.5
Mesure 4	9.5	9.4	9.4	9.5
Mesure 5	9.4	9.4	9.4	9.5
Mesure 6	9.5	9.5	9.4	9.3
Mesure 7	9.5	9.5	9.4	9.4
Moyenne	9.46	9.46	9.43	9.44
Ecart-type	0.05	0.05	0.05	0.08
Min	9.40	9.40	9.40	9.30
Max	9.50	9.50	9.50	9.50
Etendue	0.10	0.10	0.10	0.20

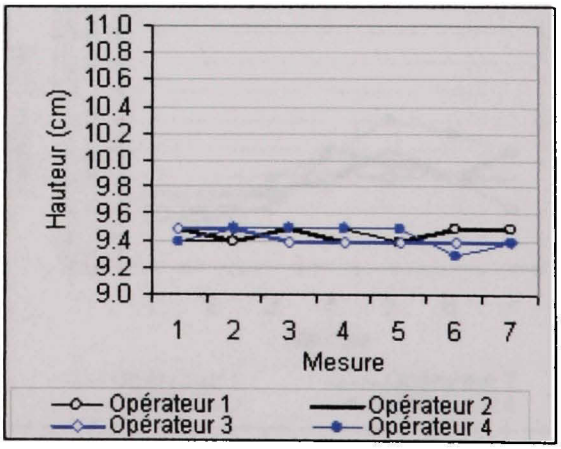


Figure 4.13 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 4.

Tableau 4.6

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 5

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	11.0	10.9	11.1	11.0
Mesure 2	11.1	11.0	11.1	11.1
Mesure 3	11.1	11.0	11.1	11.2
Mesure 4	11.1	11.1	11.3	11.2
Mesure 5	11.1	11.1	11.1	11.1
Mesure 6	11.2	11.0	11.1	11.2
Mesure 7	11.2	11.0	11.1	11.1
Moyenne	11.11	11.01	11.13	11.13
Ecart-type	0.07	0.07	0.08	0.08
Min	11.00	10.90	11.10	11.00
Max	11.20	11.10	11.30	11.20
Etendue	0.20	0.20	0.20	0.20

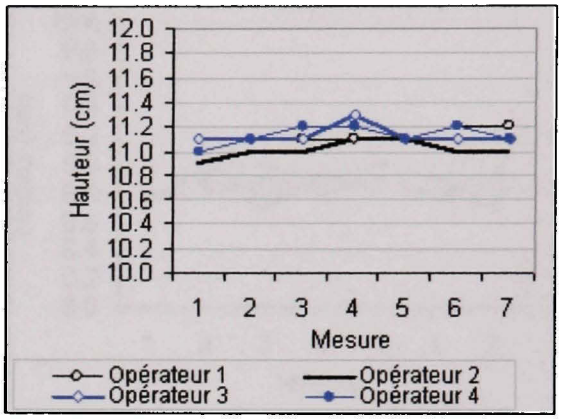


Figure 4.14 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 5.

Tableau 4.7

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 6

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	9.4	9.5	9.3	9.3
Mesure 2	9.4	9.5	9.4	9.3
Mesure 3	9.5	9.5	9.4	9.6
Mesure 4	9.6	9.6	9.6	9.6
Mesure 5	9.6	9.8	9.7	10.0
Mesure 6	9.6	9.6	9.6	9.9
Mesure 7	9.4	9.6	9.6	9.6
Moyenne	9.50	9.59	9.57	9.67
Ecart-type	0.10	0.11	0.21	0.28
Min	9.40	9.50	9.30	9.30
Max	9.60	9.80	9.80	10.00
Etendue	0.20	0.30	0.50	0.70

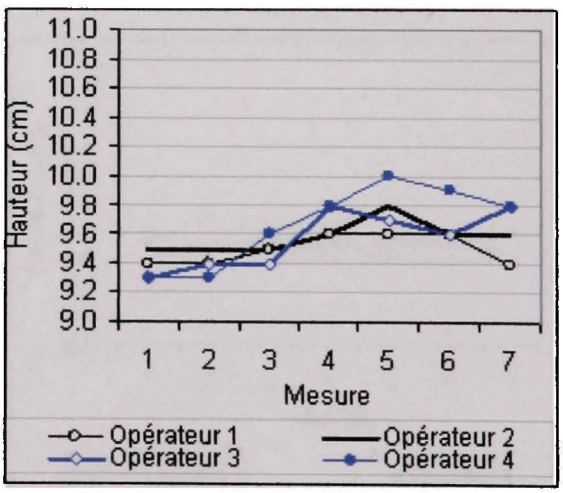


Figure 4.15 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 6.

Tableau 4.8

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 7

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	8.8	8.8	8.7	8.8
Mesure 2	8.9	8.8	9.0	8.8
Mesure 3	8.7	8.9	8.8	9.0
Mesure 4	8.9	8.8	8.9	8.9
Mesure 5	8.8	8.9	8.8	9.0
Mesure 6	8.8	8.8	8.8	8.9
Mesure 7	8.9	8.9	8.7	8.8
Moyenne	8.83	8.84	8.81	8.89
Ecart-type	0.08	0.05	0.11	0.09
Min	8.70	8.80	8.70	8.80
Max	8.90	8.90	9.00	9.00
Etendue	0.20	0.10	0.30	0.20

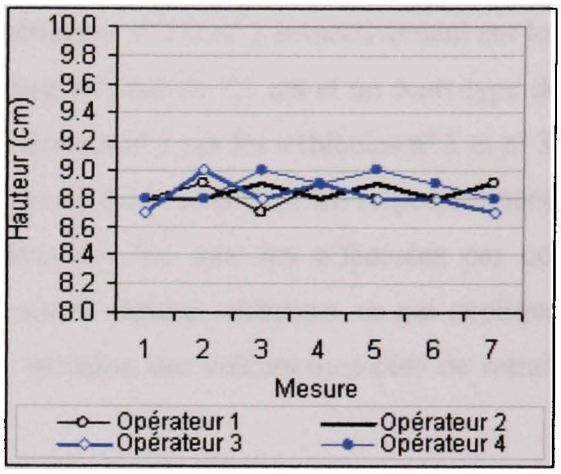


Figure 4.16 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 7

Tableau 4.9

Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 8

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	5.8	5.6	5.6	5.7
Mesure 2	5.6	5.7	5.6	5.9
Mesure 3	5.6	5.7	5.6	5.8
Mesure 4	5.7	5.7	5.6	5.7
Mesure 5	5.6	5.7	5.6	5.7
Mesure 6	5.8	5.8	5.6	5.7
Mesure 7	5.6	5.6	5.6	5.8
Moyenne	5.67	5.69	5.60	5.76
Ecart-type	0.10	0.07	0.00	0.08
Min	5.60	5.60	5.60	5.70
Max	5.80	5.80	5.60	5.90
Etendue	0.20	0.20	0.00	0.20

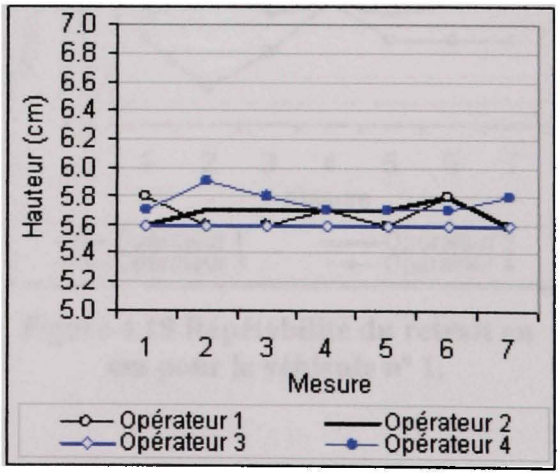


Figure 4.17 Répétabilité de la hauteur en cm pour le véhicule n° 8.

4.5.1.2 Répétabilité de la mesure du retrait

Les tableaux 4.10 à 4.17 ainsi que les Figures 4.18 à 4.25 illustrent la distribution des mesures de retrait par chacun des opérateurs pour chacun des véhicules. Le meilleur résultat de répétabilité pour le retrait a été obtenu par les opérateurs n° 2 et n° 3 respectivement sur les véhicules n° 7 et n° 2. Ils ont tous les deux obtenu une étendue de 0,1 cm et un écart-type de 0,05 cm. Les pires résultats ont été obtenus par l'opérateur n° 1 sur les véhicules n° 1 et n° 3, avec des étendues de 0,7 et 0,8 cm, et des écarts-types de 0,21 cm et 0,28 cm respectivement. Comme dans le cas des mesures de hauteur, certaines des mesures effectuées par cet opérateur se trouvaient passablement à l'écart des autres mesures obtenues, ce qui explique ces étendues plus importantes. Les causes pour la variation des valeurs mesurées de retrait vont être discutées plus en détail au chapitre 5.

Tableau 4.10

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 1

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	7.7	8.0	7.9	7.9
Mesure 2	7.3	8.4	8.2	8.3
Mesure 3	7.6	7.9	8.1	8.3
Mesure 4	8.0	8.0	8.1	8.4
Mesure 5	7.7	7.9	8.0	8.2
Mesure 6	7.7	8.0	8.4	8.4
Mesure 7	7.7	8.0	8.3	8.4
Moyenne	7.67	8.03	8.14	8.27
Ecart-type	0.21	0.17	0.17	0.18
Min	7.30	7.90	7.90	7.90
Max	8.00	8.40	8.40	8.40
Etendue	0.70	0.50	0.50	0.50

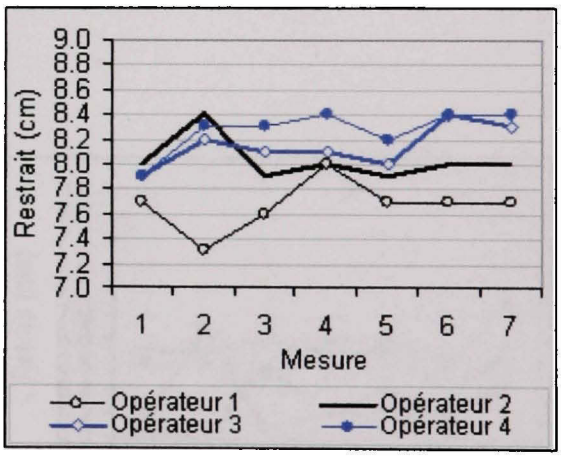


Figure 4.18 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 1.

Tableau 4.11

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 2

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	10.3	10.0	10.1	10.6
Mesure 2	10.0	10.1	10.1	10.1
Mesure 3	10.0	10.6	10.1	10.3
Mesure 4	10.0	10.0	10.2	10.2
Mesure 5	10.1	10.0	10.1	10.2
Mesure 6	10.1	10.0	10.2	10.2
Mesure 7	10.0	10.0	10.2	10.2
Moyenne	10.07	10.10	10.14	10.26
Ecart-type	0.11	0.22	0.05	0.16
Min	10.00	10.00	10.10	10.10
Max	10.30	10.60	10.20	10.60
Etendue	0.30	0.60	0.10	0.50

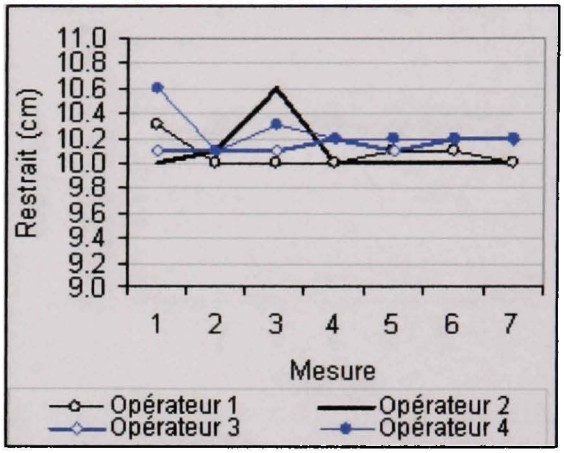


Figure 4.19 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 2.

Tableau 4.12

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 3

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	6.1	6.1	6.7	6.6
Mesure 2	6.9	6.0	6.7	6.6
Mesure 3	6.1	6.6	6.8	6.5
Mesure 4	6.2	6.2	6.7	6.8
Mesure 5	6.2	6.4	6.7	6.8
Mesure 6	6.2	6.2	6.4	6.6
Mesure 7	6.4	6.5	6.7	7.1
Moyenne	6.30	6.29	6.67	6.71
Ecart-type	0.26	0.22	0.13	0.20
Min	6.10	6.00	6.40	6.50
Max	6.90	6.60	6.80	7.10
Etendue	0.80	0.60	0.40	0.60

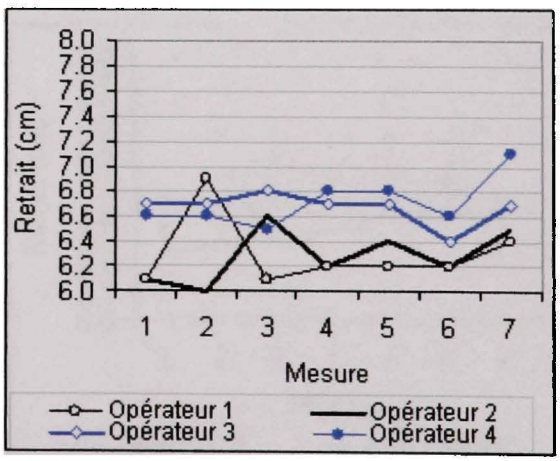


Figure 4.20 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 3.

Tableau 4.13

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 4

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	9.2	9.3	9.2	9.4
Mesure 2	9.3	9.3	9.2	9.4
Mesure 3	9.4	9.3	9.3	9.6
Mesure 4	9.3	9.4	9.4	9.4
Mesure 5	9.4	9.2	9.3	9.4
Mesure 6	9.2	9.4	9.3	9.4
Mesure 7	9.1	9.4	9.3	9.4
Moyenne	9.27	9.33	9.29	9.43
Ecart-type	0.11	0.09	0.07	0.08
Min	9.10	9.20	9.20	9.40
Max	9.40	9.40	9.40	9.60
Etendue	0.30	0.20	0.20	0.20

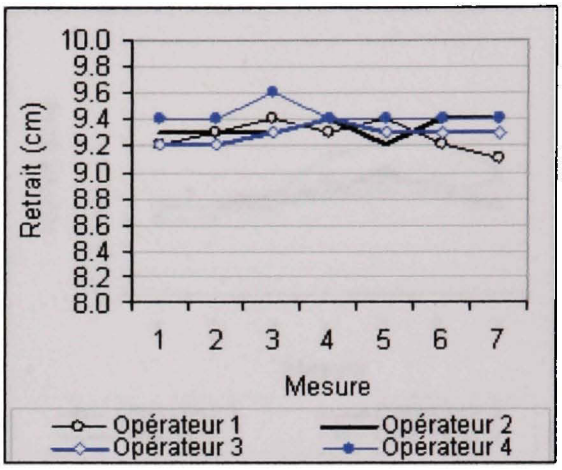


Figure 4.21 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 4.

Tableau 4.14

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 5

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	8.7	8.5	9.0	8.9
Mesure 2	8.9	8.6	8.8	8.9
Mesure 3	8.9	8.6	8.9	9.2
Mesure 4	8.9	8.7	9.1	9.1
Mesure 5	9.1	8.8	8.9	8.9
Mesure 6	9.0	8.8	8.9	9.1
Mesure 7	8.9	8.8	8.8	8.9
Moyenne	8.91	8.69	8.91	9.00
Ecart-type	0.12	0.12	0.11	0.13
Min	8.70	8.50	8.80	8.90
Max	9.10	8.80	9.10	9.20
Etendue	0.40	0.30	0.30	0.30

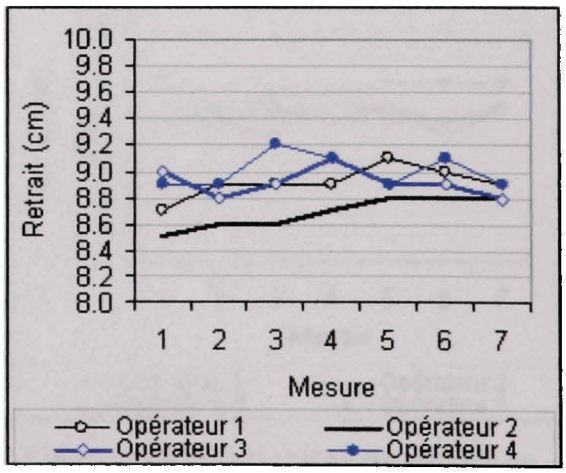


Figure 4.22 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 5.

Tableau 4.15

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 6

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	2.7	2.7	2.7	2.6
Mesure 2	2.7	2.7	2.7	2.6
Mesure 3	2.7	2.8	2.7	2.8
Mesure 4	2.9	2.8	2.8	3.1
Mesure 5	2.9	3.0	2.8	3.2
Mesure 6	2.9	2.8	2.8	3.2
Mesure 7	2.7	2.7	2.9	3.0
Moyenne	2.79	2.79	2.77	2.93
Ecart-type	0.11	0.11	0.08	0.26
Min	2.70	2.70	2.70	2.60
Max	2.90	3.00	2.90	3.20
Etendue	0.20	0.30	0.20	0.60

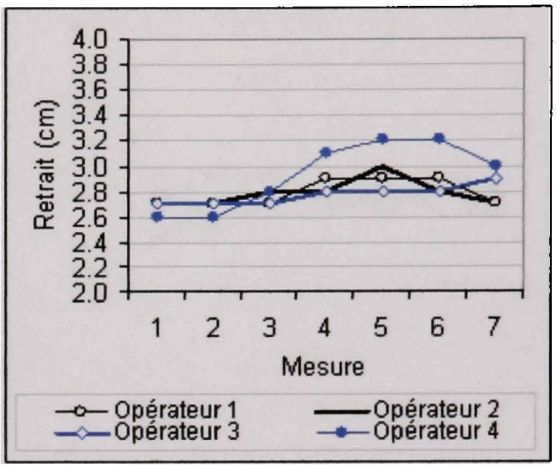


Figure 4.23 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 6.

Tableau 4.16

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 7

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	8.1	8.1	8.1	8.4
Mesure 2	8.1	8.1	8.2	8.2
Mesure 3	8.0	8.2	8.1	8.3
Mesure 4	8.1	8.1	8.2	8.3
Mesure 5	8.1	8.2	8.2	8.4
Mesure 6	8.1	8.1	8.0	8.4
Mesure 7	8.2	8.2	8.2	8.4
Moyenne	8.10	8.14	8.14	8.34
Ecart-type	0.06	0.05	0.08	0.08
Min	8.00	8.10	8.00	8.20
Max	8.20	8.20	8.20	8.40
Etendue	0.20	0.10	0.20	0.20

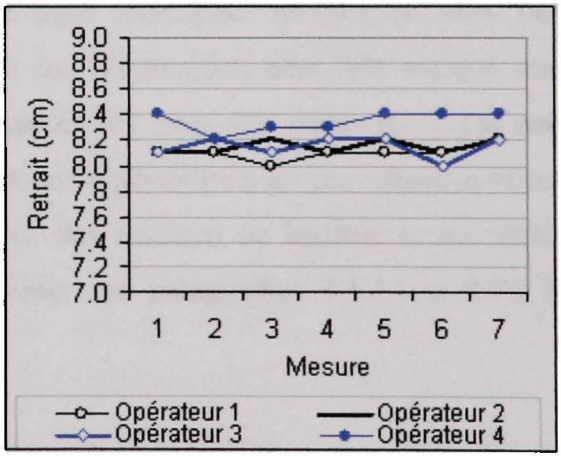


Figure 4.24 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 7.

Tableau 4.17

Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 8

Mesure #	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 3	Opérateur 4
Mesure 1	4.7	4.4	4.8	4.9
Mesure 2	4.5	4.7	4.6	4.9
Mesure 3	4.7	4.7	4.6	4.9
Mesure 4	4.7	4.7	4.6	4.7
Mesure 5	4.6	4.7	4.9	4.8
Mesure 6	4.9	4.8	4.6	4.6
Mesure 7	4.8	4.6	4.6	4.7
Moyenne	4.70	4.66	4.67	4.79
Ecart-type	0.13	0.13	0.13	0.12
Min	4.50	4.40	4.60	4.60
Max	4.90	4.80	4.90	4.90
Etendue	0.40	0.40	0.30	0.30

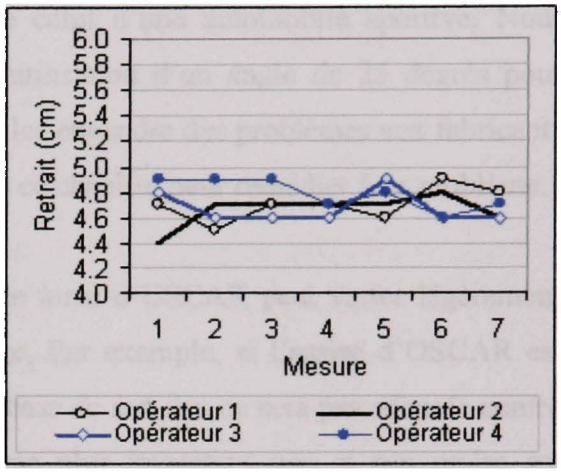


Figure 4.25 Répétabilité du retrait en cm pour le véhicule n° 8.

4.5.2 Reproductibilité obtenue par les opérateurs

Les tableaux et figures du paragraphe 4.5.1 ont démontré que dans l'ensemble les opérateurs avaient obtenu, sur une base individuelle, des résultats passablement répétitifs. Par contre, en observant les courbes de certaines figures, on peut remarquer qu'elles ne sont pas nécessairement bien regroupées. Plus les courbes sont regroupées, plus cela indique une bonne reproductibilité alors que des courbes distantes les unes des autres indiquent une mauvaise reproductibilité. C'est donc dire qu'une bonne répétabilité n'est pas nécessairement garante d'une bonne reproductibilité. Les résultats des mesures de hauteur et de retrait obtenus pour l'ensemble des opérateurs sont fournis aux paragraphes 4.5.2.1 et 4.5.2.2, respectivement.

Le tableau 4.18 illustre la variation des angles de torse obtenue lors des mesures de retrait et de hauteur. L'angle requis pour le torse d'OSCAR est 25 degrés ± 2 degrés. La valeur de 25 degrés est utilisée, car il s'agit de l'angle de dossier de siège auquel la NHTSA réglemente ses sièges. Il ne s'agit pas d'une limitation de l'appareil de mesure mais d'un point référence commun. Il va sans dire qu'il n'est pas très logique de tester tous les véhicules à un angle de

dossier commun de 25 degrés parce que cet angle n'est pas nécessairement l'angle optimal d'utilisation pour assurer confort et bonne visibilité aux occupants dans tous les types de véhicules. Par exemple, une camionnette est conçue pour être utilisée avec un dossier de siège beaucoup moins incliné vers l'arrière que celui d'une automobile sportive. Nous verrons plus en détail au chapitre 5 pourquoi l'utilisation d'un angle de 25 degrés pour vérifier la conformité des sièges de tous les véhicules engendre des problèmes aux fabricants automobiles. Une solution sera aussi apportée dans ce chapitre pour remédier à ce problème.

Pour un angle de dossier de siège fixe, l'angle de torse d'OSCAR peut varier légèrement selon son positionnement longitudinal sur le siège. Par exemple, si l'assise d'OSCAR est positionnée davantage vers l'avant sur le siège, la base de son dos ne sera pas adossée contre le dossier et cela occasionnera un angle de torse plus important que si son assise est positionnée plus à l'arrière sur le siège et que la base de son dos repose contre le dossier de siège. La série de manipulations requises pour l'installation d'OSCAR et de l'AMAT permet de réduire l'étendue des angles d'une installation. Parce que l'angle de torse a une incidence sur la position de la tête et des sondes de l'AMAT, il est escompté que la variabilité des angles de dossier de siège ait un effet sur les mesures. C'est pourquoi la variabilité au niveau des angles de torse devrait être la plus basse que possible, car pour un siège donné, des angles de torses différents donneront sans doute des mesures de hauteur et de retrait différents.

On dénote dans le tableau 4.18 que le véhicule n° 5 est hors norme, car l'angle de torse n'est pas de 25 degrés ± 2 degrés comme requis. Cet écart n'a cependant pas eu de répercussion considérable sur la répétabilité ou la reproductibilité (voir tableau 4.19), car bien que hors-norme, l'étendue des angles de torse est demeurée passablement serrée pour ce véhicule, soit de 1,5 degré avec un écart-type de 0,4 degré.

Tableau 4.18

Variation de l'angle de torse lors des mesures de hauteur et de retrait

	Véhicule 1	Véhicule 2	Véhicule 3	Véhicule 4	Véhicule 5	Véhicule 6	Véhicule 7	Véhicule 8
Moyenne	23.7	24.1	23.8	23.8	22.7	23.4	25.0	24.1
Écart-type	0.5	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.1	0.4
Min	23.0	23.5	23.0	23.0	22.0	22.5	24.5	23.5
Max	24.5	24.5	26.5	24.5	23.5	24.0	25.5	24.5
Étendue	1.5	1.0	3.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0

Pour le véhicule n° 3, une variabilité importante existe avec 3,5 degrés d'étendue et un écart-type de 0,8 degré. C'est aussi sur ce véhicule que les pires résultats de reproductibilité, autant pour la hauteur que le retrait, ont été compilés. Cela est illustré au tableau 4.19.

Le véhicule n° 1 est l'autre véhicule sur lequel la pire variabilité a été obtenue au niveau des angles de torse d'OSCAR avec une étendue de 1,5 degré et un écart-type de 0,5 degré. Cependant, bien que les résultats au niveau de la variabilité du retrait soient parmi les pires compilés, la variabilité au niveau de la hauteur est plus importante sur le véhicule n° 6, un véhicule qui a pourtant obtenu une variabilité moindre au niveau des angles de torse. Dans le même ordre d'idées, la variabilité la plus faible pour les angles de torse a été obtenue sur le véhicule n° 7 avec des résultats d'étendue et d'écart-type respectifs de 1 degré et 0,1 degré, et c'est justement sur ce véhicule qu'une variabilité moindre a été obtenue au niveau des mesures du retrait. Toutefois, ce n'est pas le cas en ce qui a trait aux mesures de la hauteur.

Bref, bien que la variabilité de l'angle de torse semble intimement liée à celle de la mesure du retrait, les résultats obtenus ne permettent pas de dresser un constat similaire au niveau de la mesure de la hauteur. Il faudrait effectuer une nouvelle étude avec un plus grand échantillon pour obtenir un portrait plus complet de l'ampleur qu'a la variabilité de l'angle de torse sur la variabilité des mesures de hauteur.

Tableau 4.19

Effet de l'angle de torse sur les mesures de hauteur et de retrait (1 itération de mesure)

		Véh.1	Véh.2	Véh.3	Véh.4	Véh.5	Véh.6	Véh.7	Véh.8
Angle de torse	Étendue	1.5	1.0	3.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0
	Écart-type	0.5	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.1	0.4
Hauteur	Étendue	6.0	6.0	8.0	2.0	4.0	7.0	3.0	3.0
	Écart-type	1.6	0.8	1.8	0.6	0.8	1.9	0.8	0.9
Retrait	Étendue	11.0	6.0	11.0	5.0	7.0	6.0	4.0	5.0
	Écart-type	2.9	1.6	2.9	1.0	1.6	1.6	1.2	1.3

4.5.2.1 Reproductibilité de la mesure de la hauteur

Comme illustré au tableau 4.20, le meilleur résultat de reproductibilité pour la hauteur a été obtenu sur le véhicule n° 4, avec une étendue moyenne de 2 mm et un écart-type de 0,6 mm, alors que le pire résultat a été obtenu sur le véhicule n° 3, avec 8 mm et un écart-type de 1,8 mm. Comme nous l'avons vu au paragraphe 4.5.2, ce résultat pour le véhicule n° 3 semble provenir de la plus grande variation d'angles de torse obtenue lors de l'installation d'OSCAR et de l'AMAT dans le siège de ce véhicule (tableaux 4.18 et 4.19). On note aussi que la variabilité est réduite en prenant la moyenne de sept (7) itérations de mesures de hauteur plutôt qu'une seule mesure. L'étendue moyenne passe ainsi de 4,9 mm à 1,4 mm et l'erreur type de 2,2 mm à 0,3 mm. On peut remarquer toutefois qu'en utilisant la moyenne de sept (7) itérations, c'est le véhicule n° 1 qui a obtenu les pires résultats. Nous verrons au chapitre 5 que cette variation sur ce véhicule s'explique par d'autres facteurs que l'angle de torse.

Fait à noter, le tableau 4.20 dénote que pour le véhicule n° 6, une variabilité moindre a été obtenue avec trois (3) itérations qu'avec sept (7) itérations. Cela s'explique par le fait que les quatre opérateurs lors de leurs trois (3) premières mesures sur ce véhicule ont obtenu des résultats très constants et regroupés (voir figure 4.15), mais cette propension s'est légèrement détériorée lors des quatre (4) mesures ultérieures prises par chacun d'entre eux.

Tableau 4.20

Variabilité de la hauteur en fonction du nombre d'itérations

Véhicule #	1 itération	3 iterations	7 itérations
1	6 mm	2.7 mm	2.7 mm
2	6 mm	1 mm	0.9 mm
3	8 mm	3 mm	2.4 mm
4	2 mm	0.3 mm	0.3 mm
5	4 mm	1.3 mm	1.1 mm
6	7 mm	1.3 mm	1.7 mm
7	3 mm	0.7 mm	0.7 mm
8	3 mm	2 mm	1.6 mm
Moyenne	4.9 mm	1.5 mm	1.4 mm
Écart-type	2.2 mm	0.9 mm	0.8 mm
Erreur type	2.2 mm	0.5 mm	0.3 mm

Le tableau 4.21 illustre l'erreur type pour l'ensemble des opérateurs, exprimée en millimètres pour des écarts types simple, double et triple. Celles-ci correspondent respectivement à des niveaux de certitude de 68,32 %, 95,54 % et 99,97 %. L'erreur type donne une bonne estimation du niveau d'erreur de reproductibilité de l'AMAT. Ainsi, on note que pour un niveau de certitude de 95,54 % (2 écarts types), un niveau d'erreur de 4,3 mm est à envisager avec l'AMAT pour la mesure de la hauteur si seulement une seule mesure est prise, 1,1 mm si la moyenne de trois (3) mesures est prise, et 0,6 mm si la moyenne de sept (7) mesures est prise, ce qui est relativement satisfaisant.

Tableau 4.21

Erreur type de la hauteur en mm pour divers écarts types

	Intervalles de confiance		
Nombre d'itérations par opérateur	± 1σ (≈68%)	± 2σ (≈95%)	± 3σ (≈100%)
1	±2.2 mm	±4.3 mm	±6.5 mm
3	±0.5 mm	±1.1 mm	±1.6 mm
7	±0.3 mm	±0.6 mm	±1 mm

4.5.2.2 Reproductibilité de la mesure du retrait

Comme illustré au tableau 4.22, le meilleur résultat de reproductibilité pour le retrait a été obtenu sur le véhicule n° 7, avec une étendue moyenne de 4 mm et un écart-type de 1,2 mm, alors que le pire résultat a été obtenu sur les véhicules n° 1 et n° 3, avec une même étendue de 11 mm et un même écart-type de 2,9 mm. Comme mentionnée au paragraphe 4.5.2, la reproductibilité moins désirable pour le véhicule n° 3 peut s'expliquer par la plus grande étendue d'angles de dossier pour la prise de mesures sur ce véhicule. Pour ce qui est du véhicule n° 1, la reproductibilité moins désirable s'explique non seulement en raison de la plus grande variabilité au niveau des angles de torse, mais aussi en raison du fait que l'opérateur n° 1 a obtenu des résultats passablement différents de ceux des trois autres opérateurs (voir Figure 4.18). Cet opérateur a noté dans ses commentaires qu'il avait eu de la difficulté à faire coïncider le plan médian d'OSCAR avec celui du siège. Ce qui fait en sorte que la mesure du retrait fut effectuée en un endroit légèrement désaxé par rapport au centre de l'appuie-tête (voir paragraphe 5.1.2.1). Ici encore, on note qu'en prenant la moyenne de sept (7) itérations de mesures de retrait, plutôt qu'une seule mesure, l'étendue moyenne passe de 6,9 mm à 2,8 mm et l'erreur type de 2,7 mm à 0,6 mm.

Tableau 4.22

Variabilité du retrait en mm en fonction du nombre d'itérations

Véhicule #	1 itération	3 iterations	7 itérations
1	11 mm	6.3 mm	6 mm
2	6 mm	2.3 mm	1.9 mm
3	11 mm	5 mm	4.3 mm
4	5 mm	2.3 mm	1.6 mm
5	7 mm	4.3 mm	3.1 mm
6	6 mm	0.7 mm	1.6 mm
7	4 mm	2.3 mm	2.4 mm
8	5 mm	3 mm	1.3 mm
Moyenne	6.9 mm	3.3 mm	2.8 mm
Écart-type	2.7 mm	1.8 mm	1.6 mm
Erreur-type	2.7 mm	1 mm	0.6 mm

Le tableau 4.23 illustre l'erreur type, l'erreur type relative et l'ajout de la variabilité de mesure requise à l'exigence proposée de 50 mm selon le nombre d'itérations et pour divers intervalles de confiance (écarts types simple, double et triple). Pour un niveau de certitude de 95,54 % (2 écarts types), une erreur type de 5,39 mm est à envisager avec l'AMAT pour la mesure du retrait si seulement une mesure est prise, 2,09 mm si trois (3) mesures sont prises, et 1,24 mm si sept (7) mesures sont prises. Cela correspond à des erreurs types relatives de 10,8 %, 4,2 % et 2,5 % respectivement. Pour améliorer la reproductibilité et garder l'erreur type relative inférieure à 10 %, il serait préférable de prendre la moyenne d'au moins trois (3) mesures plutôt que de prendre une seule mesure. Par ailleurs, il faudrait ajouter la variabilité de mesure correspondant à l'exigence proposée de 50 mm. Par exemple, si trois (3) itérations de mesures sont prises, il faudrait augmenter l'exigence du retrait maximal à 52 mm pour un intervalle de confiance de 95,54 %.

Tableau 4.23

Erreur type du retrait à divers écarts types

Nombre d'itérations de mesures	Exigence du retrait maximale proposée	Erreur type		Erreur type relative		Ajout de la variabilité de mesure à l'exigence proposée de 50 mm	
		±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)	±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)	±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)
1	50 mm	± 5.39 mm	± 8.09 mm	10.8 %	16.2 %	55 mm	58 mm
3	50 mm	± 2.09 mm	± 3.14 mm	4.2 %	6.3 %	52 mm	53 mm
7	50 mm	± 1.24 mm	± 1.86 mm	2.5 %	3.7 %	51 mm	52 mm

CHAPITRE 5

SYNTHÈSE DES DISCUSSIONS

Le présent chapitre a pour objectif de passer en revue les lacunes et limitations qui ont été observées dans le cadre de cette étude avec la combinaison OSCAR-AMAT ou avec les instructions propres à leur utilisation. Ce chapitre effectue également une comparaison entre les résultats obtenus lors de cette étude et ceux obtenus par les divers participants aux rencontres de l'UNECE servant à l'élaboration du règlement technique mondial sur les appuie-tête.

5.1 Sources d'erreurs

Plusieurs sources d'erreurs potentielles ont été déterminées lors de l'analyse des résultats obtenus au cours de cette étude. Ces sources d'erreurs peuvent avoir augmenté ou réduit la variabilité des mesures obtenues. Elles sont abordées en détail dans les paragraphes qui suivent.

5.1.1 Tolérance de l'angle de torse d'OSCAR

Les instructions d'utilisation de l'AMAT requièrent que l'angle de torse d'OSCAR soit de 25 degrés ± 2 degrés lors de la mesure du retrait et de la hauteur. Par contre, comme il a été démontré au paragraphe 4.5.2., l'étendue des angles possibles de positions de réglage du dossier de siège a un effet sur la variation des mesures de retrait obtenues. Pour améliorer la répétabilité et la reproductibilité, il serait préférable de restreindre cette tolérance à 25 degrés ± 1 degré et ainsi diminuer cette variation.

5.1.2 Difficultés avec la forme du siège et le revêtement

Certains sièges aux formes prononcées ou au revêtement plus lisse ont rendu le positionnement de la machine OSCAR instable. Les paragraphes 5.2.2.1 et 5.2.2.2 expliquent les difficultés rencontrées au niveau de ces deux aspects.

5.1.2.1 Forme du siège

Comme indiqué au paragraphe 4.5.2.2, une difficulté a été observée par l'opérateur n° 1 sur le véhicule n° 1. Cet opérateur a obtenu la plus grande étendue de mesures. Cela a engendré des résultats de reproductibilité plus faibles, surtout pour la mesure du retrait (Figure 4.18). Lors du positionnement d'OSCAR dans le siège du véhicule n° 1, il a été remarqué que la forme du siège était convexe (le centre du siège était plus élevé que les rebords) offrant un moins bon soutien de la structure d'OSCAR. Par ailleurs, le dossier de siège n'était pas symétrique de part et d'autre du plan médian du siège. Ces deux conditions faisaient en sorte qu'OSCAR basculait latéralement (Figure 5.1) créant un écart entre l'axe longitudinal du dossier de siège et l'axe longitudinal du torse d'OSCAR.

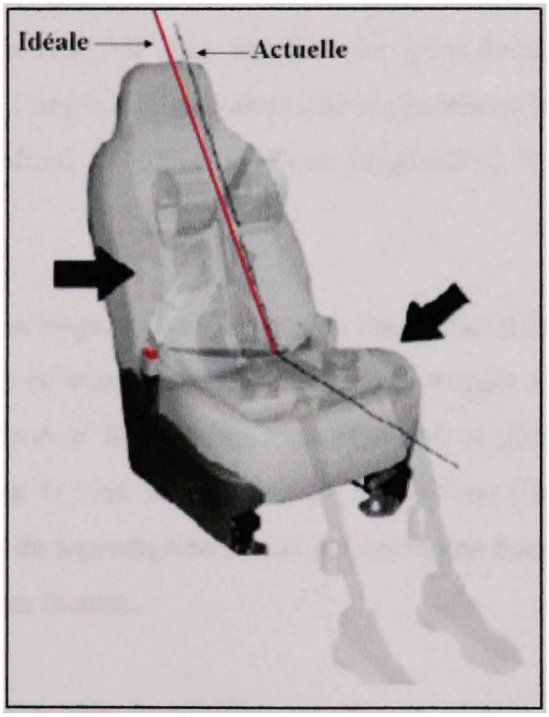


Figure 5.1 Basculement d'OSCAR sur le siège.

Au niveau de la tête de l'AMAT, soit à l'endroit où les mesures sont prises, le déplacement latéral à cet endroit dépassait 15 mm. C'est donc dire que le retrait était mesuré à un endroit désaxé de 15 mm du centre de l'appuie-tête. En étant inclinée, la combinaison OSCAR-AMAT mesurait aussi un peu plus bas qu'elle aurait normalement dû le faire. Il va sans dire

que cette condition rendait l'assise d'OSCAR passablement instable et a probablement contribué à augmenter les écarts entre les résultats. Pour pallier ce problème, les instructions de l'AMAT devraient spécifier un déplacement latéral maximal au niveau de la sonde du retrait entre les axes de la combinaison OSCAR-AMAT et le siège.

5.1.2.2 Siège de cuir

Certains cuirs ou vinyles peuvent rendre le positionnement d'OSCAR plus difficile, car ils possèdent non seulement un coefficient de friction moins élevé que des sièges recouverts de tissu, mais sont généralement aussi plus mous. Parce que la surface du cuir ou du vinyle est généralement plus lisse que celle du tissu, l'assise d'OSCAR, malgré la présence d'une mousseline de coton, glisse plus facilement sur le siège et est plus instable. Un siège plus mou rend aussi l'assise d'OSCAR plus instable. Le glissement d'OSCAR dans le plan longitudinal a un effet sur l'angle de torse, alors que le glissement latéral peut occasionner un écart entre l'axe longitudinal du siège et l'axe longitudinal d'OSCAR comme au cas précédent.

Lors de cette étude, tous les sièges étaient revêtus de tissus sauf pour les véhicules n° 1 et n° 8 qui possédaient des sièges en cuir. Alors que le cuir du véhicule n° 1 était du similicuir à la texture lisse, celui du véhicule n° 8, un véhicule de plus haut de gamme, possédait une texture plus rugueuse. Comme on le sait, le véhicule n° 1 constitue l'un des véhicules dont les résultats de répétabilité et de reproductibilité ont été les moins bons. Il est donc possible que la texture du siège ait été un facteur.

Malheureusement, il n'existe pas de solution simple qui peut être apportée au niveau des instructions d'utilisation de la combinaison OSCAR-AMAT pour remédier à cette situation. Il faut remarquer qu'un siège au revêtement glissant le serait tout autant pour un vrai occupant. C'est donc dire que le seul moyen de remédier à cette solution serait d'encourager les fabricants à éviter l'utilisation de ce type de surface, car autrement la variation dans les résultats pourrait les pénaliser lors de l'évaluation des appuie-tête par des compagnies d'assurance ou lors d'essais de conformité devant servir à l'homologation du véhicule.

5.1.3 Force sur la sonde de retrait

Une autre source d'erreur était induite par la force à appliquer afin que la sonde soit en contact avec l'appuie-tête. Comme la surface de contact d'un appuie-tête n'est pas dure, la mesure peut varier selon que la force est appliquée doucement ou fortement. Les instructions à cet égard manquaient de rigueur. Pour être adéquates, les instructions devraient indiquer la force à appliquer sur cette sonde en utilisant un dynamomètre comme illustré sur la Figure 5.2.



Figure 5.2 Dynamomètre.
Tirée d'ETD Technical Trading, 2009.

Le dynamomètre est placé sur l'extrémité de la sonde du retrait et mesure la force qui est appliquée par l'opérateur lorsque la sonde du retrait coulisse contre l'appuie-tête (Figure 5.3). Pour améliorer les résultats au niveau des prises de mesures du retrait, cette méthode devrait être utilisée.

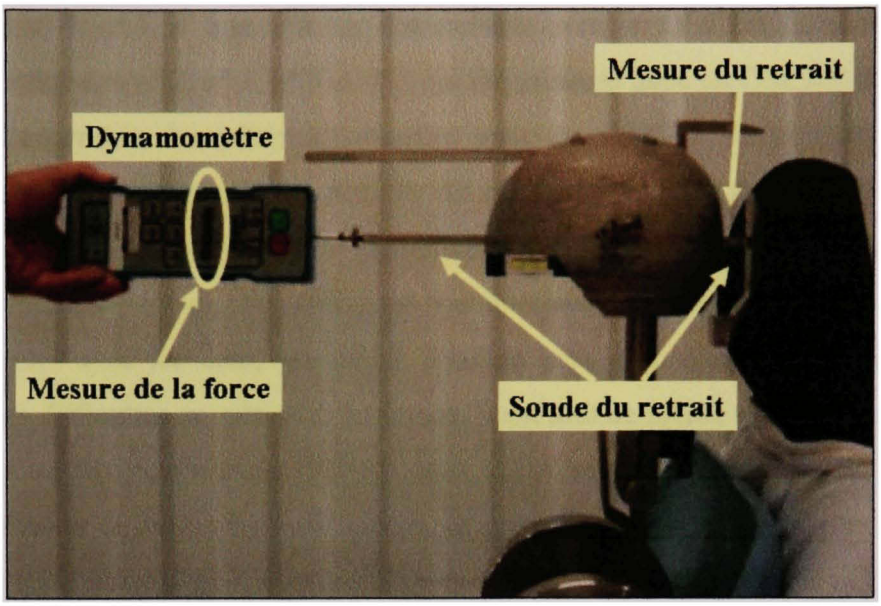


Figure 5.3 Utilisation d'un dynamomètre pour la sonde du retrait.

5.1.4 Force à exercer sur l'assise d'OSCAR lors de son positionnement

La force à exercer sur l'assise d'OSCAR lors de son positionnement dans le siège n'est pas mesurée sur le modèle ISO d'OSCAR. En effet, seul OSCAR SAE possède un poussoir à ressort calibré (élément 5 de la Figure 3.2 ou Figure 5.4) pour le positionner longitudinalement de manière constante dans le siège d'un essai à l'autre (l'assise d'OSCAR est poussée contre la surface molle du dossier de siège).

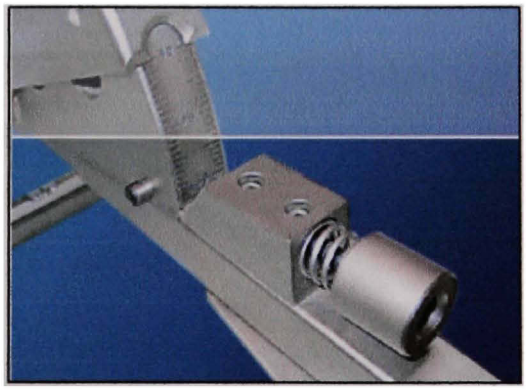


Figure 5.4 Poussoir à ressort calibré situé sur l'assise d'OSCAR SAE.

Tirée d'ETD Technical Trading, 2009.

Les véhicules n° 1, n° 3, n° 6 et n° 8 ont été mesurés avec un OSCAR de provenance ISO, alors que les véhicules n° 2, n° 4, n° 5 et n° 7 ont été mesurés avec un OSCAR de provenance SAE. Dans l'ensemble, les véhicules mesurés avec un OSCAR de provenance ISO ont obtenu de moins bons résultats en matière de répétabilité et de reproductibilité que les véhicules mesurés avec un OSCAR de provenance SAE (voir tableau 5.1). Notons toutefois que l'échantillon est petit et pour effectuer une comparaison juste, il faudrait mesurer les mêmes véhicules avec les deux machines, d'autant plus que le siège du véhicule n° 1 a occasionné des difficultés en raison de sa forme. Il est tout de même raisonnable de conclure que le fait qu'un des mannequins OSCAR était utilisé sans poussoir à ressort calibré a pu contribuer à donner de moins bons résultats avec cette machine. Pour améliorer cet aspect, il faudrait donc faire usage d'un dynamomètre lors de l'utilisation d'une machine OSCAR ISO.

Tableau 5.1

Comparaison des résultats entre des machines OSCAR ISO et OSCAR SAE

	RÉSULTATS DE L'ÉTENDUE			
OSCAR ISO				
Véhicule #	1 Itération	3 Itérations	7 Itérations	angles de dossier
1	11 mm	6.3 mm	6 mm	1.5 degrés
3	11 mm	5 mm	4.3 mm	3.5 degrés
6	6 mm	0.7 mm	1.6 mm	1.5 degrés
8	5 mm	3 mm	1.3 mm	1 degrés
Moyenne	8.25 mm	3.75 mm	3.29 mm	1.9 degrés
Écart-type	±3.2 mm	±2.47 mm	±2.26 mm	±1.1 degrés

	RÉSULTATS DE L'ÉTENDUE			
OSCAR SAE				
Véhicule #	1 Itération	3 Itérations	7 Itérations	angles de dossier
2	6 mm	2.3 mm	1.9 mm	1 degrés
4	5 mm	2.3 mm	1.6 mm	1.5 degrés
5	7 mm	4.3 mm	3.1 mm	1.5 degrés
7	4 mm	2.3 mm	2.4 mm	1 degrés
Moyenne	5.4 mm	2.87 mm	2.06 mm	1.3 degrés
Écart-type	±1.29 mm	±1 mm	±0.69 mm	±0.3 degrés

5.1.5 Température et humidité

Les essais ont été effectués dans un milieu où la température et l'humidité n'étaient pas complètement contrôlées, car les portes du garage étaient souvent ouvertes. La température extérieure était d'environ 22 degrés Celsius, mais le niveau d'humidité a pu varier considérablement, surtout lors des journées pluvieuses. Il y a une exigence de température (20 degrés Celsius ± 10 degrés Celsius) dans les procédures SAE J826 et ISO 6549 pour l'utilisation d'OSCAR, mais il n'y a pas d'exigence d'humidité. Similairement, la procédure d'utilisation de l'AMAT ne possède ni exigence de température, ni exigence d'humidité. Ces paramètres peuvent influer sur le comportement de la mousse dans les sièges ou d'autres matériaux. Conséquemment, il faudrait établir des exigences de températures et humidité dans le guide d'utilisation de l'AMAT.

5.1.6 Comportement des sièges neufs ou usagés

Dans le cadre de cette étude, les mesures ont été effectuées sur des sièges provenant de véhicules de location. Il ne s'agissait donc pas de sièges neufs. Le guide d'utilisation de l'AMAT prévoit un conditionnement préliminaire qui consiste à asseoir une personne ayant une masse entre 68 et 79 kg si le siège n'a jamais servi. La personne doit s'asseoir sur le siège à deux reprises pour une période d'une minute. Ceci a pour but d'assouplir le coussin et le dossier de siège. Il va sans dire qu'un véhicule usagé a été assoupli d'une manière plus importante qu'un véhicule neuf. Quoi qu'il en soit, il est difficile d'évaluer si des résultats différents auraient été obtenus si l'étude avait été effectuée sur des sièges de véhicules neufs, car des sièges qui sont plus assouplis peuvent offrir une surface moins stable pour OSCAR.

5.1.7 Temps de repos entre les séries de mesures

Autant la norme ISO 6549 que la norme SAE J826 requiert que le siège soit au repos pendant une période d'au moins 30 minutes avant d'y installer un mannequin OSCAR, de manière que le rembourrage ait le temps de reprendre sa forme. Pour des raisons d'économie de temps et d'argent, cette règle n'a pas été observée lors de cette étude. Par contre, il faut remarquer que ces deux normes ont été rédigées, il y a quelques décennies, alors que les sièges des véhicules étaient beaucoup moins fermes que les sièges d'aujourd'hui. Les

30 minutes de repos sont conséquemment beaucoup moins pertinentes qu'ils l'ont peut-être déjà été. Quoi qu'il en soit, il est possible que le non-respect de cette règle ait favorisé l'obtention de résultats plus favorables en permettant à l'assise du siège de reposer sur une surface plus stable et similaire d'un essai à l'autre.

5.1.8 Réglage du siège pour l'installation d'OSCAR

Il y a divers réglages sur un siège. Les sièges des places avant ont généralement deux réglages de base, soit un réglage longitudinal le long de la glissière de siège et un réglage de l'angle de dossier. Les sièges un peu plus sophistiqués ont aussi un réglage vertical pour élever ou descendre le siège.

Au moment de cette étude, les instructions de l'AMAT indiquaient de régler le siège de manière à être dans sa position longitudinale et verticale centrale. Le dossier de siège devait quant à lui être ajusté à 25 degrés. Tous ces réglages ont des répercussions sur les résultats. Les chapitres suivants abordent chacun de ces réglages et des effets ou désagréments qu'ils peuvent avoir eus sur les manipulations ou les résultats lors de cette étude.

5.1.8.1 Réglage longitudinal du siège

Pour certains véhicules, il était difficile de placer OSCAR avec le siège réglé à sa position centrale, comme requis par le guide d'utilisation de l'AMAT, parce que les jambes d'OSCAR entraient en contact avec le tableau de bord. C'était le cas pour les plus petits véhicules du groupe d'essais, soit les véhicules n° 5 (Hyundai Accent), n° 6 (Ford Focus) et n° 7 (Dodge Caliber). Cela pouvait non seulement entraîner des dommages au tableau de bord, mais aussi faire en sorte que les genoux d'OSCAR demeurent en contact avec le tableau de bord pendant la prise de mesures, influant non seulement sur le positionnement d'OSCAR, mais aussi sur les résultats.

L'autre désagrément est qu'en installant les jambes d'OSCAR seulement une fois qu'il est dans le véhicule, on dévie des instructions et on augmente les risques que les résultats divergent d'un essai à l'autre et d'un opérateur à l'autre. Finalement, en étant positionnés

trop vers l'avant, les pieds d'OSCAR reposaient contre le tablier du véhicule empêchant les jambes de reposer naturellement sur le plancher et de façon que les deux pieds soient situés approximativement à la même distance du plan médian de la machine OSCAR. C'est donc dire que l'angle entre les cuisses et les avant-jambes pouvait être irréel, en ce sens qu'un passager trop grand aurait tendance à reculer son siège pour être moins à l'étroit, plutôt que le maintenir dans cette position. C'est pourquoi les instructions ont été modifiées pendant l'étude pour plutôt ajuster le siège à sa position longitudinale la plus reculée.

5.1.8.2 Réglage vertical du siège

Dans le véhicule n° 8 (Mercedes C230), le plafond était bas et il n'était pas possible d'insérer l'AMAT dans OSCAR si le réglage vertical du siège était à sa position centrale. C'est pourquoi les instructions ont été remplacées pendant l'étude pour plutôt régler le siège à sa position la plus basse. Encore une fois, ceci permet d'empêcher les opérateurs de dévier des instructions en n'ayant pas à changer le réglage vertical du siège pendant les manipulations.

5.1.8.3 Réglage de l'angle du dossier de siège

L'angle de 25 degrés pour les mesures avait été choisi à titre de point de référence commun, car cela représentait l'angle moyen utilisé par les fabricants pour asseoir un homme adulte du 50^{e} centile. Par contre, cela ne correspond pas nécessairement à l'angle optimal d'utilisation du siège par des passagers pour un véhicule donné. Tous les véhicules ne sont pas conçus avec le même angle de dossier pour un centile de personne donné. Par exemple, une camionnette a un dossier plus redressé et un angle de dossier de siège qui avoisinent davantage 17 degrés alors qu'une automobile sportive a un dossier beaucoup plus incliné et un angle de dossier qui avoisine les 27 degrés.

Le fait de ne pas utiliser l'angle optimal d'utilisation pénalise en quelque sorte les fabricants et les usagers, car le retrait mesuré d'un appuie-tête varie en fonction de l'angle de dossier. Pour un siège donné, plus l'angle de dossier est élevé, plus le retrait mesuré est grand et inversement, plus l'angle de dossier est faible, plus le retrait est petit. Donc, si un fabricant conçoit son siège pour être utilisé à 17 degrés, il faudra tout de même que l'exigence du

retrait soit atteinte à 25 degrés même si le dossier de siège n'est à toute fin jamais utilisé à cet angle. Pour réussir à se conformer à l'exigence à 25 degrés, le fabricant devra donc concevoir son siège de manière à avoir un retrait dépassant largement les exigences à 17 degrés, donc être bien inférieur au 55 mm de l'exigence proposée par les États-Unis dans leur projet de règlement. Le problème c'est qu'un retrait trop petit posera des problèmes de confort à l'occupant, car il aura constamment l'appuie-tête qui viendra s'appuyer contre sa tête. Ce problème sera accentué si la personne porte un chapeau ou a les cheveux attachés derrière la nuque. La hauteur varie elle aussi en fonction de l'angle du dossier de siège, mais elle pose des inconvénients moindres, car elle n'a pas d'incidence sur le confort des occupants.

Pour pallier ce problème, l'angle de 25 degrés devrait être remplacé dans les instructions par l'angle de conception, car la hauteur et le retrait devraient être mesurés à l'angle optimal d'utilisation de dossier pour un siège et véhicule donné. En agissant de la sorte, on règle aussi un autre problème. Le réglage de l'angle de dossier a une incidence sur les résultats lorsque l'AMAT est utilisé. Nous avons vu au chapitre 4 que pour ajuster l'angle, il fallait ajuster le dossier de siège le plus près possible de 25 degrés en plaçant un inclinomètre sur sa face antérieure (Figure 4.5). L'angle du dossier était ensuite corrigé par l'opérateur lors de la première installation du mannequin OSCAR s'il était déterminé qu'une autre position de réglage était plus près de 25 degrés. Cela laissait place à l'utilisation de positions différentes d'un opérateur à l'autre et l'obtention de résultats de mesures différents. En utilisant l'angle de conception du fabricant, ce dernier pourra fournir des instructions précises sur la procédure à suivre pour obtenir l'angle de conception. Bref, cela réduira les variations dans le réglage du dossier de siège à l'angle requis.

Il va sans dire que l'utilisation de l'angle de conception ne garantira pas pour autant que dans la pratique l'angle de conception soit toujours précisément atteint lors du réglage du dossier par l'opérateur. C'est pourquoi l'autre changement qui est apporté aux instructions est un resserrement de la tolérance. Lors de cette étude, nous avons utilisé une tolérance pour l'angle de 25 degrés ± 2 degrés, mais il aurait été possible d'effectuer toutes les installations en respectant un angle de 25 degrés ± 1 degré. Cela aurait nécessité un peu plus de temps aux

opérateurs lors des manipulations, mais aurait permis d'obtenir moins de variations dans les mesures du retrait. Avec l'utilisation de l'angle de torse, la nouvelle contrainte sera donc « l'angle de conception à ± 1 degré ».

5.1.9 Étalonnage de la combinaison OSCAR-AMAT

Comme indiqué au chapitre 3.7, avant d'être utilisée pour la mesure, la combinaison OSCAR-AMAT devrait être étalonnée avec le gabarit d'étalonnage GLORIA (Figure 3.12). Ce gabarit permet d'étalonner un AMAT sur un OSCAR donné. Le gabarit permet de vérifier que le positionnement de chacune des deux sondes rétractables se situe à l'intérieur d'une tolérance de ±1 mm. Dans la présente étude, nous avons utilisé une seule combinaison par siège mesuré et n'avons donc pas tenu compte des variations possibles entre les deux combinaisons d'OSCAR-AMAT. Quoi qu'il en soit, ce problème demeure entier et le guide d'instruction devra indiquer qu'un étalonnage périodique avec le gabarit GLORIA est requis pour assurer une certaine fiabilité au niveau des mesures.

5.2 Retour sur les résultats de l'étude pour le retrait

Les résultats présentés dans ce mémoire, ainsi que les recommandations émises au chapitre 5.1, ont été présentés en septembre 2006 à l'UNECE lors de la 7e rencontre pour l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête (Bergevin, 2006). Ces recommandations ont été très bien reçues, car elles ont permis d'apporter des changements immédiats aux instructions d'utilisation de l'AMAT de manière à améliorer sa répétabilité et sa reproductibilité.

Le tableau 5.2 illustre la comparaison entre les résultats obtenus par les divers participants à l'élaboration du règlement technique mondial avant et après les recommandations. Les résultats de la présente étude y sont aussi illustrés à titre comparatif.

Tableau 5.2

Résultats obtenus par les participants à l'élaboration du règlement technique mondial sur les appuie-tête avant et après les recommandations de la présente étude

		Études avec 3 itérations de mesure					
		Erreur type			Erreur type relative		
		±1σ (68.32%)	±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)	±1σ (68.32%)	±2σ (95.54%)	±3σ (99.97%)
Études effectuées avant les recommandations	Japon	±3.2 mm	±6.4 mm	±9.6 mm	6.4 %	12.8 %	19.2 %
	Ford	±3.1 mm	±6.2 mm	±9.3 mm	6.2 %	12.4 %	18.6 %
	États-Unis	±3.9 mm	±7.8 mm	±11.7 mm	7.8 %	15.6 %	23.4 %
Recommandations et résultats de cette étude présentées à l'UNECE en septembre 2006		±1.0 mm	±2.1 mm	±3.1 mm	2 %	4.2 %	6.2 %
Études effectuées après les recommandations	Hyundai	±2.4 mm	±4.8 mm	±7.2 mm	4.8 %	9.6 %	14.4 %
	Johnson Controls	±2.0 mm	±4.0 mm	±6.0 mm	4 %	8 %	12 %
	BMW	±2.8 mm	±5.6 mm	±8.4 mm	5.6 %	11.2 %	16.8 %
	DaimlerChrysler	±2.52 mm	±5.04 mm	±7.56 mm	5.04 %	10.08 %	15.12 %
	Faurecia	±1.03 mm	±2.06 mm	±3.09 mm	2.06 %	4.12 %	6.18 %

Le Japon (Japon, 2005), la compagnie Ford (UNECE, 2006) et les États-Unis (NHTSA, 2006), dans des études effectuées avant la divulgation des recommandations de la présente étude, ont obtenu une variabilité de mesure de retrait au moins trois (3) fois plus importante que celle obtenue dans le cadre de la présente étude.

Il est escompté que les résultats de variabilité de ces trois (3) études auraient été inférieurs si les recommandations avaient été appliquées. Par exemple, les États-Unis ont utilisé plusieurs laboratoires pour mesurer le même siège et donc, plusieurs différentes combinaisons OSCAR-AMAT. Malheureusement, ces dernières n'avaient pas été préalablement étalonnées avec le gabarit d'étalonnage GLORIA (voir chapitre 5.1.9) ce qui a eu pour effet d'accroître la variabilité des résultats. L'étude des États-Unis, tout comme notre étude, indique que l'augmentation du nombre de mesures réduit la variabilité du retrait. Il est donc recommandé que le retrait mesuré avec l'AMAT soit déterminé en prenant la moyenne arithmétique de plusieurs mesures (au moins trois) plutôt que de se fier à une seule mesure.

À la suite des recommandations de la présente étude, cinq (5) fabricants (OICA, 2007), soit Hyundai, Johnson Control, BMW, DaimlerChrysler et Faurecia, ont effectué des études de manière à vérifier si les recommandations permettaient d'améliorer la variabilité. Comme illustrés au tableau 5.2, les résultats sont probants. Toutes ces études ont permis d'obtenir une variabilité moins importante. Bref, les recommandations de la présente étude permettent d'améliorer la répétabilité et la reproductibilité de l'AMAT. C'est pourquoi les États-Unis ont agi sur certaines de ces recommandations en apportant des changements à leur règlement national (NHTSA, 2007). Ces recommandations ont aussi été prises en compte lors de la rédaction de la version définitive du règlement technique mondial adoptée et publiée le 13 mars 2008 (UNECE, 2008).

CONCLUSION

Le présent mémoire avait comme objectif d'évaluer la fiabilité de l'AMAT en passant en revue l'historique de cette invention, l'évolution de son processus de fabrication, ses tolérances dimensionnelles de fabrication, son appréciation sur le plan mondial, ses lacunes et ses limitations. Il présentait aussi les résultats d'une analyse de répétabilité et de reproductibilité dans laquelle quatre (4) opérateurs ont été appelés à mesurer huit (8) véhicules à sept (7) reprises.

Ce mémoire a démontré que l'AMAT est fabriquée avec des tolérances dimensionnelles strictes. L'AMAT représente un moyen suffisamment répétable et reproductible de mesurer la position statique des appuie-tête pour être utilisé pour la réglementation, à condition que certaines instructions propres à son utilisation soient modifiées pour rendre son utilisation plus fiable. Les résultats ont aussi démontré la nécessité d'effectuer plusieurs mesures (au moins trois) plutôt qu'une seule lors des essais de conformité de manière à diminuer la variabilité des mesures.

Les constats de ce mémoire ont permis d'apporter des changements immédiats aux instructions d'utilisation de l'AMAT en effectuant les essais avec les concepteurs et fabricant de l'AMAT. Les constats de ce mémoire ont aussi aidé à façonner la position canadienne sur la question. Ils ont aussi été présentés lors de la 7e rencontre pour l'élaboration d'un règlement technique mondial sur les appuie-tête à l'UNECE en septembre 2006 (Bergevin, 2006). Ces constats ont été très bien reçus. Les États-Unis ont agi sur ces constats en apportant des changements à leur règlement national (NHTSA, 2007). Ces constats ont aussi été pris en compte lors de la rédaction de la version définitive du règlement technique mondial adopté et publié le 13 mars 2008 (UNECE, 2008).

Ce mémoire a des répercussions sur le plan économique, social, technologique et scientifique. Sur le plan économique et social, l'AMAT aura une incidence notable, car tout le processus de fabrication des sièges sera dorénavant orienté autour de l'AMAT de manière à garantir que le futur siège puisse être apte à se conformer à l'exigence du retrait. Cela

signifie que les sièges devront être fabriqués avec des tolérances plus strictes pour diminuer les variations de fabrication. De plus, les sièges devront être conçus de manière à fournir une surface de siège et de dossier offrant plus de support et de stabilité aux occupants, pour ainsi réduire les variations au niveau des mesures lorsque l'appuie-tête est vérifié. L'exigence du retrait engendrera la fabrication de sièges plus sécuritaires qui aideront à réduire les risques de blessures par coup de fouet cervical. La réduction des blessures aura une incidence sur la réduction des coûts en santé, sans parler des coûts émotionnels et sociaux provenant de douleur et souffrance ressenties par les personnes touchées.

Sur le plan technologique, l'AMAT permet de remplir un trou technologique, car malgré quelques ébauches, il n'existait que jusqu'à tout récemment aucun instrument de mesure éprouvé permettant de mesurer le retrait.

Sur le plan scientifique, la communauté scientifique continue d'avoir des réserves en ce qui concerne la réduction de blessures par le biais de l'amélioration de la géométrie statique d'un appuie-tête, mais la revue de la littérature a permis de démontrer qu'il y a un lien causal entre la géométrie d'un appuie-tête et les risques de blessures au cou.

RECOMMANDATIONS

Cet ouvrage a permis de dresser certaines recommandations pour améliorer la répétabilité et la reproductibilité de l'AMAT. Ces recommandations se situent principalement au niveau des instructions d'utilisation de l'AMAT. Elles sont les suivantes :

- Pour réduire les variations dans le positionnement des sièges, l'angle de torse de 25 degrés doit être remplacé par l'angle de torse de conception. De plus, la tolérance de cet angle doit être resserrée de ± 2 degrés à ± 1 degré.
- Pour veiller à ce qu'il n'y ait pas d'écart excessif entre l'axe longitudinal du dossier de siège et l'axe longitudinal du torse d'OSCAR, un déplacement latéral maximal entre ces deux axes doit être spécifié.
- L'utilisation d'un dynamomètre doit être prescrite pour uniformiser la force exercée par l'opérateur sur la sonde du retrait lorsque cette dernière est poussée contre l'appuie-tête au moment de la mesure.
- Si la machine OSCAR utilisée ne possède pas de ressort calibré, l'utilisation d'un dynamomètre doit aussi être exigée pour uniformiser le positionnement d'OSCAR lorsque ce dernier est poussé contre le dossier de siège.
- Des exigences de températures et humidité lors de l'utilisation de l'AMAT doivent être spécifiées.
- Il doit être signalé que le siège devant être mesuré doit être réglé à sa position longitudinale la plus reculée et sa position verticale la plus basse.
- La nécessité d'effectuer un étalonnage périodique avec le gabarit GLORIA devra être indiquée dans les instructions de manière à assurer une certaine fiabilité au niveau des mesures.
- Finalement, il est recommandé que la moyenne arithmétique de plusieurs mesures (au moins trois) soit retenue plutôt qu'une seule mesure.

De manière plus globale, comme le retrait est une exigence statique, il serait souhaitable qu'elle soit éventuellement remplacée par un essai dynamique suffisamment réaliste et fidèle

sur le plan biologique, mais il reste énormément de recherches, d'études et de travail à faire avant d'obtenir un consensus mondial sur cette question.

ANNEXE I

FORMULAIRE DE L'IDENTIFICATION DU VÉHICULE

HRMD Repeatability and Reproducibility Study for Transport Canada

Vehicle # ____

Vehicle year, make and model _____

VIN (17 characters) _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Seating location	1 = Driver seat	2 = Front passenger seat	
HR style	1 = Adjustable	2 = Fixed	
If adjustable	1 = Height only	2 = Height and tilt	8 = N/A
Seat back angle	❑ 25º as specified	❑ Other, specify _____	
H-pt machine:	1 = ICBC (blue)	2 = Blainville (beige)	
HRMD #:	❑ #146	❑ #147	

❑ Photo seat

❑ Photo HRMD in seat (with probes as for measuring)

ANNEXE II

FORMULAIRE DE COLLECTE DES DONNÉES

HRMD Repeatability and Reproducibility Study for Transport Canada

- Data Collection Form -

Operator: 1=Eric 2=Alex 3=Dave 4=Julie

Day: 1=Tues 2=Wed 3=Thurs 4=Frid

Vehicle # _____ **Vehicle make** _____

Measurement # _____

H-pt machine ❑ ICBC (blue) ❑ Transport Canada (beige)		**HRMD#** ❑ #146 ❑ #147
Time started:	Time ended:	**Total time:** mins
Seat-back angle:	Left leg position:	Right leg position:

	to one decimal place	*option to 2 decimal places*
HR height*	_____ **cm**	_____ *cm*
Backset	_____ **cm**	_____ *cm*

*If the head restraint is above the HRMD headform, enter negative sign

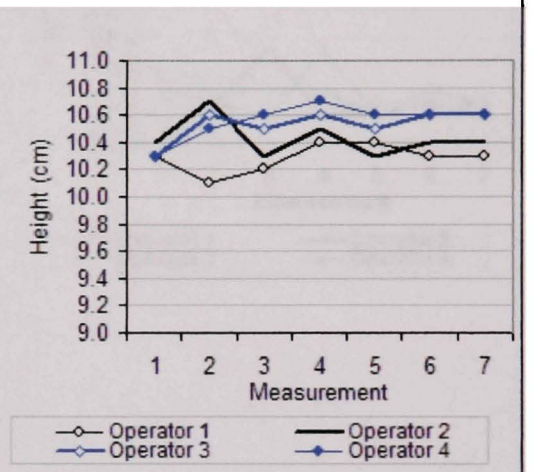
Comments:

ANNEXE III

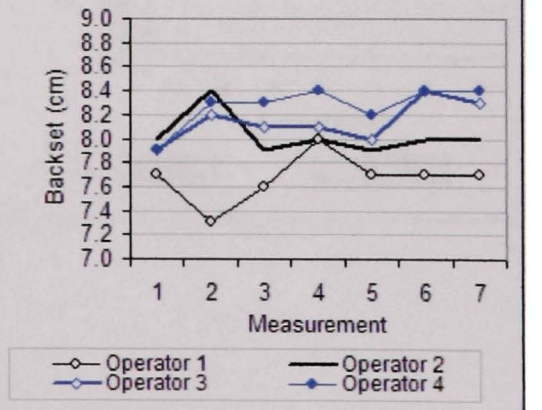
RÉSULTATS COMPLETS DE L'ESSAI

Vehicle 1: 2006 Chevrolet Silverado pick-up truck
HR Style: Adjustable **Seat:** Leather **Seat adjustments lowest, lumbar support neutral**
H-pt: ICBC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	10.3	10.4	10.3	10.3
Measurement 2	10.1	10.7	10.6	10.5
Measurement 3	10.2	10.3	10.5	10.6
Measurement 4	10.4	10.5	10.6	10.7
Measurement 5	10.4	10.3	10.5	10.6
Measurement 6	10.3	10.4	10.6	10.6
Measurement 7	10.3	10.4	10.6	10.6
Average	10.29	10.43	10.53	10.56
Standard Dev	0.11	0.14	0.11	0.13
Min	10.10	10.30	10.30	10.30
Max	10.40	10.70	10.60	10.70
Range	0.30	0.40	0.30	0.40

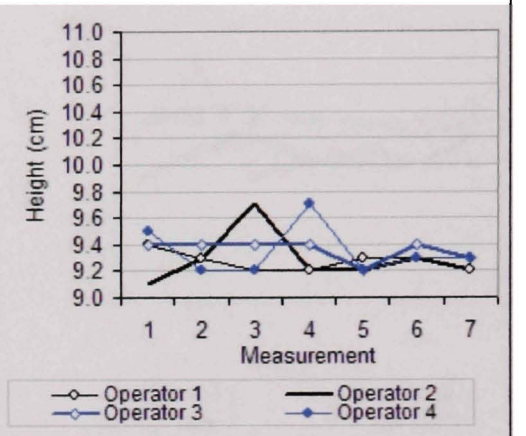


Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	7.7	8.0	7.9	7.9
Measurement 2	7.3	8.4	8.2	8.3
Measurement 3	7.6	7.9	8.1	8.3
Measurement 4	8.0	8.0	8.1	8.4
Measurement 5	7.7	7.9	8.0	8.2
Measurement 6	7.7	8.0	8.4	8.4
Measurement 7	7.7	8.0	8.3	8.4
Average	7.67	8.03	8.14	8.27
Standard Dev	0.21	0.17	0.17	0.18
Min	7.30	7.90	7.90	7.90
Max	8.00	8.40	8.40	8.40
Range	0.70	0.50	0.50	0.50

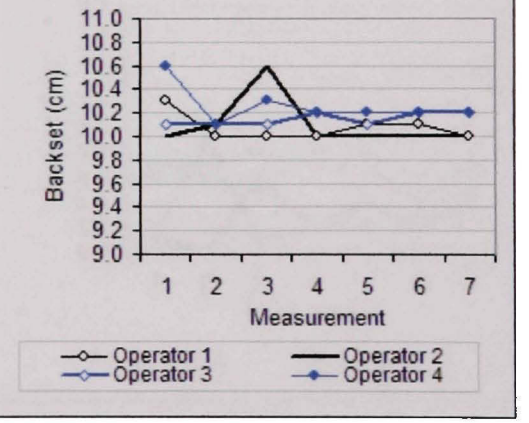


Vehicle 2: 2006 Jeep Liberty 4x4 SUV
HR Style: Fixed **Seat:** Fabric **Seat adjustments** None
H-pt: TC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	9.4	9.1	9.4	9.5
Measurement 2	9.3	9.3	9.4	9.2
Measurement 3	9.2	9.7	9.4	9.2
Measurement 4	9.2	9.2	9.4	9.7
Measurement 5	9.3	9.2	9.2	9.2
Measurement 6	9.3	9.3	9.4	9.3
Measurement 7	9.2	9.2	9.3	9.3
Average	9.27	9.29	9.36	9.34
Standard Dev	0.08	0.20	0.08	0.19
Min	9.20	9.10	9.20	9.20
Max	9.40	9.70	9.40	9.70
Range	0.20	0.60	0.20	0.50

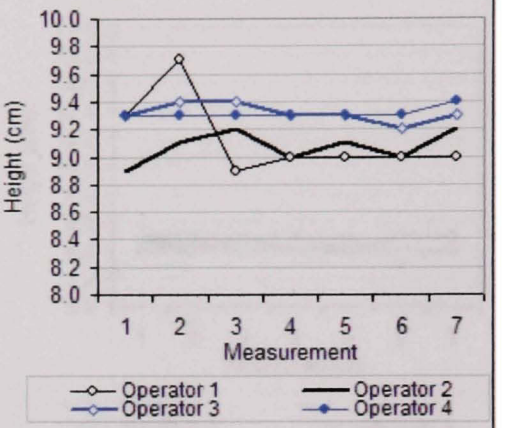


Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	10.3	10.0	10.1	10.6
Measurement 2	10.0	10.1	10.1	10.1
Measurement 3	10.0	10.6	10.1	10.3
Measurement 4	10.0	10.0	10.2	10.2
Measurement 5	10.1	10.0	10.1	10.2
Measurement 6	10.1	10.0	10.2	10.2
Measurement 7	10.0	10.0	10.2	10.2
Average	10.07	10.10	10.14	10.26
Standard Dev	0.11	0.22	0.05	0.16
Min	10.00	10.00	10.10	10.10
Max	10.30	10.60	10.20	10.60
Range	0.30	0.60	0.10	0.50

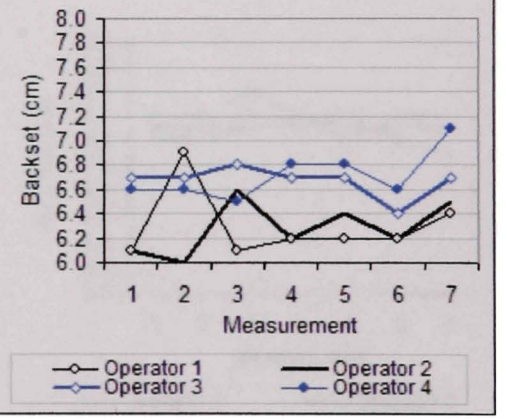


Vehicle 3: 2006 Toyota Sienna CE Minivan
HR Style: Adjustable **Seat:** Fabric **Seat adjustments** None
H-pt: ICBC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	9.3	8.9	9.3	9.3
Measurement 2	9.7	9.1	9.4	9.3
Measurement 3	8.9	9.2	9.4	9.3
Measurement 4	9.0	9.0	9.3	9.3
Measurement 5	9.0	9.1	9.3	9.3
Measurement 6	9.0	9.0	9.2	9.3
Measurement 7	9.0	9.2	9.3	9.4
Average	9.13	9.07	9.31	9.31
Standard Dev	0.28	0.11	0.07	0.04
Min	8.90	8.90	9.20	9.30
Max	9.70	9.20	9.40	9.40
Range	0.80	0.30	0.20	0.10

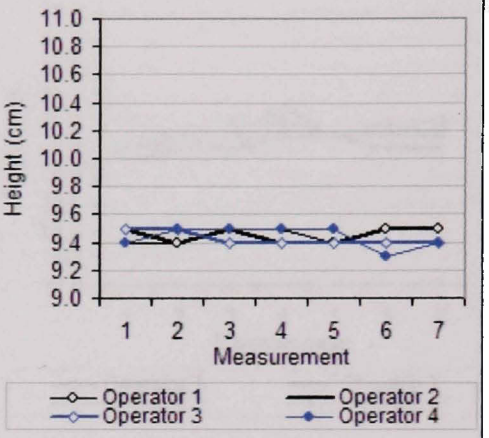


Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	6.1	6.1	6.7	6.6
Measurement 2	6.9	6.0	6.7	6.6
Measurement 3	6.1	6.6	6.8	6.5
Measurement 4	6.2	6.2	6.7	6.8
Measurement 5	6.2	6.4	6.7	6.8
Measurement 6	6.2	6.2	6.4	6.6
Measurement 7	6.4	6.5	6.7	7.1
Average	6.30	6.29	6.67	6.71
Standard Dev	0.28	0.22	0.13	0.20
Min	6.10	6.00	6.40	6.50
Max	6.90	6.60	6.80	7.10
Range	0.80	0.60	0.40	0.60

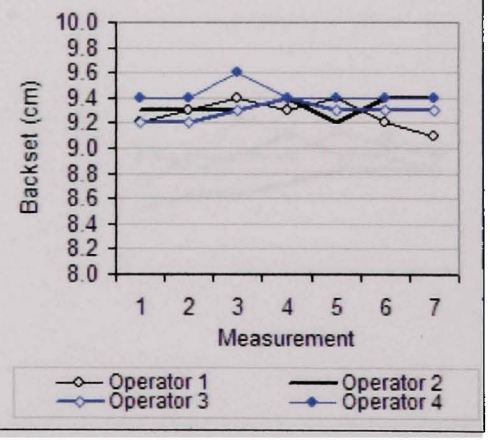


Vehicle 4: 2006 Chevrolet Malibu LT 4-door sedan
HR Style: Adjustable **Seat:** Fabric **Seat adjustmei** None
H-pt: TC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	9.4	9.5	9.5	9.4
Measurement 2	9.4	9.4	9.5	9.5
Measurement 3	9.5	9.5	9.4	9.5
Measurement 4	9.5	9.4	9.4	9.5
Measurement 5	9.4	9.4	9.4	9.5
Measurement 6	9.5	9.5	9.4	9.3
Measurement 7	9.5	9.5	9.4	9.4
Average	9.46	9.46	9.43	9.44
Standard Dev	0.05	0.05	0.05	0.08
Min	9.40	9.40	9.40	9.30
Max	9.50	9.50	9.50	9.50
Range	0.10	0.10	0.10	0.20

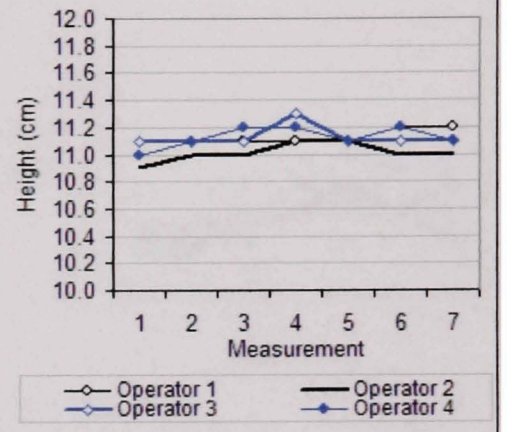


Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	9.2	9.3	9.2	9.4
Measurement 2	9.3	9.3	9.2	9.4
Measurement 3	9.4	9.3	9.3	9.6
Measurement 4	9.3	9.4	9.4	9.4
Measurement 5	9.4	9.2	9.3	9.4
Measurement 6	9.2	9.4	9.3	9.4
Measurement 7	9.1	9.4	9.3	9.4
Average	9.27	9.33	9.29	9.43
Standard Dev	0.11	0.08	0.07	0.08
Min	9.10	9.20	9.20	9.40
Max	9.40	9.40	9.40	9.60
Range	0.30	0.20	0.20	0.20

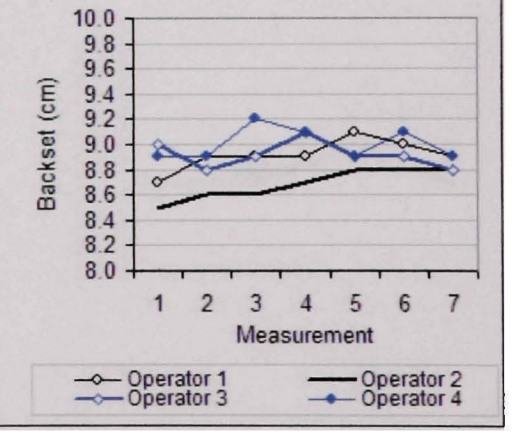


Vehicle 5: 2006 Hyundai Accent GS 4-door sedan
HR Style: Adjustable **Seat:** Fabric **Seat adjustmer** None
H-pt: TC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	11.0	10.9	11.1	11.0
Measurement 2	11.1	11.0	11.1	11.1
Measurement 3	11.1	11.0	11.1	11.2
Measurement 4	11.1	11.1	11.3	11.2
Measurement 5	11.1	11.1	11.1	11.1
Measurement 6	11.2	11.0	11.1	11.2
Measurement 7	11.2	11.0	11.1	11.1
Average	11.11	11.01	11.13	11.13
Standard Dev	0.07	0.07	0.08	0.08
Min	11.00	10.90	11.10	11.00
Max	11.20	11.10	11.30	11.20
Range	0.20	0.20	0.20	0.20

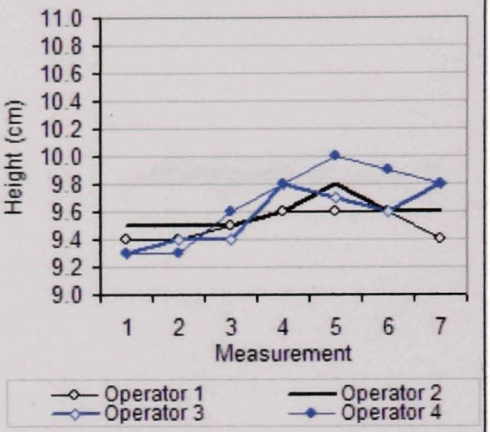


Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	8.7	8.5	9.0	8.9
Measurement 2	8.9	8.6	8.8	8.9
Measurement 3	8.9	8.6	8.9	9.2
Measurement 4	8.9	8.7	9.1	9.1
Measurement 5	9.1	8.8	8.9	8.9
Measurement 6	9.0	8.8	8.9	9.1
Measurement 7	8.9	8.8	8.8	8.9
Average	8.91	8.69	8.91	9.00
Standard Dev	0.12	0.12	0.11	0.13
Min	8.70	8.50	8.80	8.90
Max	9.10	8.80	9.10	9.20
Range	0.40	0.30	0.30	0.30

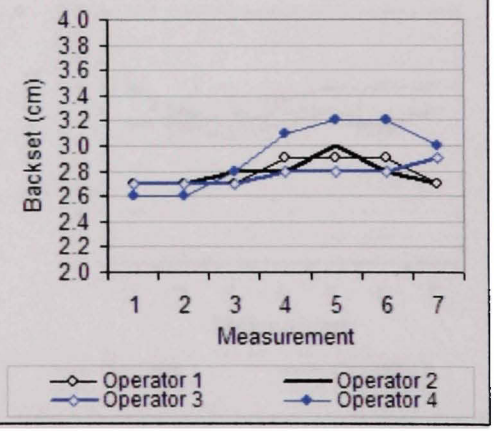


Vehicle 6: 2007 Ford Focus 4-door sedan
HR Style: Adjustable **Seat:** Fabric **Seat adjustme** None
H-pt: ICBC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	9.4	9.5	9.3	9.3
Measurement 2	9.4	9.5	9.4	9.3
Measurement 3	9.5	9.5	9.4	9.6
Measurement 4	9.6	9.6	9.8	9.8
Measurement 5	9.6	9.8	9.7	10.0
Measurement 6	9.6	9.6	9.6	9.9
Measurement 7	9.4	9.6	9.8	9.8
Average	9.50	9.59	9.57	9.67
Standard Dev	0.10	0.11	0.21	0.28
Min	9.40	9.50	9.30	9.30
Max	9.60	9.80	9.80	10.00
Range	0.20	0.30	0.50	0.70

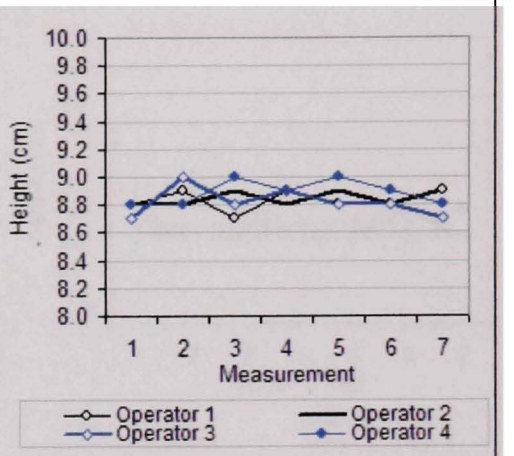


Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	2.7	2.7	2.7	2.6
Measurement 2	2.7	2.7	2.7	2.6
Measurement 3	2.7	2.8	2.7	2.8
Measurement 4	2.9	2.8	2.8	3.1
Measurement 5	2.9	3.0	2.8	3.2
Measurement 6	2.9	2.8	2.8	3.2
Measurement 7	2.7	2.7	2.9	3.0
Average	2.79	2.79	2.77	2.93
Standard Dev	0.11	0.11	0.08	0.26
Min	2.70	2.70	2.70	2.60
Max	2.90	3.00	2.90	3.20
Range	0.20	0.30	0.20	0.60

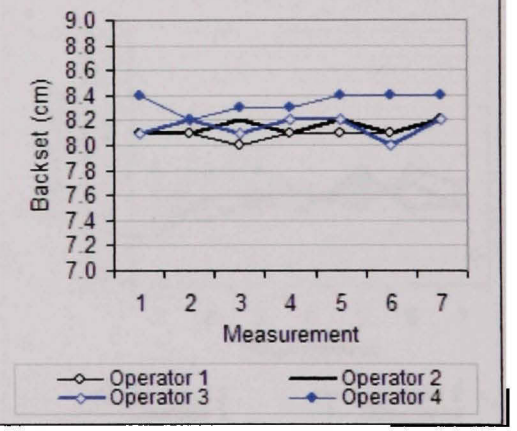


Vehicle 7: 2007 Dodge Caliber SE 4-door compact wagon
HR Style: Adjustable **Seat:** Fabric **Seat adjustme:** None
H-pt: TC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	8.8	8.8	8.7	8.8
Measurement 2	8.9	8.8	9.0	8.8
Measurement 3	8.7	8.9	8.8	9.0
Measurement 4	8.9	8.8	8.9	8.9
Measurement 5	8.8	8.9	8.8	9.0
Measurement 6	8.8	8.8	8.8	8.9
Measurement 7	8.9	8.9	8.7	8.8
Average	8.83	8.84	8.81	8.89
Standard Dev	0.08	0.05	0.11	0.09
Min	8.70	8.80	8.70	8.80
Max	8.90	8.90	9.00	9.00
Range	0.20	0.10	0.30	0.20



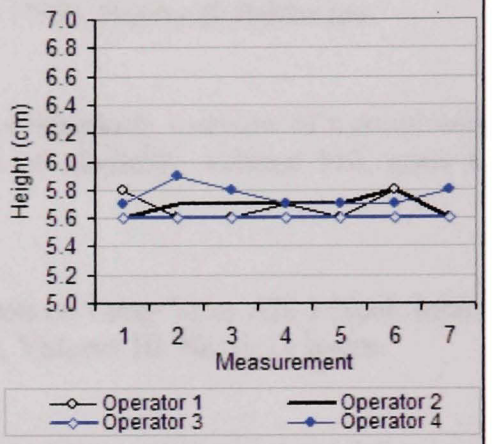
Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	8.1	8.1	8.1	8.4
Measurement 2	8.1	8.1	8.2	8.2
Measurement 3	8.0	8.2	8.1	8.3
Measurement 4	8.1	8.1	8.2	8.3
Measurement 5	8.1	8.2	8.2	8.4
Measurement 6	8.1	8.1	8.0	8.4
Measurement 7	8.2	8.2	8.2	8.4
Average	8.10	8.14	8.14	8.34
Standard Dev	0.06	0.05	0.08	0.08
Min	8.00	8.10	8.00	8.20
Max	8.20	8.20	8.20	8.40
Range	0.20	0.10	0.20	0.20



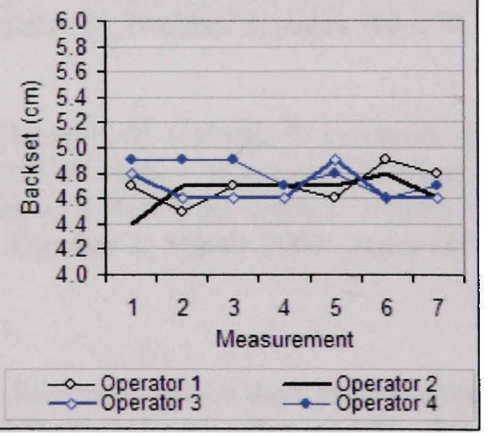
Vehicle 8: 2006 Mercedes C230 4-door sedan
HR Style: Adjus. (height and tilt)
H-pt: ICBC
Software: Excell
Analysis: Repeatability and reproductibility

Seat: Leather
Seat adjustme: highest

Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	5.8	5.6	5.6	5.7
Measurement 2	5.6	5.7	5.6	5.9
Measurement 3	5.6	5.7	5.6	5.8
Measurement 4	5.7	5.7	5.6	5.7
Measurement 5	5.6	5.7	5.6	5.7
Measurement 6	5.8	5.8	5.6	5.7
Measurement 7	5.6	5.6	5.6	5.8
Average	5.67	5.69	5.60	5.76
Standard Dev	0.10	0.07	0.00	0.08
Min	5.60	5.60	5.60	5.70
Max	5.80	5.80	5.60	5.90
Range	0.20	0.20	0.00	0.20



Measurement #	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
Measurement 1	4.7	4.4	4.8	4.9
Measurement 2	4.5	4.7	4.6	4.9
Measurement 3	4.7	4.7	4.6	4.9
Measurement 4	4.7	4.7	4.6	4.7
Measurement 5	4.6	4.7	4.9	4.8
Measurement 6	4.9	4.8	4.6	4.6
Measurement 7	4.8	4.6	4.6	4.7
Average	4.70	4.66	4.67	4.79
Standard Dev	0.13	0.13	0.13	0.12
Min	4.50	4.40	4.60	4.60
Max	4.90	4.80	4.90	4.90
Range	0.40	0.40	0.30	0.30



LISTE DE RÉFÉRENCES

Articles de périodique :

Barnsley L., S. Lord et N. Bogduk. 1998. « The Pathology of Whiplash ». Spine: State of the Arts Reviews, vol. 12, No. 2 (Philadelphia, May 1998), Hanley & Belfus Inc.

Eck, J., Scott D. Hodges et S. Craig Humphrey. 2001. « Whiplash: a review of a commonly misunderstood injury ». The American Journal of Medicine, volume 110, issue 8, pages 651-656.

Eriksson, L. 2005. « Influence of Head Restraint Position on Long-Term AIS 1 Neck Injury Risk ». International Journal of Crashworthiness, Volume 10, No. 6, 11 pages.

Farmer, Charles M., Joann K. Wells et Adrian K. Lund. 2003. « Effects of Head Restraint and Seat Redesign on Neck Injury Risk in Rear-End Crashes ». Traffic Injury Prevention, Volume 4, Issue 2, June 2003, pages 83-90.

Kaneoka, C., K. Onon, S. Inami et K. Hayashi. 1999. « Motion Analysis of Cervical Vertebrae during Whiplash Loading ». Spine, Volume 24, Number 8, pages 763-770.

Svennson, Mats Y., O. Bostrom, J. Davidsson, H. A. Hansson, Y. Haland, P. Lovsund, A. Suneson et A. Saljo. 2000. « New Injuries in Car Collisions – A review Covering a Possible Injury Mechanism and the Development of a New Rear-Impact Dummy ». Accident Analysis and Prevention, Volume 32, Number 2, March 2000, pages 167-175.

Tencer, Allan F., Sohail Mirza et Kevin Bensel. 2002. « Internal Loads in the Cervical Spine During Motor Vehicle Rear-End Impacts: The Effect of Acceleration and Head-to-Head Restraint Proximity ». Spine, 2002, 9 pages.

Yoganadan, N., F. Pintar, J. Cusick. 1999. « Biomechanical Analyses of Whiplash Injuries using Experimental Model ». Accident Analysis and Prevention, Volume 34, Number 5, pages 663-671.

Articles de conférence :

Avery, J. Matthew, David S. Zuby, John W. Gane et Mark Christopher Cox. 2008. « GLORIA: Design and Development of a Calibration Jig for H-point machines Used for the Measurement of Head Restraint Geometry ». SAE 2008 World Congress (Detroit, April 14-17 2008). SAE Paper 2008-01-0348.

Bogduk, Nikolai et Narayan Yoganandan. 2001. « Biomechanics of the Cervical Spine Part 3: minor injuries ». Clinical Biomechanics 16 (Elsevier, 2001), pages 267-275.

Brown, Christina M., Y. Ian Noy et Casey J. Pruett. 2001. « The Electronic Belt-Fit Test Device (eBTD): A Method for Certifying Safe Seat Belt Fit ». Actes de la 17e Conférence ESV (Amsterdam, Juin 2001), 6 pages.

Flannagan, Carol A.C. 2005. « Reproducibility and repeatability of the SAE J4002 and J826 H-point machines ». Society of Automotive Engineers. 2005, vol. 114, n° 6, 10 pages.

Gane, John. 2004. « Dynamic Testing of Vehicle Seats for Whiplash Protection ». XIVe Conférence canadienne multidisciplinaire sur la sécurité routière. (Ottawa, juin 2004), 5 pages.

Gane, John. 1999. « Head Restraint Measuring Device ». Traffic Safety and Auto Engineering Session of WAD'99. (Vancouver, février 1999), 12 pages.

Hell, W., K. Langwieder et F. Waltz. 1999. « Occurrence of Reported Cervical Spine Injuries in Car Accidents and Improved Safety Standards for Rear-End Impacts ». Whiplash Associated Disorders World Congress (Vancouver, 1999), 19 pages.

Kleinberger, Michael, Emily Sun, James Saunders et Zaifei Zhou. 1999. « Effects of Head Restraint Position on Neck Injury in Rear Impact ». World Conference on Whiplash Associated Disorders, (Vancouver, September 1999), 29 pages.

Kleinberger, Michael, Liming Voo, Andrew Merkle, Matthew Bevan, Shin-Sung Chang et Felicia McKoy. 2003. « The role of seatback and head restraint design parameters on rear impact occupant dynamics ». Proceedings – 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, (Japan, May 2003), 15 pages.

McConnell, Whitman E., R.P. Howard, H.M. Guzman, J.B. Bomar, J.H. Raddin, J.V. Benedict, H.L. Smith et C.P. Hatsell. 1993. « Analysis of Human Test Subject Kinematics Responses to Low Velocity Rear End Impacts ». International Congress & Exposition, (Detroit, 1993), Society of Automotive Engineers, SAE Paper 930889.

McConnell, Whitman E., R.P. Howard, J.V. Poppel, R. Krause, H.M. Guzman et J.B. Bomar. 1995. « Human Head and Neck Kinematics After Low Velocity Rear-End Impacts--Understanding "Whiplash" ». Proceedings of the 39th Stapp Car Crash Conference, (San Diego, 8-10 November 1995), Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers, pages 215-238, SAE Paper 952724.

Olsson I., O. Bunketorp, O. Carlsson et G. Gustafsson. 1990. « An In-Depth Study of Neck Injuries in Rear-End Collisions ». International IRCOBI Conference, (Bron, 1990), 12 pages, SAE 1990-13-0019.

Sorenson, Wayne, C.M. Farmer, J.K. Wells et J.V. Werner. 1999. « Relationship of Head Restraint Positioning to Driver Neck Injury in Rear-End Crashes ». Whiplash Associated Disorders – World Congress, (Vancouver, 1999), 21 pages.

Svennson, Mats Y., B. Aldman, H.A. Hansson, P. Lund, T. Seeman, A. Suneson et T. Tengren. 1993. « Pressure Effects in the Spinal Canal during Whiplash Extension Motion: A Possible Cause of Injury to the Cervical Spinal Ganglia ». Proceedings of the 1993 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts, (Eindhoven, 1993).

Svennson, Mats Y., Per Lövsund, Yngve Hâland et Stefan Larsson. 1996. « The Influence of Seat-Back and Head-Restraint Properties on the Head-Neck Motion during Rear-Impact ». Accident Analysis and Prevention 28:22 (Elsevier, 1996) pages 221-227.

Walz, F. et M.H. Muser. 1995. « Biomechanical Aspects of Cervical Spine Injuries ». SAE International Congress and Exhibition (Detroit, April 1995), SAE 950658.

Document électroniques sur le Web :

UNECE. 2005. « Informal Group on Head Restraints ». Registre des présentations par les divers participants. Février 2005 à décembre 2007. <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grsp/head11.html>. Consulté le 12 juillet 2008.

Normes :

ISO EN960:2006. « Headforms for use in the testing of protective helmets », International Organization for Standardization, July 1995.

ISO 6549:1999. « Road vehicles -- Procedure for H- and R-point determination », International Organization for Standardization, December 1999.

NHTSA. 2005. « (USA) Final Rule ». Informal Group on Head Restraints - 1st meeting (Paris, 1 and 2 February 2005). En ligne. 45 pages. <http://www.unece.org/trans/doc/2005/wp29grsp/HR-01-02e.pdf>. Consulté le 1 février 2005.

NHTSA. 2007. « Federal Motor Vehicle Safety Standards - Head Restraint ». En ligne. 10 pages. <http://www.fmcsa.dot.gov/rules-regulations/administration/fmcsr/fmcsrruletext.asp?chunkKey=090163348008f2ac>. Consulté le 3 mai 2006.

SAE J826. 1995. « Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation », SAE Standard J826 (R), SAE International, July 1995, 5 pages.

SAE J1460/2. 2008. « Human Mechanical Impact Response Characteristics--Response of the Human Neck to Inertial Loading by the Head for Automotive Seated Postures », SAE Standard J1460/2, SAE International, June 2003.

SAE. 2005. « H-Point Machine (HPM-II) Specifications and Procedure for H-Point Determination/Auditing Vehicle Seats », SAE Standard J4002 (R), SAE International, August 2005.

UNECE. 1998. « Accord concernant l'établissement de règlements techniques mondiaux applicables aux véhicules à roues, ainsi qu'aux équipements et pièces qui peuvent être montés et/ou utilisés sur les véhicules à roues ». 1998. En ligne. 24 pages.

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob/globalf.pdf>. Consulté le 6 juin 2008.

UNECE. 1998. « Règlement technique mondial No 7, appuie-tête ». 13 mars 2008. En ligne. 87 pages. <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a7f.pdf>. Consulté le 8 décembre 2008.

Rapports :

Bergevin, Éric. 2006. « Measuring Backset With the ICBC Head Restraint Measuring Device (HRMD) ». Informal Group on Head Restraints – 7th meeting. Transports Canada, 12-14 septembre 2006. Montréal, Québec, Canada. En ligne. 28 pages. <http://www.unece.org/trans/doc/2006/wp29grsp/HR-07-05e.pdf>. Consulté le 10 janvier 2008.

NHTSA. 2006. « US Measurement Variability Presentation ». Informal Group on Head Restraints - 5th meeting. Cologne, Allemagne. 23-26 janvier 2006. <http://www.unece.org/trans/doc/2006/wp29grsp/HR-05-04e.pdf>. Consulté le 4 février 2008.

Jakobsson et coll. 1994. « Analysis of Head and Neck Responses in Rear End Impacts – A New Human-Like Model ». Volvo Car Corporation Safety Report.

Japon. 2005. « Japan's Comments on Backset Requirements of FMVSS 202aS - Final Rule - Study of Variations in Backset Measurements ». Japon. Informal Group on Head Restraints – 2nd meeting. Paris, France. 11-13 avril 2005. <http://www.unece.org/trans/doc/2005/wp29grsp/HR-02-05e.pdf>. Consulté le 12 mai 2008.

Kahane, C. 1982. « An Evaluation of Head Restraints ». Federal Motor Vehicle Safety Standards 202 NHTSA, February 1982, DOT HS-806-108, page 46.

Lorenzo. L. 2001. « Comment to proposed rule on head restraint ». Cerviguard Inc. NHTSA Docket N° 2000-8570-3. January 29, 2001. 2 pages.

NHTSA. 2007. « Federal Motor Vehicle Safety Standards - Head Restraint - Final Rule – Response to petitions for reconsideration ». Department of Transport. 49 CFR Parts 571 and 585. Federal Motor Vehicle Safety Standards 202a NHTSA, May 4, 2007. En

ligne. 42 pages. <http://edocket.access.gpo.gov/2007/pdf/07-2011.pdf>. Consulté le 4 juillet 2008.

OICA. 2007. « OICA test programme on backset measurement ». Informal Group on Head Restraints – 9th meeting to be considered matching the 41st GRSP meeting. Genève, Suisse. 7-11 mai 2007. <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grsp/head09.html>. Consulté le 15 avril 2008.

Schneider, L.W., et M.P. Reid, R. Roe, M. Manary, Carol A.C. Flannagan, Robert P. Hubbard et Gary L. Rupp. 1999. « Aspect: the Next-Generation, H-Point Machine and Related Vehicle and Seat Design and Measurement Tools ». SAE International Document Number 1999-01-0962, March 1999.

Spitzer W.O., Skovron M.L., Salmi L.R. et coll. « Scientific Monograph of the QTF on Whiplash-Associated Disorders, Redefining "Whiplash" and its Management ». Spine, April 1995, Supplement Vol 20 Num 85.

UNECE. 2006. « US Measurement Variability Comparison ». Informal Group on Head Restraints - 5th meeting. Cologne, Allemagne. 23-26 janvier 2006. <http://www.unece.org/trans/doc/2006/wp29grsp/HR-05-10e.pdf>. Consulté le 4 février 2008.

BIBLIOGRAPHIE

École de technologie supérieure. Automne 2006. « GTS 501 - Ingénierie des systèmes humains ». Nicola Hagemeister.

ITHACA College, 2003. « Gross anatomy ». En ligne. < http://www.ithaca.edu/faculty/lahr/LE2000/LE_index.html >. Consulté le 31 juillet 2006.

Marieb, Elaine N. 1999, « Anatomie et physiologie humaines », DeBoeck University, ISBN 2-7613-1053-5, 1999, 1170 pages.

Maîtrise-Orthopédique, 2008. « rachis – bassin ». En ligne. < http://www.maitrise-orthop.com >, Consulté le 5 octobre 2007.

Viano, David C. 2004. « The Debate Between Stiff and Yielding Seats ». SAE International, ISBN 978-0-7680-1258-3, janvier 2004, 648 pages.

Viano, David C. 2002. « Role of the Seat in Rear Crash Safety ». SAE International, ISBN 978-0-7680-0847-0, octobre 2002, 514 pages.

White, A. Augustus et Manohar M. Panjabi, 1990. « Clinical Biomechanics of the Spine ». Second Edition. Lippincott – Raven publishers, ISBN 0-397-50720-8, 722 pages.