

Bruit et vibrations
Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

RAPPORT R-631



**Développement d'un prototype de siège
pour opérateur de métro dans un contexte
où l'espace est très restreint**

*Sylvie Beaugrand
Pierre Marcotte
Christian Larue
Jérôme Boutin
Marie Bellemare*





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046 <http://www.irsst.qc.ca/en/pat-abonnement.html>

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2009

ISBN : 978-2-89631-409-6 (imprimé)

ISBN : 978-2-89631-410-2 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
novembre 2009



Bruit et vibrations
Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

RAPPORT R-631

Développement d'un prototype de siège pour opérateur de métro dans un contexte où l'espace est très restreint

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*Sylvie Beaugrand¹
Pierre Marcotte¹
Christian Larue¹
Jérôme Boutin¹
et Marie Bellemare²*

¹IRSST
²Université Laval

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

SOMMAIRE

Cette étude porte sur le développement d'un prototype de siège d'opérateur de métro permettant d'atténuer les vibrations et d'améliorer le confort, tout en convenant à l'espace très restreint de la loge de conduite. Le siège actuellement utilisé (strapontin) et conçu il y a une trentaine d'années, s'avère insatisfaisant : il est de confection rudimentaire et amplifie les vibrations. Cette étude fait suite à l'analyse ergonomique et vibratoire du poste d'opérateur de métro (Bellemare et coll., 2005; Beaugrand et coll., 2006; Beaugrand et coll. 2004; Boileau et coll., 2005).

La démarche de développement du prototype de siège repose sur la collaboration entre les chercheurs en ergonomie et en vibration et sur la participation soutenue d'un groupe de travail paritaire composé du personnel de l'entreprise, des chercheurs et d'un concepteur de siège.

Un document d'appel d'intérêt visant à solliciter la participation de fournisseurs a été rédigé en listant les critères d'ergonomie, de vibration, d'ingénierie, d'entretien, de SST et d'approvisionnement. Parmi les principes généraux recherchés pour le siège, on note : volume restreint; conception faite à partir de composants existants; mobilité (gauche/droite, avant/arrière, rotation) pour convenir aux deux modes de conduite (manuelle et automatique); rapidité et facilité d'ajustement (les opérateurs peuvent changer de train aux 20 minutes); fréquence naturelle inférieure à 1,7 Hz; indépendance par rapport à l'énergie du train. Des tests sur un simulateur de vibration et une évaluation ergonomique de trois sièges proposés par deux fournisseurs ont révélé qu'aucun ne convenait (facteur SEAT¹ > 1). La recherche d'une suspension s'est poursuivie avec un seul fournisseur (nommé par la suite « le concepteur »). Une combinaison de coussin et de suspension pneumatique adéquate (facteur SEAT moyen de 0,86) a été retenue; le concepteur proposait d'installer une pompe manuelle pour satisfaire au critère d'ingénierie (indépendant de l'énergie du train). Pour convenir à l'espace très restreint de la loge, la suspension a dû être tournée de 90 degrés.

Une première version de prototype de siège a été testée avec 12 opérateurs dans une maquette de loge grandeur réelle. Ces tests ont montré que : les plages d'ajustement disponibles convenaient aux besoins des opérateurs leur permettant d'adapter leur position selon les deux modes d'opération; le prototype constituait une bonne amélioration par rapport au strapontin d'origine; des améliorations devaient être apportées au rembourrage des coussins. Parallèlement, des tests préliminaires sur le simulateur de vibration ont permis de conclure que le facteur SEAT était satisfaisant, même quand la suspension n'était pas ajustée à mi-course. Bien que cela ne soit pas recommandé habituellement, il a été jugé acceptable d'utiliser la suspension pour ajuster la hauteur du siège afin de simplifier les ajustements requis. À cette étape, le critère d'ingénierie a été révisé, un compresseur pouvait être installé pour gonfler la suspension à partir de l'énergie du train.

Dans la seconde version du prototype, le concepteur a apporté des améliorations aux systèmes d'ajustement de la position du siège et de la suspension de même qu'aux coussins. La suspension installée, plus récente que celle préalablement testée, a dû être modifiée pour convenir aux critères en déplaçant les butées et en retirant l'amortisseur. Par ailleurs, pour éliminer un effet de

¹ SEAT : *Seat Effective Amplitude Transmissibility*. Un facteur SEAT inférieur à 1,0 représente une atténuation des vibrations tandis qu'un facteur supérieur à 1,0 représente une amplification des vibrations.

tangage, l'assise a été reculée de 7,5 cm par rapport à la suspension. Le prototype a ensuite été testé de façon statique puis dynamique sur le simulateur de vibration, avec la participation de 11 opérateurs dans différentes conditions reflétant l'utilisation réelle (ex. ajustement en hauteur, position du siège en translation et rotation, classes spectrales, poids des opérateurs). Les résultats confirment que la suspension est plus performante dans les conditions suivantes : sans l'amortisseur, ajustée à mi-course, lorsque le poids de l'opérateur est élevé et que le niveau de vibration est élevé. Les niveaux d'inconfort ressentis étaient « légers » ou moindre (échelle de Cameron 1996) pour 40 des 44 situations testées sur le simulateur de vibration et pour les 11 situations testées statiquement. De façon générale, les opérateurs se sont dits très satisfaits du siège, notamment de la poignée permettant de régler simultanément la position du siège dans les axes avant/arrière, gauche/droite et en rotation.

Suite à quelques modifications, une troisième version du prototype a été testée dans les conditions réelles d'utilisation par 19 opérateurs pour documenter les aspects suivants : niveaux vibratoires, inconforts liés aux vibrations durant le parcours, inconfort général et localisé, appréciation des différentes caractéristiques du siège, effet sur la réalisation des tâches et sur la sécurité. Les résultats montrent que la quasi-totalité des opérateurs (18/19) trouvent que le nouveau siège est « beaucoup mieux » que leur strapontin actuel. Le prototype permet un meilleur support du corps et sa mobilité permet de varier les postures pour mieux convenir à chaque mode de conduite. Cependant, en raison de l'espace très restreint de la loge et de la disposition du manipulateur, les postures demeurent le résultat de compromis. Le nouveau siège modifie peu la façon de réaliser les tâches à l'exception de l'adaptation nécessaire pour actionner le manipulateur² lorsque la suspension s'active. Par ailleurs, six des sept opérateurs ayant choisi de régler leur siège bas, et qui ont donc peu gonflé la suspension, ont mentionné des inconforts qu'ils associaient aux vibrations ou que la suspension était un peu trop souple. Les mesures vibratoires montrent cependant que le siège atténue globalement les vibrations (SEAT global entre 0,86 et 0,99); les meilleures performances ont été notées lorsque la suspension était à mi-course. L'examen plus approfondi des données a révélé un effet d'amplification d'une composante vibratoire située à 2,4 Hz lorsque le siège n'était pas ajusté à mi-course, et particulièrement lorsque le siège était réglé bas, ce qui pouvait occasionner des inconforts. Ceci met donc en évidence l'importance de considérer, lors des essais dynamiques, non seulement le facteur SEAT mais également, pour des raisons d'inconfort, l'analyse des niveaux vibratoires selon le contenu fréquentiel.

Des recommandations ont été faites à l'entreprise (i.e. la société de transport) concernant des essais à plus long terme du prototype et la possibilité d'ajouter un ajustement en hauteur indépendant de la suspension. L'entreprise compte amorcer prochainement ces essais. De plus, pour minimiser les erreurs et prendre en compte les exigences du travail d'opérateur lors la conception, l'entreprise a transformé sa pratique : elle a exigé, dès l'appel d'offre de la nouvelle génération de train, qu'un groupe de travail soit impliqué dans les différentes étapes de conception du poste de conduite et qu'une maquette grandeur nature soit réalisée et testée par plusieurs opérateurs.

² Manette servant à réguler la vitesse du train.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la STM et le syndicat SCFP 1983 pour leur collaboration étroite sans laquelle ce projet n'aurait pas été possible.

Un merci chaleureux à tous les membres du groupe de travail qui, par leur implication positive et soutenue, ont permis de faire évoluer le projet efficacement. Un merci particulier aux opérateurs qui ont participé aux différents tests et ont répondu généreusement à nos nombreuses questions.

Merci au comité de suivi qui a toujours appuyé et facilité les travaux du groupe de travail et le projet de recherche. Merci à la partie patronale, la partie syndicale et au représentant de l'APSAM ainsi qu'aux membres du comité de sélection d'un fournisseur.

Merci à l'équipe de la compagnie CROI, qui a conçu le prototype, notamment pour sa collaboration efficace et enthousiaste.

Merci également à tout le personnel de la STM et du SCFP 1983 qui a permis de réaliser les essais en situation réelle de travail qui demandaient une logistique très importante.

Merci au personnel de l'IRSST qui a contribué à la réalisation de cette étude : Monsieur Paul-Émile Boileau, chercheur, Messieurs Pierre Drouin et Christian Sirard, techniciens, Madame Maud Gonella, assistante de recherche, Mesdames Ariane Gingras et Pauline Salles, stagiaires.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
1 INTRODUCTION.....	1
2 ÉTAT DES CONNAISSANCES ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	3
2.1 Sommaire des résultats obtenus dans l'étude ergonomique précédente (Bellemare et coll., 2005)	3
2.1.1 Description du travail d'opérateur de métro.....	3
2.1.2 L'analyse ergonomique	4
2.1.3 Modifications apportées aux loges de conduite	5
2.2 Sommaire des résultats obtenus dans l'étude vibratoire précédente (Boileau et coll., 2005)	6
2.3 Objectif de l'étude : le développement d'un prototype de siège	8
3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....	9
3.1 Conduite de l'étude et liens avec les partenaires	9
3.2 Questionnaires et mesures ergonomiques.....	10
3.3 Les mesures vibratoires	12
3.4 Les participants.....	14
3.5 Considérations éthiques	14
4 DE L'APPEL D'INTÉRÊT AU CHOIX D'UNE COMBINAISON SUSPENSION- COUSSIN.....	15
4.1 L'appel d'intérêt et les exigences pour la conception	15
4.2 La réponse à l'appel d'intérêt : évaluation des sièges proposés par les fournisseurs	16
4.3 Un seul fournisseur – « le concepteur » : évaluation de quatre suspensions et de deux coussins d'assise	17
4.3.1 Évaluation des suspensions.....	19
4.3.2 Caractéristiques vibratoires des coussins.....	19
4.3.3 Combinaison suspension-coussin retenue	20
4.3.4 Réglage de la suspension et comportement dynamique – essais sommaires	21

5	ÉVOLUTION DU PROTOTYPE DE SIÈGE	23
5.1	Prototype version 1	23
5.1.1	Essai dans une maquette de loge	23
5.2	Prototype version 2.....	25
5.2.1	Vérifications préliminaires	26
5.2.2	Essais dynamiques du siège sur le simulateur de vibration.....	28
5.2.3	Essais statiques du prototype de siège	32
5.2.4	Essais sommaires dans un train en service.....	33
5.2.5	Conclusion de cette étape	33
5.3	Prototype version 3.....	34
6	ESSAIS DU PROTOTYPE EN SITUATION RÉELLE DE CONDUITE	35
6.1	Déroulement et méthodes	35
6.2	Résultats – La suspension et les vibrations.....	38
6.2.1	La perception des opérateurs quant à la suspension et aux vibrations	38
6.2.2	L'atténuation globale des vibrations (SEAT).....	40
6.2.3	Les niveaux de vibration en fonction de la fréquence	44
6.2.4	Retour sur les résultats obtenus sur le simulateur de vibration.....	47
6.2.5	Des pistes à envisager pour diminuer les inconforts liés aux vibrations	52
6.3	Résultats – L'appréciation du prototype, les choix posturaux et les effets sur les tâches et la sécurité.....	53
6.3.1	Les inconforts.....	53
6.3.2	L'appréciation des caractéristiques du siège.....	54
6.3.3	Les ajustements du siège et postures choisis par les opérateurs.....	57
6.3.4	Les effets sur le travail à accomplir et sur la sécurité.....	62
6.4	Bilan général.....	64
6.5	Recommandations	66
7	DISCUSSION SUR LE DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE DE SIÈGE.....	67
7.1	Les défis anticipés et les défis réels	67
7.2	La portée et les limites de l'évaluation réalisée	68
8	CONCLUSION	73
9	RÉFÉRENCES.....	75

ANNEXE A : QUESTIONNAIRES UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION DU PROTOTYPE DE SIÈGE.....	77
ANNEXE B : CARACTÉRISTIQUES ANTHROPOMÉTRIQUES DES OPÉRATEURS AYANT PARTICIPÉ aux essais	105
ANNEXE C : CRITÈRES ÉNONCÉS DANS L'APPEL D'INTÉRÊT ET CARACTÉRISTIQUES DU PROTOTYPE FINAL	109
ANNEXE D : COMPILATION DES QUESTIONS POSÉES AUX OPÉRATEURS RELATIVEMENT AUX VIBRATIONS ET À LA DYNAMIQUE DU SIÈGE.....	121
ANNEXE E : PERCEPTION DES OPÉRATEURS QUANT AUX VIBRATIONS ET À LA SUSPENSION	125
ANNEXE F : DÉTAIL DES RÉSULTATS VIBRATOIRES OBTENUS EN SITUATION RÉELLE	129
ANNEXE G : SPECTRES VIBRATOIRES AU PLANCHER ET À L'ASSISE pour CHACUNE DES INTERSTATIONS.....	135
ANNEXE H : POSITIONS DU PROTOTYPE DE SIÈGE LORS DES ESSAIS EN SITUATION RÉELLE DE TRAVAIL	151

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Niveau moyen d'exposition quotidienne ($A(8)$, m/s^2 , w_k), aux vibrations globales du corps des opérateurs de métro.....	7
Tableau 2 :	Facteur SEAT moyen des différents sièges	17
Tableau 3 :	Facteur SEAT de la suspension seulement	19
Tableau 4 :	Facteur SEAT des différents coussins (suspension-R bloquée)	20
Tableau 5 :	Facteur SEAT des différents coussins (suspension-R active).....	20
Tableau 6 :	Effet de l'amortisseur et de la position de l'assise, classe spectrale <i>MR-73 moyen</i>	27
Tableau 7 :	Effet de l'amortisseur et de la position de l'assise, classe spectrale <i>MR-73 sévère</i>	27
Tableau 8 :	Définition de la plage d'ajustement de la suspension.....	28
Tableau 9 :	Conditions testées sur le simulateur de vibration	29
Tableau 10 :	Facteur SEAT global pour différentes hauteurs de la suspension	30
Tableau 11 :	Facteur SEAT global pour les différentes classes spectrales.....	31
Tableau 12 :	Facteur SEAT global pour les différentes positions de l'assise.....	31
Tableau 13 :	Facteur SEAT global pour différentes positions extrêmes de l'assise.....	32
Tableau 14 :	Phases d'essai en situation réelle et informations recueillies	37
Tableau 15 :	Niveaux d'accélération pondérée pour les trois axes x, y, et z.....	40
Tableau 16 :	Facteurs SEAT moyen pour chacun des 6 opérateurs	41
Tableau 17 :	Facteurs SEAT selon les trois axes de translation	44
Tableau 18 :	Comparaison des facteurs SEAT entre le strapontin et le prototype de siège à suspension (ligne 4)	44
Tableau 19 :	Influence de l'ajustement en hauteur de la suspension sur la fréquence naturelle (f_n) et le coefficient d'amortissement réduit (ξ) de la suspension : sujet de 83 kg, spectre de vibration MR-73 sévère	51
Tableau 20 :	Évaluation globale comparative du prototype de siège versus le strapontin MR-73.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	La loge et le strapontin MR-73	5
Figure 2.	Pupitre original et modifié	6
Figure 3.	Appuie-pieds relevé et abaissé.....	6
Figure 4.	Posture type dans la loge non modifiée	6
Figure 5.	Amélioration de la posture de la jambe droite grâce aux modifications apportées au pupitre	6
Figure 6.	Système de coordonnées basicentrique selon la norme ISO 2631-1 (1997).....	12
Figure 7.	Facteur de pondération w_k (axe vertical z) en fonction de la fréquence	12
Figure 8.	Siège à suspension et points de mesure de l'accélération.....	13
Figure 9.	Plate-forme hydraulique.....	13
Figure 10.	Classes spectrales pour les motrices MR-63 et MR-73	14
Figure 11.	Siège-A, avec suspension mécanique, du fournisseur-1	16
Figure 12.	Siège-R, à suspension pneumatique, servant de référence	16
Figure 13.	Les trois assises testées	18
Figure 14.	Suspension mécanique (F), compacte pivotée de 90 degrés, assise-R	18
Figure 15.	Suspension pneumatique (E), pivotée de 90 degrés, assise-R	18
Figure 16.	Siège à suspension mécanique au dossier avec son assise originale (D).....	18
Figure 17.	Siège-R, suspension pneumatique-R pivotée de 90 degrés	18
Figure 18.	Détail des ajustements possibles sur le prototype-1	23
Figure 19.	Simulation de la conduite (PA et CM) dans la maquette de loge	25
Figure 20.	Points d'inconfort associés au siège	25
Figure 21.	Prototype-2, localisation des mécanismes d'ajustement et de la plaque de fixation	26
Figure 22.	Prototype-2, l'assise relevée permet de dégager l'espace pour circuler dans la loge et de passer le siège par la porte inter-communicante	26
Figure 23.	Prototype 3	34
Figure 24.	Détail des ajustements du siège	34
Figure 25.	Déplacement absolu du plancher et relatif de la suspension par rapport au plancher (opérateur 1, essai 6 : Jean-Drapeau→Longueuil)	41
Figure 26.	Évolution du facteur SEAT en fonction du niveau de vibration au plancher (opérateur 4 (100 kg), essai 1 : Berri-UQÀM→Jean-Drapeau)	42
Figure 27.	Évolution du facteur SEAT en fonction du niveau de vibration au plancher (opérateur 4 (100 Kg), essai 4 : Jean-Drapeau→Berri-UQÀM).....	42
Figure 28.	Évolution du facteur SEAT en fonction du niveau de vibration au plancher (opérateur 4 (100 kg), essai 6 : Jean-Drapeau→Longueuil).....	43
Figure 29.	Niveau moyen de vibration au plancher selon la position de la motrice, ligne 4.....	45
Figure 30.	Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension ajustée à la hauteur minimale (opérateur 1 : essai 6)	45
Figure 31.	Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension ajustée à la hauteur centrée (opérateur 4 : essai 1).....	46
Figure 32.	Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension ajustée à la hauteur maximale (opérateur 3 : essai 1)	46

Figure 33.	Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension bloquée (opérateur 6 : essai 9).....	47
Figure 34.	Transmissibilité de la suspension en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension (sujet de 83 kg).....	48
Figure 35.	(a) Accélération verticale pondérée au plancher et au coussin en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension (sujet de 83 kg). (b) zoom de 0,5 à 5 Hz.....	49
Figure 36.	Modèle à un degré de liberté de la suspension	50
Figure 37.	Transmissibilité de la suspension et du coussin : sujet de 83 kg, ajustement à hauteur centrée, classe spectrale MR-73 sévère	52
Figure 38.	Localisation des inconforts/douleurs. Schéma selon Cameron (1996).....	53
Figure 39.	Caractéristiques du siège associées aux inconforts ressentis par les opérateurs.....	54
Figure 40.	Posture pour ajuster la hauteur du strapontin MR-73	56
Figure 41.	Posture pour ajuster la hauteur du prototype de siège	56
Figure 42.	Posture pour ajuster la position du strapontin MR-73 dans l'axe avant/arrière.....	56
Figure 43.	Posture pour ajuster la position du prototype de siège dans différents axes.....	56
Figure 44.	Position commune au tiers des opérateurs en PA (à gauche, avancé, en rotation de 40 degrés).....	59
Figure 45.	Position commune au tiers des opérateurs en PA (centré latéralement, sans rotation)	59
Figure 46.	Opérateur de taille à 99 ^e centile, sur le strapontin MR-73 en PA	59
Figure 47.	Opérateur de taille à 99 ^e centile, sur le prototype de siège en PA	59
Figure 48.	Utilisation du siège comme appuie-fesses	59
Figure 49.	Position commune à près de 50% des opérateurs en CM (à droite, sans rotation)	60
Figure 50.	Position commune à près de 50% des opérateurs en CM (à droite, avec rotation).....	60
Figure 51.	Déplacement de l'opérateur sur le strapontin MR-73 pour se rapprocher du manipulateur en CM (5 ^e centile).....	61
Figure 52.	Se lever sans bouger la position du prototype de siège (siège en rotation à gauche)	63
Figure 53.	Circuler dans la loge lorsque le prototype de siège est reculé au mur.....	63
Figure 54.	La rencontre des critères de chaque discipline pour le choix du meilleur compromis d'ensemble.	71

1 INTRODUCTION

En 2002, la Société de transport de Montréal (STM) et le syndicat représentant ses chauffeurs d'autobus et les opérateurs³ de métro déposaient une demande à l'IRSST visant à : « (...) *quantifier les niveaux vibratoires auxquels sont exposés nos opérateurs et de recommander un nouveau type de strapontin pour la loge de conduite MR-73; les strapontins actuellement utilisés amplifient les vibrations transmises (...); régler cette problématique et identifier un siège répondant à des critères ergonomiques, le tout dans l'espace restreint actuellement disponible dans la loge de conduite.* »

Pour répondre à cette demande, une programmation de trois études a été proposée conjointement par une équipe de chercheurs spécialisée en ergonomie et une équipe spécialisée en vibration. Le premier projet, réalisé par les ergonomes, avait pour but de définir la problématique de santé et sécurité au travail (SST) des opérateurs du métro et d'évaluer les possibilités de réaménagement des loges de conduite (Bellemare et coll. 2005, Beaugrand et coll. 2004 et 2006). Le second projet, sous la responsabilité des chercheurs en vibrations (Boileau et coll., 2005), visait entre autres à quantifier l'exposition des opérateurs aux vibrations, à évaluer l'efficacité des strapontins actuels et à identifier les caractéristiques désirables de raideur et d'amortissement des sièges qui permettraient une atténuation optimale des vibrations des classes spectrales typiques du métro⁴. Le présent rapport décrit la méthodologie et les résultats du troisième et dernier volet de cette programmation qui vise le développement d'un prototype de siège. Pour ce dernier volet, le mandat des chercheurs est de collaborer à la réalisation d'un prototype de siège avec la société de transport (ci-après nommée « l'entreprise ») et le syndicat, en fournissant l'expertise dans les domaines de l'ergonomie et des vibrations. Ce mandat se terminera par une phase de tests approfondis du prototype en situation réelle de travail.

Ce rapport fait état des principales étapes de développement d'un prototype de siège et discute des limites des résultats obtenus. Le chapitre 2 décrit sommairement le travail des opérateurs de métro, rappelle les principaux résultats des deux études précédentes et énonce les objectifs de cette étude. Le chapitre 3 traite des éléments méthodologiques communs aux différentes étapes de développement du prototype de siège alors que les éléments méthodologiques et les résultats spécifiques à chaque étape sont exposés plus en détail aux chapitres 4 à 6 en suivant le déroulement chronologique du projet jusqu'au essais finaux en situation réelle de travail. Finalement, les résultats de cette étude sont discutés en termes de défis à relever, des apports et des limites de l'approche.

³ Dans ce rapport, le terme « opérateur » désigne à la fois les hommes et les femmes qui exercent ce métier. Les titres de fonction ont été mis au masculin pour fins de simplification.

⁴ Les rapports de ces deux projets (R-431 et R-420) sont disponibles au www.irsst.qc.ca.

2 ÉTAT DES CONNAISSANCES ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le projet décrit dans ce rapport est le dernier volet d'une série de trois études visant à améliorer le poste de conduite des opérateurs de métro. Ce troisième volet porte sur le développement d'un prototype de siège plus confortable, atténuant les vibrations et pouvant être installé dans l'espace très restreint de la loge de conduite. La revue de littérature effectuée dans les précédents rapports de recherche (Bellemare et coll., 2005; Boileau et coll. 2005) montre que la situation prévalant dans le métro de Montréal s'apparente à celle décrite dans plusieurs études portant sur les loges de conduite de train et de métro d'autres pays : technologies anciennes; espace restreint dans les loges; aménagement ne répondant pas aux besoins des opérateurs; problèmes liés au manipulateur servant à réguler la vitesse du train; inconfort du siège; présence de vibrations. Les deux premières études ont permis de caractériser plus précisément le poste d'opérateur de métro du point de vue ergonomique et vibratoire; leurs résultats sont rappelés aux sections 2.1 et 2.2. Les objectifs spécifiques de la présente étude sont énoncés à la section 2.3.

2.1 Sommaire des résultats obtenus dans l'étude ergonomique précédente (Bellemare et coll., 2005)

2.1.1 Description du travail d'opérateur de métro

Les opérateurs de métro sont appelés à conduire des trains de générations différentes : les MR-63 mis en service en 1966 et les MR-73 mis en service en 1976. Le projet d'amélioration de la loge de conduite, incluant la recherche d'un nouveau siège, ne porte que sur les trains MR-73 qui seront en service pendant encore une quinzaine d'années.

Les trains peuvent être conduits selon deux modes : le **pilotage automatique (PA)** et la **conduite manuelle (CM)**. Dans les conditions de fonctionnement idéales, c'est-à-dire sans défaillance du système ou d'incident, le pilotage automatique demande peu d'action de la part de l'opérateur puisque la vitesse du train est contrôlée automatiquement jusqu'à l'arrêt complet en station. La conduite en PA requiert d'être vigilant, de procéder à la fermeture des portes et de commander le départ du train. La conduite manuelle est utilisée, entre autres, lors des premiers départs le matin et constitue le seul mode d'opération sur la ligne 4 (jaune). Certains opérateurs préfèrent, par moment, conduire le train en mode manuel car ce mode permet de favoriser la vigilance et de se sentir en contrôle du train. Cependant, ce mode de conduite est beaucoup moins fréquemment adopté. L'opération en CM implique de contrôler la vitesse du train (traction, freinage et erre) avec le manipulateur. Pour ce faire, l'opérateur doit tenir enfoncé le bouton homme-mort se trouvant sur le dessus du manipulateur et faire pivoter cette manette autour d'un axe vertical. La vitesse maximale permise est dictée par le système de contrôle automatisé et varie sur les différentes portions du parcours. L'opérateur peut consulter son « visualisateur⁵ » pour se guider dans l'ajustement de la vitesse mais il se sert également de repères visuels dans le tunnel. Différents incidents peuvent survenir lors de l'opération du train ce qui peut occasionner des arrêts de service généralement de courte durée mais qui peuvent parfois se prolonger plusieurs dizaines de minutes⁶. Ces interruptions peuvent être causées par

⁵ Cadran indiquant la vitesse permise sur le tronçon et la vitesse actuelle du train.

⁶ Le nombre médian d'incidents par jour pour l'ensemble du réseau est de 9; la durée médiane du délai de service pour l'ensemble des incidents par jour est de 37 minutes (Bellemare et coll., 2005).

des interventions des usagers (ex : obstruction d'une porte, actionnement du frein d'urgence, voyageur malade, tentative de suicide) mais peuvent être également de nature technique (problème de non-ouverture de porte, de non-charge de la batterie). Le travail d'opérateur comporte donc une part d'activité monotone qui est parfois entrecoupée par des interventions se devant d'être rapides pour faire face aux incidents. Les opérateurs font face à une grande variété de situations dans lesquelles ils doivent avoir recours à des connaissances techniques spécialisées et faire preuve de compétences sociales pour interagir avec le public.

2.1.2 L'analyse ergonomique

Les données de l'entreprise portant entre autres sur les caractéristiques de la population d'opérateurs, sur les accidents de travail et sur les absences ont été analysées. Également, de nouvelles informations ont été générées par un questionnaire distribué à l'ensemble des opérateurs. Ce portrait de la situation a été complété par des observations et entretiens effectués sur le terrain. Le tout a permis de mieux situer les préoccupations relatives au siège et aux vibrations dans l'ensemble de la problématique de santé et sécurité au travail (SST) des opérateurs de métro.

Les résultats du questionnaire révèlent que la majorité des opérateurs considèrent que l'exposition aux vibrations et les postures inconfortables constituent des contraintes présentes dans leur travail. Ces contraintes sont jugées pénibles respectivement par 64% et 54% de l'ensemble des opérateurs. Quarante pourcent (40%) des opérateurs affirment avoir été incommodés par les vibrations au cours des 7 jours précédant l'enquête.

Les données recueillies par questionnaire montrent aussi que les opérateurs qui rapportent des symptômes tels que troubles musculo-squelettiques, troubles du sommeil, troubles digestifs, varices et hémorroïdes, seraient incommodés par les vibrations dans une plus grande proportion que l'ensemble. À la lumière des données sociodémographiques sur l'âge moyen (50 ans) et sur les parcours professionnels (expérience du métier de 9 années en moyenne et expérience dans l'entreprise de 21 années dont la majorité comme chauffeurs d'autobus), ces données suggèrent que les vibrations seraient plus difficiles à supporter pour les opérateurs qui, au fil de leur trajectoire professionnelle ont développé divers problèmes de santé. La comparaison de l'état de santé des opérateurs avec la population du Québec du même groupe d'âge révèle que le groupe des opérateurs présente une fréquence plus grande de certains problèmes de santé : troubles musculo-squelettiques, en particulier à la nuque, aux épaules et aux genoux; troubles urinaires; troubles digestifs et troubles du sommeil. Plusieurs de ces problèmes sont soupçonnés d'être liés à l'exposition aux vibrations (Fahy et Walker, 1998 : 196). Par ailleurs, le score élevé à l'indice de détresse psychologique est plus fréquent chez les opérateurs (37%) que dans l'ensemble de la population québécoise (20%).

Selon l'enquête, la majorité des opérateurs alternent, au cours de la conduite, entre la position debout et la position assise. La raison la plus souvent évoquée pour cette alternance est le besoin de « changer le mal de place ». Une simulation en trois dimensions faite par ordinateur a montré que, pour un homme de taille médiane, il est impossible de prendre une position de conduite manuelle confortable dans les limites actuelles de la loge compte tenu de l'aménagement de la loge et des ajustements limités du strapontin (figure 1). En pilotage automatique, la situation est quelque peu meilleure, puisque l'opérateur n'a pas à tenir le manipulateur. Mais il demeure que

le dégagement sous le pupitre est de faibles dimensions et n'est pas aligné avec le siège, ce qui contraint la position des membres inférieurs.



Figure 1. La loge et le strapontin MR-73

a = 60 cm; b = 24 cm; c = 60 cm, d = 72 cm ; e = 20 cm; f = 56 cm; g = 8 cm.

Pour compléter cette étude, un groupe de travail⁷ a élaboré des options de réaménagement des loges. Ainsi, les marges de manœuvre disponibles dans la loge existante ont été évaluées notamment pour accroître le volume intérieur disponible. Les possibilités de modifier l'intérieur de la loge étaient très limitées en raison de l'espace occupé par les équipements très volumineux servant au contrôle du train et de l'impossibilité d'empiéter sur la *section voyageurs*⁸. Les simulations d'activité de travail sur une maquette grandeur réelle avec des opérateurs de diverses caractéristiques anthropométriques, ont montré la nécessité de déplacer le frein à main de façon à libérer de l'espace derrière le dossier du siège. En libérant cet espace et en apportant quelques modifications à la tôle couvrant le pupitre, un siège un peu plus volumineux pourrait être installé tout en améliorant la posture pour les membres inférieurs. Un siège mobile (dans l'axe avant/arrière, latéral et en rotation) permettrait d'adapter la position du siège selon le mode de conduite : se rapprocher du manipulateur en CM; pouvoir profiter de l'espace sous le pupitre en PA. L'ajout d'un appuie-pieds rabattable profiterait aux personnes de petite taille : celles-ci pourraient dorénavant hausser leur siège pour profiter d'une meilleure visibilité à l'avant du train et avoir les pieds bien appuyés.

2.1.3 Modifications apportées aux loges de conduite

Entre la finalisation des deux premières études et le lancement de la dernière étude décrite dans ce rapport, l'entreprise a mis en œuvre les recommandations concernant la modification des tôles

⁷ Outre l'équipe de recherche composée de deux ergonomes et d'un ingénieur, le groupe de travail comprenait 3 opérateurs, un chef d'opération, un chef de section de l'ingénierie et un surintendant de l'entretien.

⁸ Espace occupé dans le train par les usagers du métro.

du pupitre (figure 2) et l'installation d'un appuie-pieds (figure 3). Ces modifications, à l'exception du déplacement du frein à main, constituaient les seules améliorations pouvant être apportées à la loge de conduite. Ces modifications ont été évaluées sommairement lors d'essais statiques et en situation réelle de conduite. Malgré ces changements très limités, les modifications ont entre autres amélioré la posture de la jambe droite (figure 4 et figure 5).



Figure 2. Pupitre original et modifié



Figure 3. Appuie-pieds relevé et abaissé



Figure 4. Posture type dans la loge non modifiée



Figure 5. Amélioration de la posture de la jambe droite grâce aux modifications apportées au pupitre

2.2 Sommaire des résultats obtenus dans l'étude vibratoire précédente (Boileau et coll., 2005)

L'exposition aux vibrations globales du corps des opérateurs de métro a été évaluée dans un projet antérieur. Le tableau 1 donne les valeurs moyennes d'exposition sur 8 heures (A(8)) calculées selon la norme ISO 2631-1 (1997). Les données sont rapportées pour trois types de motrice : MR-63 avec des pneus neufs (MR-63a), MR-63 avec des pneus usagés avec une ovalisation hors tolérance (MR-63b) et MR-73 (l'usure des pneus n'ayant pas d'influence sur le niveau vibratoire pour les motrices MR-73). Pour les trois motrices, les mesures ont été effectuées sur le siège de l'opérateur sur chacune des lignes du métro. Les valeurs d'exposition

ont été calculées à partir du tableau 8 du rapport précédent (Boileau et coll., 2005), en considérant une durée d'exposition quotidienne moyenne de 5,3 heures (sans temps supplémentaire).

Tableau 1 : Niveau moyen d'exposition quotidienne ($A(8)$, m/s^2 , w_k), aux vibrations globales du corps des opérateurs de métro

Motrice	Lignes 1 et 2	Ligne 4	Ligne 5
MR-63a	0,36	0,42	0,33
MR-63b	0,46	0,58	0,42
MR-73	0,34	0,39	0,31

Pour interpréter la sévérité de ces niveaux moyens d'exposition quotidienne calculés, on peut les comparer au seuil d'action ainsi qu'à la limite d'exposition suggérés par la norme ISO 2631-1. Cette norme fixe le seuil d'action de l'exposition quotidienne $A(8)$ (début de la zone de précaution santé) à $0,45 m/s^2$ pondérée (w_k) et la limite d'exposition à $0,90 m/s^2$ (w_k). On note que les niveaux moyens d'exposition quotidienne obtenus sur la motrice MR-73 sont en deçà, mais proche de la zone de précaution santé (surtout pour la ligne 4).

Par ailleurs, les mesures ont démontré que la fréquence dominante pour les MR-63 se situe à 6 Hz tandis que pour les MR-73, la fréquence dominante se situe à 2,4 Hz. Étant donné que le prototype de siège est destiné aux motrices MR-73, on devra s'assurer que celui-ci atténue de façon efficace la fréquence dominante située à 2,4 Hz. Pour les motrices MR-63 et MR-73, ces classes spectrales ont été définies à partir des informations provenant du rapport (Boileau et coll., 2005). Les facteurs SEAT⁹ moyens sont de 1,16 pour les motrices MR-63a (pneus neufs), 1,04 pour les motrices MR-63b (ovalisation des pneus hors tolérance) et de 1,05 pour les motrices MR-73. Donc, dans tous les cas, il y a amplification des vibrations verticales par le strapontin (facteur SEAT > 1). Cette amplification est plus importante pour les motrices MR-63 avec des pneus neufs, suggérant que le strapontin du MR-63 atténue la composante du sautillerment à 6 Hz qui est amplifiée par l'ovalisation des pneus.

Pour atténuer la composante dominante située à 2,4 Hz des motrices MR-73, il faut que la fréquence naturelle du siège à suspension soit inférieure à 1,7 Hz (Boileau et coll., 2005). Un coefficient d'amortissement réduit de 0,45 du siège à suspension serait également optimal, en limitant l'amplification à la fréquence naturelle du siège, tout en fournissant des atténuations importantes aux fréquences dominantes de la motrice MR-73 (Boileau et coll., 2005). Par ailleurs, comme pour tout siège à suspension, il faut que la course de la suspension soit suffisante pour éviter les talonnements sur les butées du haut et du bas.

⁹ SEAT : *Seat Effective Amplitude Transmissibility*. Un facteur SEAT inférieur à 1,0 représente une atténuation des vibrations tandis qu'un facteur supérieur à 1,0 représente une amplification des vibrations.

2.3 Objectif de l'étude : le développement d'un prototype de siège

Plusieurs auteurs considèrent important de traiter, lors de l'évaluation de postes de travail assis, des aspects dynamiques (vibrations) et statiques (ex. caractéristiques du siège, postures) (Ebe et Griffin 2000, HSE, 2001, Johanning et coll., 2002, TRB, 1997). Cette étude prend en compte ces recommandations en ayant pour objectif de développer un prototype de siège répondant à la fois à des exigences ergonomiques et de vibration et également à des exigences dictées par différentes directions de l'entreprise : l'ingénierie, l'entretien, les opérations, la SST et l'approvisionnement. La contrainte principale de départ est l'espace très restreint de la loge dans lequel le prototype doit être installé. L'étude vise à accommoder le mieux possible la population d'opérateurs composée de femmes et d'hommes.

3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Ce chapitre aborde les éléments méthodologiques communs à plusieurs phases du projet. Puisque le développement du prototype de siège doit résulter en une solution bien adaptée au contexte d'utilisation et tenir compte de nombreuses exigences, une approche participative a été retenue. Cette approche a nécessité la création de différents comités. Ceux-ci sont présentés à la section 3.1. Par ailleurs, la démarche de conception a nécessité plusieurs phases de tests comportant des éléments méthodologiques communs présentés à la section 3.2. La méthodologie et les résultats spécifiques à chaque phase seront décrits aux chapitres 4 à 6.

3.1 Conduite de l'étude et liens avec les partenaires

Dès le début du projet, des comités ont été créés. Les membres de ces comités, de même que le concepteur et les nombreux opérateurs ayant participé aux essais, constituent les acteurs importants de ce projet.

L'équipe de recherche : Deux spécialistes en vibration, un ingénieur en conception et simulation ayant une grande expérience de travail au sein d'une équipe d'ergonomes et un ergonome constituent l'équipe de recherche. Pour simplifier le texte, « les ergonomes » désignera l'ergonome et l'ingénieur en conception et en simulation.

Le comité de suivi : Ce comité a été créé dès la première étude ergonomique (Bellemare et coll., 2005). Il est composé des directeurs de l'entreprise et du syndicat, et de l'équipe de recherche. Il a pour objectif d'encadrer et de faciliter le projet. Les décisions relatives aux grandes étapes de l'étude sont discutées au sein de ce comité et les résultats de mi-projet et de fin du projet y sont présentés.

Le comité de sélection d'un fournisseur : Ce comité est chargé d'encadrer la démarche d'appel d'intérêt visant à identifier un fournisseur capable de fabriquer un prototype de siège. Ce comité paritaire est formé des chercheurs et des représentants de l'entreprise (ingénierie, SST, entretien, approvisionnement, opérations, syndicat).

Le groupe de travail : Le groupe de travail paritaire a été créé lors du premier projet ergonomique (Bellemare et coll. 2005). Il se compose des chercheurs, d'opérateurs, de professionnels de l'entreprise rattachés aux départements des opérations, de l'ingénierie, de l'entretien et de la SST ainsi que d'un représentant syndical. À ce groupe se sont joints, à l'occasion, d'autres spécialistes de l'entreprise et le concepteur de siège. Le groupe de travail joue un rôle primordial dans l'avancement du projet. Son rôle est de planifier les étapes, confronter et enrichir le concept de siège avec les réalités vécues par les différents membres, prendre des décisions relatives au concept.

Le concepteur : Sous la responsabilité de l'entreprise, et selon les recommandations des différents comités, un fournisseur a été choisi en cours de projet afin de concrétiser un prototype de siège qui répond le plus adéquatement aux critères formulés par le groupe de travail. Ce fournisseur, qui sera appelé « concepteur », s'intègre, selon les besoins, au groupe de travail et au comité de suivi.

3.2 Questionnaires et mesures ergonomiques

Dans les études portant sur l'évaluation de sièges de véhicules, des auteurs abordent les aspects de confort ou d'inconfort par l'utilisation des méthodes quantitatives (par exemple : EMG, vibration, pression de contact fessier/coussin) et/ou qualitative (par exemple par des questionnaires) (ex : Andreoni, 2002, Kolich et Taboun 2004, Kyung et Nussbaum, 2008). La méthodologie choisie pour notre étude devait entre autres : 1) être facile et rapide à utiliser sur le terrain; 2) interférer le moins possible avec le travail des opérateurs; 3) permettre des analyses rapides pour respecter l'échéancier de développement; 4) être utilisable dans différentes étapes du développement; 5) être complémentaire aux données vibratoires. C'est ainsi que des méthodes tels les EMG et les mesures de pression de contact n'ont pas été retenues. Des méthodes simples et complémentaires, telles des entrevues avec questionnaires, des mesures au poste de travail (ex. dimensions et ajustement du siège), des observations directes et indirectes par vidéo ont été retenues.

Pour couvrir le volet ergonomique, plusieurs aspects ont été considérés : adéquation du siège avec l'espace dans la loge; inconforts généraux; inconforts localisés; inconforts liés aux vibrations; évaluation de chacune des caractéristiques du siège (ex. largeur de l'assise, facilité d'ajustement); effets du siège sur les tâches à réaliser et sur la sécurité; postures adoptées par les opérateurs. Puisque aucune étude consultée ne couvrait à elle seule l'ensemble de ces thèmes, des outils maison, s'inspirant de différents questionnaires, ont été développés pour collecter les données (voir annexe A¹⁰).

Inconfort global et inconforts localisés

Dans le contexte d'espace très restreint dans lequel il était impossible de respecter les recommandations d'usage pour la conception d'un siège (ex. dimensions de l'assise), il paraissait prioritaire de documenter ce qui pouvait gêner physiquement les opérateurs (ex. points de pression, postures inconfortables). C'est pourquoi la notion d'inconfort a été retenue. L'inconfort est principalement associé aux facteurs biomécaniques et à la fatigue, alors que le confort serait davantage lié à des notions de design (dont l'esthétisme), à la sensation de bien-être et de relaxation (Helander, 2003; Kyung et coll. 2008). Helander (2003) mentionne que la notion d'inconfort semble généralement bien comprise par les usagers.

L'échelle proposée par Cameron (1996) a été utilisée pour qualifier l'intensité de l'inconfort global et des inconforts localisés aux différentes régions corporelles. Cette échelle, qui ne comporte que des niveaux d'intensité d'inconfort, respecte le principe proposé par Zhang et coll. (1996) : le confort et l'inconfort sont des entités distinctes qui ne devraient pas figurer sur une même échelle. L'échelle de Cameron (1996) comporte 6 niveaux d'inconfort (intensité) identifiés par un chiffre et un descripteur verbal. Bien que moins précise qu'une échelle analogique (Corlett et Bishop 1976) ou de type CR-10 (Borg, 1998), cette échelle à catégories verbales a été choisie pour sa simplicité d'utilisation et parce que l'objectif poursuivi était de repérer les situations à problème pour ensuite pousser plus à fond l'investigation, et non pour établir des relations entre variables ou pour comparer différentes situations. L'échelle de

¹⁰ Le lecteur pourra consulter ces annexes dans un document séparé intitulé « Développement d'un prototype de siège pour opérateur de métro dans un contexte où l'espace est très restreint – ANNEXES » qu'il trouvera sur le site de l'IRSST à l'adresse suivante :

Cameron est accompagnée d'un schéma corporel permettant d'identifier les régions où sont ressentis des inconforts. Il n'a pas été jugé pertinent de documenter la durée et la fréquence des inconforts ressentis puisque les opérateurs n'avaient pas la possibilité d'essayer le siège sur une période de temps prolongée (ex. plusieurs semaines).

Inconfort lié aux vibrations

Des questions ont aussi été développées pour recueillir la perception des opérateurs quant aux inconforts liés aux vibrations lors des tests dynamiques en laboratoire ou sur le terrain : « Avez-vous été incommodé par les vibrations (douleur, inconfort)? ». Le choix de réponse est simple afin de perturber le moins possible le travail : 1) oui, tout à fait, 2) plutôt oui, 3) plutôt non, 4) non, pas du tout. Lors d'une réponse positive, les opérateurs doivent spécifier la direction des vibrations qui les ont incommodés (verticale, latérale, avant/arrière, une combinaison). L'utilisation de ces questions lors d'une étude exploratoire (non publiée) a confirmé leur facilité d'utilisation et leur potentiel pour révéler les inconforts associés aux vibrations. Lors d'essais en situation réelle de conduite, ces questions sont posées systématiquement après chaque interstation¹¹.

Caractéristiques du siège, effets sur le travail et la sécurité

Les questions portant sur l'évaluation des caractéristiques du siège sont fortement inspirées de Kolich et Taboun (2004). Cependant, plusieurs questions ont été adaptées et d'autres ajoutées pour convenir au contexte de l'étude. De plus, certaines questions inspirées de Stevenson et coll. (2000) ont été ajoutées afin de comparer chaque composante du prototype de siège par rapport à celle du strapontin actuel. Plusieurs questions ouvertes ont été intégrées au questionnaire pour documenter l'influence du siège sur la réalisation du travail et sur la sécurité.

Mode d'administration des questions

Pour s'assurer que les questions étaient bien comprises et le questionnaire soit rempli dans le temps imparti, l'ergonome lisait chaque question et les choix de réponses, puis notait les réponses. L'opérateur devait lui-même écrire sa réponse dans ces deux cas uniquement : 1) pour indiquer sur le schéma corporel les régions où des inconforts localisés avaient été ressentis et 2) pour indiquer sur les photos du prototype les parties du siège à l'origine des inconforts.

Kolich (2008) mentionne, dans une revue de la littérature portant sur les méthodes d'évaluation du confort des sièges d'auto, que la plupart des études sont basées sur des questionnaires dont la fiabilité et la validité n'ont pas été mesurées. Il en est de même des questionnaires de la présente étude. Ceux-ci ont cependant fait l'objet d'un pré-test pour s'assurer que les opérateurs comprenaient bien les questions, qu'ils pouvaient y répondre tout en effectuant leur travail et que des considérations importantes n'avaient pas été oubliées.

Mesures et enregistrement vidéo

Dans tous les essais réalisés, la position du siège et les effets sur le travail (ex. vision, possibilité de se lever rapidement) étaient notés. Chaque étape d'essai avec des opérateurs était filmée dans

¹¹ Interstation : trajet parcouru entre deux stations.

le but de caractériser les postures et de relever les situations pouvant être problématiques. Des photos ont également été prises.

3.3 Les mesures vibratoires

Des mesures vibratoires ont été effectuées à différents moments en cours de projet; plusieurs ont été réalisées sur un simulateur de vibration et d'autres mesures ont été effectuées en situation réelle de travail.

Les vibrations globales du corps ont été évaluées selon les dispositions de la norme ISO 2631-1 (1997). Les accélérations ont été mesurées dans les trois axes orthogonaux x (longitudinal), y (latéral) et z (vertical) (voir figure 6). Les accélérations ont été pondérées selon des courbes de pondération qui dépendent de la direction des vibrations (w_k pour l'axe z et w_d pour les axes x et y). Le facteur de pondération w_k , en fonction de la fréquence, est donné à la figure 7. La valeur d'exposition aux vibrations est calculée en prenant le maximum des trois valeurs efficaces pondérées mesurées selon chacun des axes (en ayant au préalable multiplié les valeurs selon les axes x et y par 1,4). Pour les mesures effectuées dans le métro, la valeur maximale rapportée est toujours celle mesurée dans l'axe vertical z (a_{wz} l'axe z étant toujours celui selon lequel les vibrations sont dominantes).



Figure 6. Système de coordonnées basocentrique selon la norme ISO 2631-1 (1997)

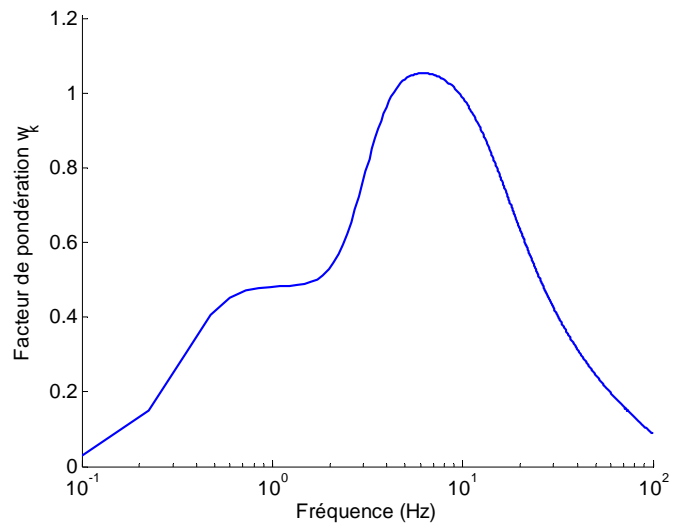


Figure 7. Facteur de pondération w_k (axe vertical z) en fonction de la fréquence

Le niveau vibratoire sur 8 heures $A(8)$ est calculé selon la formule suivante :

$$A(8) = a_w \sqrt{\frac{T}{8}} \quad (1)$$

où a_w est la valeur d'exposition (correspond à a_{wz} pour le métro) et T est la durée d'exposition quotidienne en heures. Par ailleurs, la performance d'un siège pour atténuer les vibrations a été évaluée en utilisant le facteur *SEAT* (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*) du siège. Un

facteur inférieur à 1,0 représente une atténuation des vibrations tandis qu'un facteur supérieur à 1,0 représente une amplification des vibrations. Le *SEAT* global du siège est calculé selon la formule suivante :

$$SEAT = \frac{a_{ws}}{a_{wp}} \quad (2)$$

où a_{ws} est l'accélération efficace pondérée mesurée au siège (vertical) et a_{wp} est l'accélération efficace pondérée mesurée au plancher (vertical). Pour un siège comprenant un coussin et une suspension, tel qu'illustré à la figure 8, il est possible de mesurer le facteur *SEAT* du coussin ($\text{Accélération}_{\text{coussin}}/\text{Accélération}_{\text{chassis}}$) indépendamment du facteur *SEAT* de la suspension ($\text{Accélération}_{\text{chassis}}/\text{Accélération}_{\text{base}}$). Pour un tel siège, le facteur *SEAT* global du siège ($\text{Accélération}_{\text{coussin}}/\text{Accélération}_{\text{base}}$) sera égal à la multiplication des facteurs *SEAT* partiels :

$$SEAT_{\text{global}} = SEAT_{\text{coussin}} \times SEAT_{\text{suspension}} \quad (3)$$

En laboratoire, les vibrations verticales sont reproduites sur le simulateur de vibration qui consiste en une plate-forme montée sur des vérins hydrauliques (voir figure 9). Cette plate-forme permet de reproduire les vibrations verticales selon des classes spectrales définies. La norme internationale ISO 10326-1 (1992) donne les exigences minimales à considérer pour tester la réponse vibratoire de sièges en laboratoire.

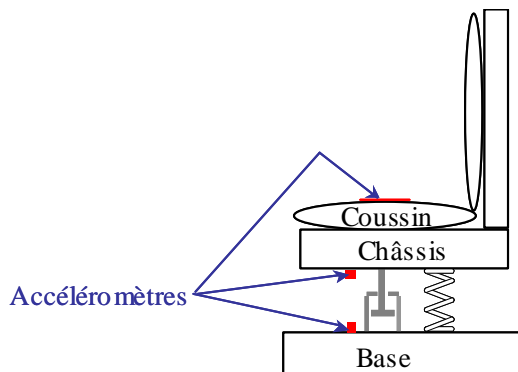


Figure 8. Siège à suspension et points de mesure de l'accélération

Figure 9. Plate-forme hydraulique

Les classes spectrales utilisées pour les tests, sous forme de densité spectrale de puissance, sont présentées à la figure 10. La classe spectrale *MR-73 sévère* est égale à la classe spectrale *MR-73 moyen* multipliée par un facteur de 1,6. Les niveaux pondérés efficaces (a_{wz}) sont de $0,6 \text{ m/s}^2$ (w_k) pour les classes spectrales *MR-63 sévère* et *MR-73 sévère* et de $0,38 \text{ m/s}^2$ (w_k) pour la classe spectrale *MR-73 moyen*. L'utilisation de la classe spectrale *MR-63* permet de caractériser l'atténuation verticale du siège lorsque le phénomène de sautillerment est présent (6 Hz), tandis que l'utilisation de deux amplitudes différentes pour le *MR-73* permet de caractériser l'influence de l'amplitude des vibrations.

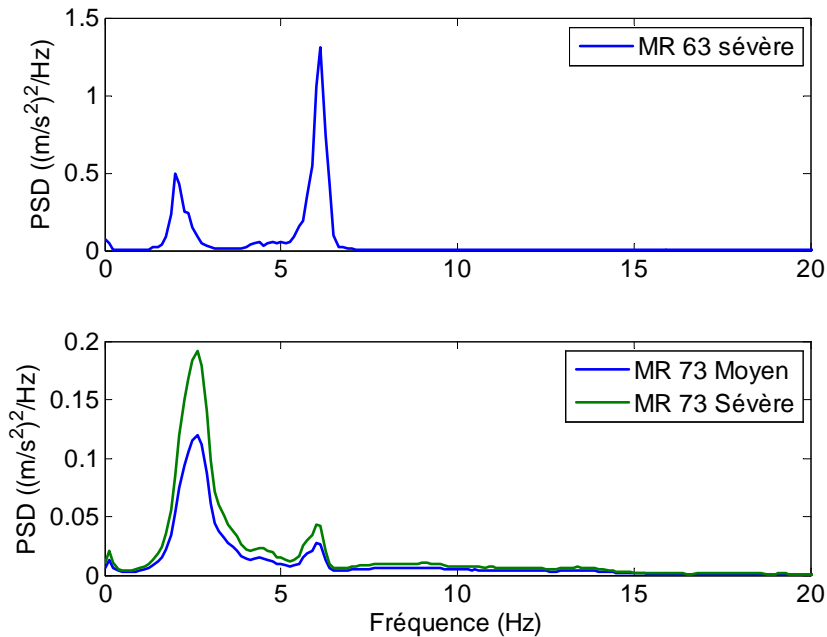


Figure 10. Classes spectrales pour les motrices MR-63 et MR-73

3.4 Les participants

Le développement du prototype a nécessité plusieurs étapes de test faisant appel à la participation d'opérateurs. La sélection des sujets a été faite selon les critères énoncés par les chercheurs (taille, poids, sexe). En tout, vingt-neuf opérateurs volontaires ont participé à l'évaluation des prototypes (Annexe B, tableau B1). Vu le nombre restreint d'opérateurs dans certaines classes de poids ou de taille, onze des 29 opérateurs ont participé à plus d'une étape de test. Des opérateurs de taille comprise entre 1,50 m et 1,91 m et de poids compris entre 54 kg et 130 kg ont participé aux tests, ce qui correspond à une représentation adéquate de la population d'opérateurs (Annexe B, tableau B2 - 5^e centile : 1,60 m; 58 kg; 95^e centile : 1,83 m; 107 kg). Pour les tests vibratoires des sièges candidats, il est important d'avoir des opérateurs de poids différents puisque la réponse vibratoire d'un siège dépend fortement de la masse qui y est apposée. Les sièges ont donc été testés avec des opérateurs de poids se trouvant aux 5^e, 50^e et 95^e centiles (de la population d'opérateurs), dépassant ainsi les critères de la norme ISO 10326-1 qui exige de considérer les 5^e et 95^e centiles.

3.5 Considérations éthiques

Ce projet a été approuvé par un comité d'éthique de l'Université Laval (certificat #81529) et s'est déroulé conformément à ce qui avait été planifié. Notamment, une fiche de renseignement était remise lors du recrutement des volontaires, le chercheur responsable rencontrait chaque sujet avant de procéder aux essais afin d'expliquer les objectifs, le déroulement, les risques et les moyens de les contrôler ainsi que la confidentialité des données. Le formulaire de consentement était ensuite signé par chaque participant.

4 DE L'APPEL D'INTÉRÊT AU CHOIX D'UNE COMBINAISON SUSPENSION-COUSSIN

La première étape de la démarche de développement du prototype de siège a été de sélectionner une suspension et un coussin d'assise pouvant convenir aux critères recherchés. Ce chapitre résume les procédures, méthodes et résultats ayant permis cette sélection.

4.1 L'appel d'intérêt et les exigences pour la conception

À l'issue des deux premières études (Bellemare et coll., 2005; Boileau et coll., 2005), des critères ergonomiques et d'atténuation des vibrations ont été élaborés pour la conception d'un nouveau siège. Avec la participation du *comité de sélection d'un fournisseur*, une démarche d'appel d'intérêt¹² a été entreprise afin d'identifier des fournisseurs susceptibles de répondre aux besoins exprimés. Outre les repères ergonomiques et vibratoires, ceux fournis par l'ingénierie, l'entretien, la SST et l'approvisionnement de l'entreprise ont été intégrés au document. L'appel d'intérêt compte, en tout, 20 repères ergonomiques (ex. : dimensions, plages d'ajustement, type de tissu) et de SST, 5 vibratoires et 7 relatifs à l'ingénierie, l'entretien ou l'approvisionnement (voir annexe C). Pour éviter que les fournisseurs ne proposent de concevoir un tout nouveau produit qui nécessiterait beaucoup de développement, ajoutant des incertitudes quant au résultat, à la durabilité et la disponibilité des pièces, il était exigé que leur proposition repose sur un siège existant. Les fournisseurs devaient indiquer quelles adaptations pourraient être apportées au siège qu'ils proposaient pour répondre à chacun des critères listés.

Les caractéristiques du siège recherché étaient résumées au début du document d'appel d'intérêt, comme suit :

- Le siège doit être compact car il sera installé dans un espace très restreint.
- Le changement fréquent d'opérateurs au poste de conduite (chaque 20 minutes) nécessite une très grande facilité d'ajustement du siège en réduisant au minimum le nombre de manipulations requises pour ajuster le siège.
- Le siège doit pouvoir convenir à une population d'opérateurs de taille et de corpulence variées (50 à 130 kg; 1,52 m à 1,88 m)
- L'assise du siège doit pouvoir se rabattre ou se relever afin de libérer l'espace pour circuler dans la loge.
- Le siège doit pouvoir s'ajuster en hauteur, latéralement, d'avant à l'arrière et pivoter pour permettre de le placer selon les préférences des opérateurs et selon les deux modes de conduite (automatique et manuel).
- L'épaisseur du dossier doit être aussi réduite que possible (en réduisant l'encombrement du dossier, l'opérateur peut reculer davantage son siège et disposer de plus d'espace pour ses jambes).

¹² Contrairement à un appel d'offre où les fournisseurs font une soumission détaillée de la conception de leur produit et en cotent le prix, l'appel d'intérêt vise à connaître le marché des fournisseurs et fabricants afin de susciter leur intérêt à faire part des caractéristiques de leurs produits pouvant répondre au besoin exprimé. Les fournisseurs sont invités à participer à l'appel d'intérêt sur une base purement gratuite et volontaire.

- Le siège doit être autonome, c'est-à-dire ne pas nécessiter d'alimentation électrique ou pneumatique en provenance du train.¹³
- Le siège doit amortir les vibrations caractéristiques du métro (suspension : fréquence naturelle de 1,7 Hz ou moins, atténuation maximale à 6 Hz¹⁴, ajustable selon le poids de l'opérateur).
- Le siège doit être robuste et facile d'entretien.

4.2 La réponse à l'appel d'intérêt : évaluation des sièges proposés par les fournisseurs

Deux fournisseurs ont répondu à l'appel d'intérêt et ont été conviés à envoyer un prototype de leur siège au laboratoire de l'IRSST pour en faire l'évaluation.

Le fournisseur-1 a fait livrer 2 sièges : le (A) avec suspension (figure 11); le (B) sans suspension mais avec une assise en assemblage de mousses de différentes densités. Le fournisseur-2 a proposé un siège sans suspension (C), couramment utilisé dans le domaine ferroviaire. Pour fins de comparaison, un siège à suspension pneumatique appartenant à l'IRSST (siège R; Figure 12) a également été testé (suspension ajustée à mi-hauteur). Les sièges ont été testés sur un simulateur de vibrations dans les conditions suivantes : un sujet ayant une masse de 85 kg, trois classes spectrales représentatives de l'environnement du métro (voir figure 10), trois répétitions de 180 s pour chaque condition. Les résultats ainsi obtenus sont présentés au tableau 2.

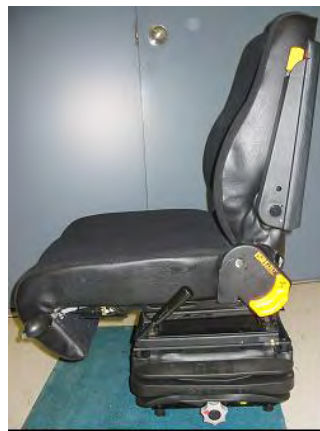


Figure 11. Siège-A, avec suspension mécanique, du fournisseur-1



Figure 12. Siège-R, à suspension pneumatique, servant de référence

¹³ Ce critère d'ingénierie et d'entretien a été révisé en cours de projet.

¹⁴ Cependant, pour les motrices MR-73, c'est la composante à 2,4 Hz qui est dominante.

Tableau 2 : Facteur SEAT moyen des différents sièges

Siège	SEAT _(0,5-20 Hz) moyen		
	Classe spectrale		
	<i>MR-73 moyenne</i>	<i>MR-73 sévère</i>	<i>MR-63 sévère</i>
Siège-R pneumatique	0,90	0,67	0,58
Siège-A mécanique	1,04	0,88	0,63
Siège-B multicouche	1,17	1,19	0,93
Siège-C	1,25	1,26	0,95

Les résultats démontrent qu'aucun des sièges fournis par les fabricants (sièges A, B et C) ne répond aux exigences vibratoires (facteur SEAT < 1 pour la classe spectrale *MR-73 moyenne*).

Hormis les caractéristiques vibratoires, le siège-A, proposé par le fournisseur-1 présente un bon potentiel d'adaptation pour répondre à différents critères : ajustement latéral, avant/arrière et en rotation à l'aide d'une poignée unique, ajustement de l'angle du dossier très facile, l'assise se relève facilement pour dégager l'espace. La suspension a été pivotée de 90 degrés pour réduire l'encombrement dans la loge, le rebord de l'assise est rembourré de façon à servir d'appuie-fesses lorsqu'elle est relevée. Le siège est cependant trop volumineux, particulièrement à cause de l'assise trop longue, ce qui peut être modifié facilement selon le fournisseur. Par ailleurs, la poignée d'ajustement de la suspension n'est pas facile d'accès (localisation), nécessite un effort non négligeable et jusqu'à 32 tours pour un réglage correspondant au poids de l'opérateur (de 50 kg à 130 kg). Le siège comporte un ajustement en hauteur indépendant en 3 crans qui demande de soulever le siège.

Le comité de sélection d'un fournisseur a choisi de poursuivre la recherche d'une suspension adéquate avec le fournisseur-1, celui-ci ayant démontré qu'il pouvait atteindre plusieurs des objectifs fixés. Ce fournisseur sera nommé ci-après « le concepteur ».

4.3 Un seul fournisseur – « le concepteur » : évaluation de quatre suspensions et de deux coussins d'assise

Le concepteur a fourni deux coussins d'assise (figure 13), ainsi que deux nouvelles suspensions, l'une mécanique (suspension-F; figure 14) et l'autre pneumatique (suspension-E; figure 15) pour des tests dynamiques. Par ailleurs, les chercheurs ont testé un siège à suspension mécanique intégrée au dossier (siège-D; figure 16) et une suspension pneumatique (suspension-R; figure 17) dont ils connaissaient déjà certaines caractéristiques vibratoires. L'assise du siège-R de référence a également été utilisée dans ces tests (figure 17).

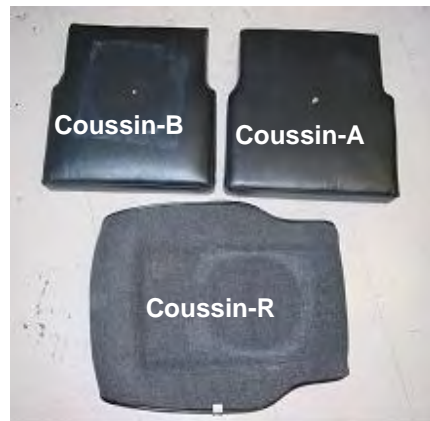


Figure 13. Les trois assises testées



Figure 14. Suspension mécanique (F), compacte pivotée de 90 degrés, assise-R

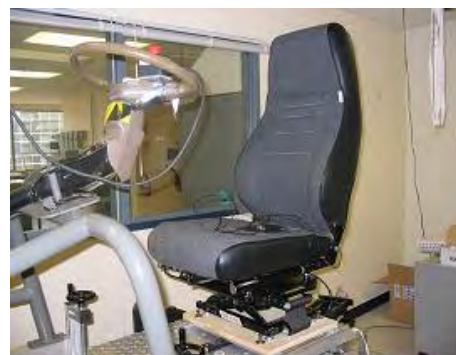


Figure 15. Suspension pneumatique (E), pivotée de 90 degrés, assise-R



Figure 16. Siège à suspension mécanique au dossier avec son assise originale (D)

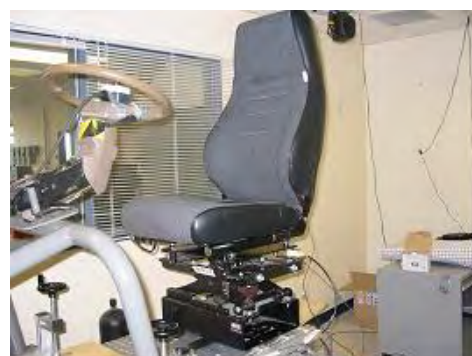


Figure 17. Siège-R, suspension pneumatique-R pivotée de 90 degrés

4.3.1 Évaluation des suspensions

Les suspensions ainsi que les coussins des sièges ont été testés indépendamment afin de trouver la meilleure combinaison assise/suspension. Les facteurs SEAT moyens pour la suspension seulement, avec un sujet ayant une masse de 85 kg et trois répétitions de 180 s pour chacune des conditions, sont présentés au tableau 3. On note que pour la classe spectrale *MR-73 moyenne*, seulement les suspensions R-pneumatique et D-mécanique ont un facteur SEAT satisfaisant pour une suspension, c'est-à-dire un facteur SEAT bien inférieur à 1. Par ailleurs, on note que la performance de la suspension à atténuer les vibrations augmente avec une baisse de la rigidité de celle-ci. Donc, la suspension devra être assez souple pour atténuer efficacement ce type de vibration (fréquence dominante à 2,4 Hz).

Tableau 3 . Facteur SEAT de la suspension seulement

Classe spectrale	Facteur SEAT de la suspension pour un sujet de 85 kg			
	R	D	E	F
	pneumatique	mécanique	pneumatique	mécanique
	- rigidité de la suspension			+
MR73 moy.	0,77	0,85	1,01	0,99
MR73 sév.	0,56	0,57	0,85	0,88
MR63 sév. (50%)	0,56	0,59	0,87	0,92

Bien que le siège à suspension mécanique-D atténue les vibrations, la présence de la suspension au dossier empêche de reculer le siège près de la cloison. Aussi, la construction de ce siège est monobloc et rend difficile toute adaptation pour modifier l'angle du dossier, relever l'assise, rendre accessible l'ajustement de la suspension. La poignée d'ajustement de la hauteur du siège se situe à l'arrière du dossier ce qui nécessiterait, la plupart du temps, d'avancer le siège pour y accéder et d'ajuster le siège en position debout. Le réglage de la suspension exige peu d'effort mais un nombre important de tours de manivelle. Ce siège ne constitue donc pas un choix à privilégier. La suspension pneumatique-1 (R), qui atténue elle aussi les vibrations, n'est pas de dimension acceptable si elle est placée dans l'axe normal mais est dans les limites d'acceptabilité si elle est tournée de 90 degrés tel que le suggère le concepteur. Lorsqu'alimentée de façon pneumatique, la suspension se règle en actionnant un bouton. La course totale de la suspension est de 15 cm.

4.3.2 Caractéristiques vibratoires des coussins

Étant donné que les performances du coussin dépendent du couplage dynamique avec la suspension, il est important de caractériser le coussin pour des cas limites (ici suspension bloquée et active). La condition de suspension bloquée consiste à empêcher le mouvement de celle-ci à l'aide de plaques de métal vissées à chaque extrémité de la suspension et correspond à un siège rigide (comme s'il n'y avait pas de suspension). Les facteurs SEAT moyens pour les coussins seulement, avec un sujet ayant une masse de 85 kg et trois répétitions de 180 s pour chacune des conditions, sont présentés au tableau 4 pour la suspension-R bloquée (ou rigide) ainsi qu'au tableau 5 pour la suspension-R active.

Tableau 4 : Facteur SEAT des différents coussins (suspension-R bloquée)

Classe spectrale	Facteur SEAT du coussin pour un sujet de 85 kg		
	coussin R	coussin A	coussin B
	- rigidité du coussin +		
MR73 moy.	1,18	1,13	1,04
MR73 sév.	1,21	1,10	1,02
MR63 sév. (50%)	0,83	0,99	1,01

Tableau 5 : Facteur SEAT des différents coussins (suspension-R active)

Classe spectrale	Facteur SEAT du coussin pour un sujet de 85 kg		
	coussin R	coussin A	coussin B
	- rigidité du coussin +		
MR73 moy.	1,21	1,12	1,06
MR73 sév.	1,28	1,11	1,05
MR63 sév. (50%)	1,06	1,12	1,18

Pour la classe spectrale *MR-73 moyenne*, le facteur SEAT est moindre pour le coussin B (meilleure performance). On note que contrairement à la suspension, la performance du coussin à atténuer les vibrations augmente avec sa rigidité.

Bien que les coussins fussent tous deux d'environ 8 cm d'épaisseur, le coussin B a été jugé trop rigide pour répondre aux exigences de confort statique. La base du coussin-A, contrairement à celle du coussin-B, était évidée, c'est-à-dire que les mousses ne reposaient pas sur une planche pleine mais plutôt sur une membrane élastique soutenue par une structure sur le pourtour.

4.3.3 Combinaison suspension-coussin retenue

Après les essais et des discussions avec le concepteur et les ergonomes, les spécialistes en vibration conviennent d'arrêter les recherches d'une suspension mécanique puisqu'il est très peu probable d'en trouver une qui réponde aux critères d'atténuation fixés, tout en étant très facile à ajuster et peu encombrante (réf. suspension au dossier). La suspension pneumatique-R a donc été retenue en combinaison avec l'assise-A afin d'assurer le meilleur compromis entre l'atténuation des vibrations et le confort. Le facteur SEAT pour cette combinaison coussin-suspension est de 0,86 pour les conditions testées avec la classe spectrale *MR-73 moyenne*. Pour répondre au critère d'ingénierie (ne pas dépendre de l'énergie du train), le concepteur propose d'adapter une pompe manuelle ou à pédale afin de gonfler la suspension. Selon son évaluation, il ne suffirait que de quelques coups de pompe (4 à 12) pour gonfler totalement le ballon de la suspension.

4.3.4 Réglage de la suspension et comportement dynamique – essais sommaires

La suspension-R ne s'ajuste pas de façon automatique selon le poids de l'utilisateur et ne comporte pas d'ajustement en hauteur indépendant de la suspension. Les représentants de l'ingénierie et de l'entretien sur le groupe de travail préférant minimiser les pièces qui requièrent des entretiens périodiques, ne peuvent donner leur aval à un système d'ajustement automatique de la suspension. Par ailleurs, le concepteur indique qu'il peut ajouter un ajustement en hauteur indépendant de la suspension mais que cela s'avère complexe.

Du point de vue ergonomique, plus les ajustements sont nombreux ou difficiles, moins il y a de chances que ces ajustements soient faits adéquatement. L'ajustement en hauteur indépendant, n'assure pas que la suspension, qui doit être ajustée de façon volontaire, sera réglée à mi-course. Pour ces raisons, les spécialistes en vibration ont accepté d'évaluer sommairement les conséquences d'un mauvais ajustement de la suspension sur l'atténuation des vibrations. Des tests préliminaires avec des masses rigides (36, 62 et 80 kg) simulant des individus de 50, 85 et 110 kg et avec deux sujets du centre de recherche (50 kg et 85 kg) ont montré que les facteurs SEAT étaient satisfaisants, qu'il n'y avait pas d'effet significatif sur l'atténuation globale des vibrations par la suspension (R pneumatique) lorsque la suspension était peu gonflée (à 1/6 de la course totale de 15 cm) ou trop gonflée (à 5/6 de la course). Ces résultats ont donc indiqué qu'il était envisageable d'ajuster la hauteur du siège en se servant de la suspension.

5 ÉVOLUTION DU PROTOTYPE DE SIÈGE

À partir de la suspension et de l'assise préalablement sélectionnées, un premier prototype de siège a été construit par le concepteur et a évolué au travers de différents tests ergonomiques et vibratoires. Ces étapes de développement sont décrites dans ce chapitre.

5.1 Prototype version 1

Un premier prototype a été développé très rapidement par le concepteur, qui souhaitait présenter les grandes lignes de son concept lors d'une réunion du groupe de travail. Ce prototype incluait la suspension et le coussin spécifiés, de même qu'un grand nombre de caractéristiques désirées, dont les plages de déplacement du siège (Figure 18). Les ajustements possibles de ce siège sont : déplacement avant/arrière au moyen de deux rails indépendants (21 cm chacun), déplacement gauche/droite (1 rail de 21 cm), rotation de l'assise en continue (90 degrés de chaque côté), ajustement en hauteur de 10 cm en continue (dessus de l'assise de 43 à 53,5 cm du sol) fait au moyen de la suspension, angle du dossier réglable en continue. La suspension pneumatique était gonflée à l'aide d'une pompe manuelle pour les besoins des essais. Les appuie-bras, trop volumineux, ont été enlevés pour les essais.

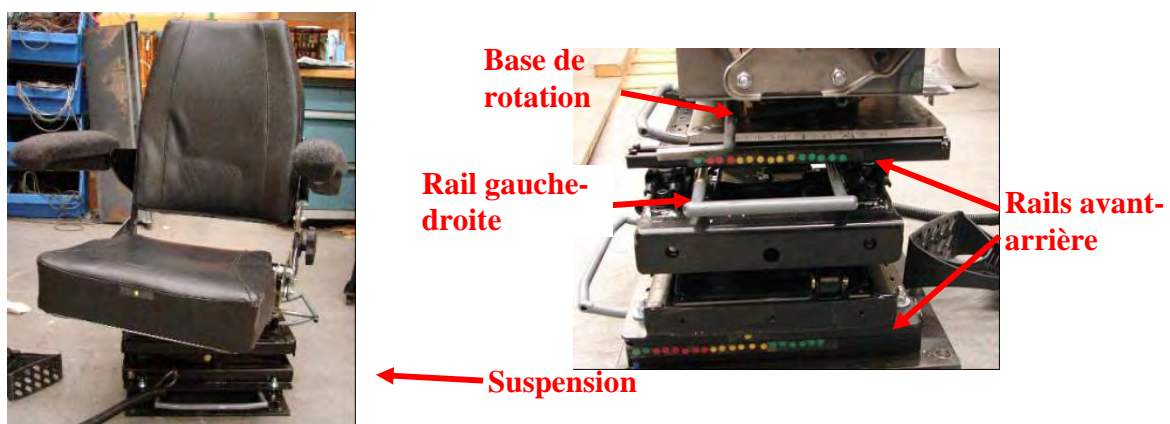


Figure 18. Détail des ajustements possibles sur le prototype-1

5.1.1 Essai dans une maquette de loge

Des tests ont été réalisés dans une maquette de loge grandeur réelle¹⁵ afin de vérifier si le prototype répondait correctement aux critères dimensionnels (encombrement, plages d'ajustement), s'il était compatible avec les tâches à accomplir et s'il générait des inconforts chez les opérateurs. Douze opérateurs ont participé à cet essai (voir annexe B).

Tel que prescrit par l'ingénierie de l'entreprise, la plaque de fixation du prototype a été boulonnée dans la maquette de loge à l'emplacement actuel des ancrages du strapontin MR-73.

¹⁵ La maquette de loge a été construite lors du précédent projet (Bellemare et coll. 2005). Les dimensions de cette maquette ont été vérifiées avant de procéder à l'essai.

Chaque opérateur devait ajuster le siège de façon à être confortable d'abord pour conduire en pilotage automatique (Figure 19) et ensuite en mode manuel. Un questionnaire a été utilisé pour évaluer : l'inconfort, les plages d'ajustement, la possibilité d'accomplir les tâches. L'emplacement du siège dans la loge (latéralement, avant-arrière, en rotation), la hauteur de l'assise et l'angle d'inclinaison du dossier étaient notés pour chacun des opérateurs. Les essais étaient filmés. La durée de ces essais était d'environ une heure par opérateur.

Ces essais ont montré que la plage d'**ajustement avant/arrière** offerte par les deux rails dépasse les 14 cm requis pour les besoins des opérateurs. Il est alors apparu que le rail du haut pouvait être éliminé. Par ailleurs, les plages d'**ajustement latéral** et en **hauteur** ont été entièrement utilisées et conviennent aux besoins des opérateurs. La **rotation** du siège a été utilisée par la majorité des opérateurs en CM mais uniquement dans quelques cas en PA. Les angles de rotation les plus couramment utilisés se situaient entre 10 et 25 degrés. Cependant, en PA, un opérateur de grande taille ayant de très grandes jambes a ajusté le siège avec une rotation de 55 degrés pour dégager ses jambes du dessous du pupitre. Toutes les rotations du siège ont été effectuées vers la droite. Les opérateurs ont choisi d'incliner le **dossier** entre 15 et 30 degrés par rapport à la verticale.

Les opérateurs ont choisi de placer le prototype de siège dans des positions comparables à celles déterminées dans l'étude ergonomique précédente (Bellemare et coll. 2005). Ils ont apprécié la **mobilité** qui permet de se centrer sur l'ouverture du pupitre en PA et de se rapprocher du manipulateur en CM, la jambe droite pouvant être ainsi plus souvent dégagée. La mobilité contribue également au confort car elle permet de changer de posture. Quelques opérateurs qui travaillent normalement debout ont dit pouvoir maintenant s'asseoir. Quelques opérateurs avaient le dos appuyé au dossier en CM, ce qui n'était pas possible avec le strapontin. La posture pour atteindre le manipulateur, bien que meilleure comparativement à celle sur le strapontin MR-73, demeure difficile en raison du peu d'espace pour les jambes et de l'emplacement du manipulateur. On note aussi que les personnes de petite taille n'ont pas le pied droit appuyé adéquatement au sol en CM puisque l'atteinte du manipulateur exige de hausser le siège. En PA, les douze opérateurs ont trouvé la position de travail « beaucoup mieux » que celle offerte avec le strapontin MR-73. En CM, ce nombre est de 9 (3 l'ont trouvée « un peu mieux »). Le siège a été jugé confortable mais les opérateurs ont noté quelques inconforts causés par les rebords de l'assise et du dossier (Figure 20).

L'espace pour circuler dans la loge est suffisant lorsque l'assise est relevée et que le siège est ramené le plus près de la cloison arrière. Lorsque le siège est déplacé vers la gauche, il empêche l'ouverture de la porte intercommunicante vers l'intérieure de la loge (cette porte s'ouvre aussi du côté voyageurs).

Presque tous les opérateurs ont pu se relever à gauche et à droite lors de la conduite en PA. Il leur a été difficile de sortir du siège à gauche en CM puisque le siège est souvent en rotation vers la droite. Plusieurs opérateurs ont mentionné qu'ils aimeraient avoir des appuie-bras mais préfèrent s'en passer si l'encombrement créé réduit la mobilité du siège.



Figure 19. Simulation de la conduite (PA et CM) dans la maquette de loge



Figure 20. Points d'inconfort associés au siège

L'examen de ce prototype et les essais dans la maquette ont permis de faire les principales recommandations suivantes : a) modifier les coins de l'assise et du dossier et prolonger la partie rembourrée de l'assise vers l'arrière; b) retirer le rail supérieur d'ajustement avant/arrière et fixer le siège un peu plus vers l'arrière par rapport à la suspension; c) pour assurer la sécurité, maintenir la position de rotation du siège avec des crans d'arrêt à chaque 5 degrés; d) réduire le nombre d'actions pour ajuster le siège, rendre les ajustements faciles, rapides à utiliser et faciles d'accès; e) Explorer la possibilité de mettre des appuie-bras.

Les résultats de ces essais ont été présentés au groupe de travail. Voyant la nécessité de simplifier le système d'ajustement du siège, l'ingénierie de l'entreprise a réévalué la possibilité de fournir l'électricité nécessaire à l'alimentation d'un compresseur et a révisé sa position : **la suspension du siège pourra être gonflée en utilisant l'énergie en provenance du train.**

5.2 Prototype version 2

Le concepteur a modifié le prototype de siège pour tenir compte le mieux possible des recommandations. Deux exemplaires de ce nouveau prototype ont été acheminés au laboratoire de vibration de l'IRSST pour en effectuer une évaluation.

Les coussins de l'assise et du dossier ont été refaits. La plage de rotation totale comprend maintenant 11 crans et va de 40 degrés à gauche à 40 degrés à droite par saut de 8 degrés. Le concepteur a dû limiter la plage de rotation (qui aurait dû minimalement atteindre 55 degrés vers la droite) en raison de contraintes techniques. Le siège comporte un rail d'ajustement avant/arrière et un rail d'ajustement latéral. L'ajustement en hauteur se fait au moyen de la suspension. Celle-ci est facilement ajustée à l'aide d'un bouton à bascule (figure 21) : en poussant vers le bas, la suspension se dégonfle, en poussant vers le haut, le compresseur alimenté par l'énergie du train fait gonfler la suspension. Une seule poignée permet de débloquer les

ajustements de la position du siège (rotation, gauche/droite et avant/arrière; figure 21). Il ne suffit que de tirer sur la poignée, de bouger le siège dans l'axe désiré et finalement de relâcher la poignée pour réaliser l'ajustement. L'assise se relève facilement et peut servir d'appuie-fesses lorsque l'opérateur est debout (figure 22). Un système permet de bloquer la hauteur du siège en position centrée dans le cas où il y aurait une fuite d'air de la suspension (neutralise totalement la suspension). Le siège ne comporte pas d'appuie-bras.

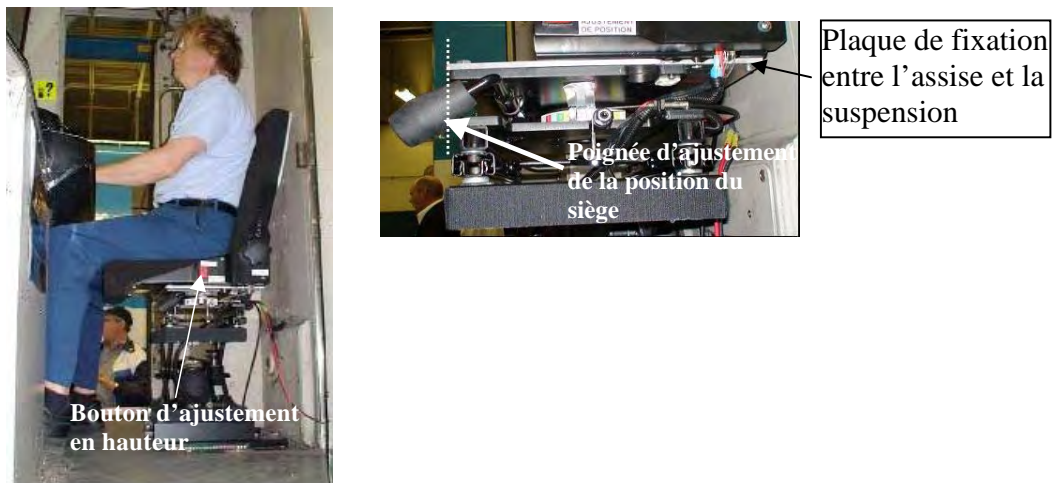


Figure 21. Prototype-2, localisation des mécanismes d'ajustement et de la plaque de fixation

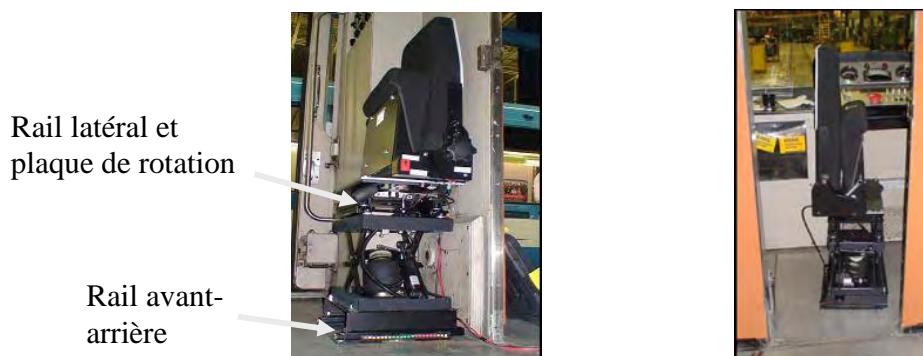


Figure 22. Prototype-2, l'assise relevée permet de dégager l'espace pour circuler dans la loge et de passer le siège par la porte inter-communicante

5.2.1 Vérifications préliminaires

La suspension fournie par le concepteur était de fabrication plus récente que celle testée à l'étape de sélection des suspensions et comportait des caractéristiques différentes : un peu moins volumineuse, ciseaux plus courts, ballon de forme et de matériau différents.

En raison de la rigidité de cette nouvelle suspension, les experts en vibration ont choisi d'enlever l'amortisseur et d'effectuer des tests sur le simulateur de vibration. Sans amortisseur, des facteurs SEAT (classes spectrales *MR-73 moyen* et *sévère*) qui sont inférieurs à 1 ont été obtenus pour les 4 sujets qui ont participé aux essais (tableau 6 et tableau 7). Ceci représente une amélioration significative de la performance de la suspension.

Tableau 6 : Effet de l'amortisseur et de la position de l'assise, classe spectrale *MR-73 moyen*

Suspension:	Facteur SEAT		
	Avec amortisseur		Sans amortisseur
Assise:	Normale	Décalée	Décalée
Sujet 1 (88 kg)	1,07	1,04	0,89
Sujet 2 (97 kg)	0,98	0,97	0,92
Sujet 3 (88 kg)	1,00	1,00	0,95
Sujet 4 (52 kg)	1,12	1,01	0,96
Moyenne	1,04	1,00	0,93

Tableau 7 : Effet de l'amortisseur et de la position de l'assise, classe spectrale *MR-73 sévère*

Suspension:	Facteur SEAT		
	Avec amortisseur		Sans amortisseur
Assise:	Normale	Décalée	Décalée
Sujet 1 (88 kg)	0,86	0,85	0,65
Sujet 2 (97 kg)	0,81	0,77	0,67
Sujet 3 (88 kg)	0,82	0,82	0,70
Sujet 4 (52 kg)	0,92	0,86	0,71
Moyenne	0,85	0,83	0,68

D'autre part, des tests dynamiques avec des masses inertes ont montré un effet de tangage du siège. Une plaque de fixation a été installée pour reculer l'assise de 7,5 cm par rapport à la suspension. Ceci a permis de recentrer le poids de l'utilisateur au milieu de la suspension et d'éliminer l'effet de tangage. Par ailleurs, la plage d'ajustement en hauteur de la suspension était non conforme aux besoins exprimés. Les butées inférieures ont dû être réduites et les butées supérieures ont été déplacées de façon à gagner les centimètres manquants. Pour convenir aux plages d'ajustement en hauteur tout en permettant une atténuation adéquate des vibrations, la suspension a été ajustée tel que décrit au tableau 8.

Le siège a été installé dans une vraie loge ce qui a permis de vérifier que l'assise reculée de 7,5 cm par rapport à la suspension présentait également la situation optimale pour convenir aux critères dimensionnels (plages d'ajustement, espace pour circuler dans la loge). Cette étape a permis de vérifier que, pour les besoins d'installation et d'entretien, le siège est suffisamment compact pour entrer facilement par la porte de la loge (figure 22). Le poids du prototype est de 65 kg; le siège devrait donc être manipulé par deux personnes à moins d'être défait en blocs.

Tableau 8 : Définition de la plage d'ajustement de la suspension

	Hauteur du plan de l'assise en cm ¹	Hauteur par rapport à la butée inférieure en cm
Ballon vide, butée inférieure compressée	40,5	0
Limite inférieure de la suspension pour être efficace (hauteur minimale)	43	2,5
Position centrale de la suspension - ajustement le plus approprié (hauteur centrée)	47,5	7,0
Limite supérieure de la suspension pour être efficace (hauteur maximale)	52	11,5
Suspension gonflée et montée à son maximum	55,5	15,0

1. Cette hauteur correspond à la hauteur du plan de l'assise moins 1 cm pour tenir compte de la compression des mousses.

Suite à ces vérifications, les modifications suivantes ont aussi été suggérées : arrondir les angles de la plaque maintenant excédentaire lorsque l'assise est relevée; vérifier la protection et la localisation des câbles permettant l'ajustement du siège afin d'éviter une usure prématurée; réduire le boîtier de protection du ressort servant à maintenir l'assise relevée; respecter les dimensions d'assise figurant dans l'appel d'intérêt (l'assise du prototype est plus petite); revoir l'emplacement de la poignée d'ajustement de la position du siège qui présente des risques de heurt des membres inférieurs et de coincement des doigts.

5.2.2 Essais dynamiques du siège sur le simulateur de vibration

L'objectif des tests était de vérifier l'atténuation des vibrations par le siège, et ce, dans diverses conditions d'utilisation proches de la réalité : 1) poids des opérateurs, 2) mauvais ajustement de la suspension, 3) position du siège qui peut parfois être en léger porte-à-faux, 4) présence/absence d'amortisseur et 5) classes spectrales variées. Les tests visaient également à évaluer les effets des mouvements de la suspension sur les inconforts perçus par les opérateurs.

Onze sujets ont participé à ces essais sur le simulateur de vibration (voir annexe B). Pour chaque condition testée, des sujets dont le poids est situé au 5^e, 50^e et 95^e centiles ont participé aux essais (excepté pour le dernier test). La répartition des sujets pour chacun des facteurs testés est donnée au Tableau 9. De façon générale, chaque sujet a testé trois conditions différentes et chacune des conditions a été répétée 3 fois pour une durée de 60 secondes chaque fois¹⁶. Ainsi en tout, 5 sujets ont testé différentes combinaisons de positions latérales de l'assise, 9 sujets ont testé l'influence de l'amortisseur, 5 ont testé l'effet de la hauteur de la suspension et 3 l'effet des classes spectrales. Chaque sujet est resté assis environ une heure sur le prototype monté sur la table vibratoire, dont 36 minutes soumis à des vibrations.

Après chaque série de test, les questions suivantes étaient posées au sujet : Avez-vous été incommodé par les vibrations (idem à la question p. A3 de l'annexe A)? Avez-vous ressenti ou ressentez-vous des étourdissements ou nausées? Quel niveau d'inconfort avez-vous ressenti au cours de ces essais (idem à la question p. A7 de l'annexe A)? Comment évaluez-vous la

¹⁶ Pour chaque condition d'essai, la valeur présentée est la moyenne des trois répétitions.

suspension de ce prototype de siège (trop souple/trop ferme; idem à la question p. A11 de l'annexe A)? Une question ouverte permettait de mentionner tout problème particulier ou des commentaires concernant l'atténuation des vibrations. À la fin de tous les essais sans amortisseur, l'opérateur devait aussi indiquer sur un schéma à quelles régions corporelles il avait ressenti de l'inconfort ou des douleurs, indiquer quel type d'inconfort (musculo-squelettique ou autre), son intensité et comparer cette intensité avec ce qu'il ressent généralement avec le strapontin MR-73 (idem aux questions p. A8 de l'annexe A). Ces questions étaient également posées après les essais avec l'amortisseur. On compte en tout vingt situations pour lesquelles le schéma corporel a été rempli (11 sans amortisseur, 9 avec amortisseur).

Tableau 9 : Conditions testées sur le simulateur de vibration

Facteurs et conditions testées	Nombre de sujets
<p>3 conditions de hauteur de la suspension : bas, mi-course, haut Facteurs maintenus constants durant les tests :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Position latérale de l'assise centrée; - Classe spectrale <i>MR-73 sévère</i>; - Sans amortisseur. <p>1 condition « mi-course » seulement : idem à précédent mais avec amortisseur.</p>	<p>3 (sujets 1,2,3) (5^e, 50^e, 95^e centile en poids)</p>
<p>3 conditions de classe spectrale : MR-63 sévère, MR-73 moyenne, MR-73 sévère Facteurs maintenus constants durant les tests :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suspension à mi-course; - Position latérale de l'assise centrée; - Sans amortisseur. <p>1 condition « MR-73 sévère » seulement : idem à précédent mais avec amortisseur.</p>	<p>3 (sujets 4,5,6) (5^e, 50^e, 95^e centile en poids)</p>
<p>3 conditions de position latérale de l'assise : position en PA, CM et centrée Facteurs maintenus constants durant les tests :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suspension à mi-course; - Classe spectrale <i>MR-73 sévère</i>; - Sans amortisseur. <p>1 condition « position centrée » seulement : idem à précédent mais avec amortisseur.</p>	<p>3 (sujets 7,8,9) (5^e, 50^e, 95^e centile en poids)</p>
<p>2 conditions de position latérale de l'assise : position en PA, CM 2 conditions de hauteur de la suspension : bas, haut Facteurs maintenus constants durant les tests :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Classe spectrale <i>MR-73 sévère</i>; - Sans amortisseur. 	<p>2 (sujets 10, 11) (hors catégorie de poids)</p>

5.2.2.1 Résultats vibratoires

Les résultats des essais pour les trois premiers opérateurs, concernant l'influence de l'ajustement en hauteur de la suspension, sont donnés au tableau 10 sous forme de facteur SEAT global (coussin et suspension). Pour cette première série de tests, l'assise est centrée latéralement et sans rotation (0°). La classe spectrale utilisée est la *MR-73 sévère*.

Tableau 10 : Facteur SEAT global pour différentes hauteurs de la suspension

	Classe spectrale MR73 sévère, position centrée, rotation de 0°		
	Sujet #1 58 kg	Sujet #2 83 kg	Sujet #3 107 kg
Hauteur minimale* sans amortisseur	0,85	0,80	0,74
Hauteur maximale sans amortisseur	1,01	0,92	0,94
Hauteur centrée sans amortisseur	0,74	0,73	0,70
Hauteur centrée avec amortisseur	0,94	0,92	0,86

*« hauteur minimale » « maximale » et « centrée » sont définies au tableau 8

On note que la suspension atténue mieux les vibrations (facteur SEAT plus petit) pour une hauteur centrée et sans amortisseur. Par ailleurs, la performance de la suspension augmente avec le poids du sujet.

Les résultats des essais pour les opérateurs 4 à 6, concernant l'influence de la classe spectrale d'excitation, sont donnés au tableau 11 sous forme de facteur SEAT. Pour cette deuxième série de tests, l'assise est centrée latéralement et sans rotation (0°). La suspension est à la hauteur centrée.

Les résultats suggèrent que la suspension atténue de façon plus efficace le type de vibration que l'on retrouve dans la motrice MR-63 (composante dominante à 6 Hz). Par ailleurs, il y a une diminution des performances de la suspension lorsque le niveau de vibration est moins élevé (*MR-73 moyen*). Encore une fois, les résultats obtenus démontrent une augmentation de la performance de la suspension lorsque l'amortisseur est enlevé.

Les résultats des essais pour les opérateurs 7 à 9, concernant l'influence de la position latérale de l'assise, sont donnés au tableau 12. La position latérale à droite avec rotation représente une position probable du siège pour la conduite manuelle alors que la position latérale à gauche sans rotation représente une position probable du siège pour la conduite en PA. Pour cette deuxième série de tests, la classe spectrale utilisée est la *MR-73 sévère*. La suspension est à la hauteur centrée. Les résultats présentés au tableau 13 confirment que la rotation ainsi que le déplacement latéral de la suspension n'ont pas d'effet notable sur la performance de la suspension. Ces résultats démontrent également une augmentation de la performance de la suspension lorsque l'amortisseur est enlevé.

Tableau 11 : Facteur SEAT global pour les différentes classes spectrales

	Position centrée, rotation de 0°, hauteur centrée		
	Sujet #4 55 kg	Sujet #5 83 kg	Sujet #6 113 kg
MR73 moyen sans amortisseur	0,93	0,81	0,78
MR63 sévère sans amortisseur	0,67	0,58	0,58
MR73 sévère sans amortisseur	0,74	0,68	0,69
MR73 sévère avec amortisseur	0,96	0,86	0,84

Tableau 12 : Facteur SEAT global pour les différentes positions de l'assise

	Classe spectrale MR73 sévère, hauteur centrée		
	Sujet #7 56 kg	Sujet #8 85 kg	Sujet #9 107 kg
Maximum à droite, rotation de 24°, sans amortisseur	0,75	0,71	0,70
Maximum à gauche, rotation de 0°, sans amortisseur	0,72	0,68	0,67
Position centrée, rotation de 0°, sans amortisseur	0,72	0,69	0,70
Position centrée, rotation de 0°, avec amortisseur	0,93	0,84	0,81

Les sujets 10 et 11 ont également testé l'influence de la position latérale de l'assise, mais en combinant cette fois l'influence de la hauteur de la suspension. Ces tests ont été effectués sans amortisseur, avec la classe spectrale *MR-73 sévère*. Par ailleurs, ces tests supplémentaires confirment que la position latérale de l'assise n'a pas d'influence sur la performance de la suspension (en comparant bien sûr les mêmes hauteurs de suspension entre elles) et qu'il n'y a pas d'interactions potentielles entre la position latérale de l'assise et la hauteur de la suspension. De façon générale, les résultats de ces tests confirment qu'il est envisageable d'utiliser la suspension comme ajustement en hauteur étant donné qu'un seul sujet est associé à un facteur SEAT légèrement supérieur à un (sujet 1 pour hauteur de suspension maximale).

Tableau 13 : Facteur SEAT global pour différentes positions extrêmes de l'assise

	MR73 sévère, sans amortisseur	
	Sujet #10 70 kg	Sujet #11 130 kg
Maximum à droite, 24°, hauteur minimale	0,81	0,74
Maximum à droite, 24°, hauteur maximale	0,89	0,90
Maximum à gauche, 0°, hauteur minimale	0,83	0,72
Maximum à gauche, 0°, hauteur maximale	0,90	0,86

5.2.2.2 Résultats de perception lors des essais dynamiques

Lorsque la suspension était réglée à mi-course et sans amortisseur (conditions de tests réunies 7 fois et testées chaque fois par 3 sujets), les opérateurs ont répondu, à une exception près, ne pas avoir été incommodés par les vibrations (20 fois sur 21). Sept essais ont été réalisés alors que la suspension était ajustée basse et sept avec la suspension ajustée haute. Dans les deux cas, environ la moitié des opérateurs ont mentionné avoir été incommodés par les vibrations (respectivement 4/7 et 3/7) et que la suspension était trop souple ou trop ferme. Lors des essais avec l'amortisseur (suspension à mi-course), trois opérateurs sur neuf ont mentionné avoir été incommodés par les vibrations et avoir trouvé la suspension trop ferme.

Les niveaux d'inconfort global ressentis durant presque tous les essais sont relativement faibles soit « aucun, minimal ou léger », 40 fois/44 essais. Le niveau d'inconfort « modérés » a été mentionné dans quatre cas : suspension en position basse (2), avec amortisseur (1), suspension à mi-course (1). La position du siège, en porte-à-faux ou non, n'influence pas le niveau d'inconfort ressenti. Il semble en être de même quant à la classe spectrale.

Les régions corporelles où des inconforts ont été mentionnés sont : les épaules (inclinaison du dossier, immobilité), arrière des jambes (assise trop courte, immobilité), le fessier (fermeté du coussin¹⁷), le bas du dos (angle de l'assise, fermeté du coussin, rigidité de la suspension), cou/mâchoire/ventre (vibrations). De façon générale, les opérateurs se sont dits très satisfaits du siège.

5.2.3 Essais statiques du prototype de siège

Les inconforts du nouveau prototype dans les conditions statiques ont été évalués en laboratoire avec les onze opérateurs ayant participé aux essais dynamiques (voir annexe B).

¹⁷ La présence d'accéléromètre sur l'assise pourrait avoir influencé la perception des opérateurs quant à la fermeté du coussin.

Les opérateurs s'assoiaient à tour de rôle dans une posture qu'ils jugeaient confortable et réaliste pour simuler la conduite en PA. Aucune contrainte d'espace n'était cependant imposée aux opérateurs, outre le fait que l'angle des jambes aux genoux devait se situer autour de 90 degrés maximum. Différentes cales étaient mises à la disposition des opérateurs afin d'ajuster l'angle de l'assise. Après avoir choisi sa posture, l'opérateur était invité à la maintenir durant 20 minutes. Des questions lui étaient ensuite posées concernant principalement l'inconfort global ressenti, les inconforts aux différentes régions corporelles, les liens entre les inconforts et les caractéristiques du siège et l'évaluation des caractéristiques des ajustements en hauteur et de la position.

Ces tests montrent que les onze opérateurs ont ressenti globalement peu d'inconfort : « inconfort léger » (n=4), « minimal » (n=3) « aucun inconfort » (n=4). Sur le schéma corporel, sept opérateurs ont indiqué des inconforts localisés : les fesses ou le dessous des cuisses ont été mentionnés par cinq opérateurs et la région lombaire par deux opérateurs. Ces inconforts étaient principalement attribués à l'immobilité prolongée requise pour les essais ainsi qu'à certaines caractéristiques de l'assise (assise trop étroite et pas assez longue, rembourrage trop ferme/trop mou). Les opérateurs ont apprécié la rapidité et la facilité de l'ajustement en hauteur et le matériel couvrant le siège. Ils considèrent le prototype comme une nette amélioration et souhaitent pouvoir l'utiliser prochainement.

Les résultats montrent que l'angle de l'assise qui conviendrait le mieux à l'ensemble des opérateurs est de 9 degrés vers l'arrière. Les commentaires justifient aussi que des efforts soient mis pour élargir l'assise et l'allonger dans les limites possibles (l'assise est un peu plus petite que demandé dans l'appel d'intérêt).

5.2.4 Essais sommaires dans un train en service

Avant d'apporter d'autres modifications au prototype et d'effectuer des tests plus approfondis, un test rapide a été réalisé dans un train en service.

Cinq opérateurs (voir annexe B) ont participé à ces essais durant lesquels chacun devait conduire dans les deux modes (PA, CM) pour une durée totale d'environ 1 heure. Après le parcours, chaque opérateur répondait à un questionnaire portant sur les inconforts ressentis, les caractéristiques du siège, l'adéquation avec la réalisation des tâches.

Ces essais ont permis de confirmer les principaux points relevés lors des essais en laboratoires. Un point a été révisé concernant la longueur de l'assise. L'essai réalisé avec un opérateur de très grande taille (191 cm) a permis de conclure qu'il lui serait difficile de s'extraire du siège si l'assise était le moins allongée.

5.2.5 Conclusion de cette étape

Les tests ont montré que le prototype de siège répond en grande partie aux exigences requises et confirment que la suspension est plus performante sans amortisseur. Les valeurs de facteur SEAT obtenus dans ces tests, lorsque la suspension n'était pas ajustée à mi-course, et le niveau moyen de vibration auquel les opérateurs sont généralement exposés, permettent de considérer acceptable d'ajuster la hauteur du siège au moyen de la suspension. Pour des raisons d'encombrement et de robustesse, il a été décidé que les plages d'ajustement gauche/droite et avant/arrière ne pourraient être rallongées. Par ailleurs, le groupe de travail a décidé de ne plus

explorer la possibilité d'ajouter des appuie-bras en raison du peu d'espace dans la loge, des possibilités restreintes de pouvoir accommoder une large portion d'opérateurs et de la nécessité de se relever rapidement du siège lorsqu'un usager tente de se suicider.

Pour tenir compte de l'échéancier, il a été convenu que seules les modifications prioritaires seraient apportées au prototype avant d'accomplir des essais plus approfondis en situation réelle de travail, soit :

- Système d'ajustement de la position du siège facile à utiliser, robuste et bien positionné, ne présentant pas de risque pour la sécurité (ex. coincement);
- Vérification de tout ce qui peut affecter la sécurité des opérateurs (coins arrondis, protection de la zone mobile de la suspension, protection des câbles électriques et servant à l'ajustement du siège pour éviter qu'ils ne se rompent);
- Angle de l'assise de 9 degrés vers l'arrière;
- Réduction de l'encombrement du siège latéralement si possible au profit de l'élargissement de l'assise (réf. un boîtier métallique volumineux recouvre le ressort permettant de tenir l'assise en position relevée).

5.3 Prototype version 3

Le concepteur a retravaillé les priorités identifiées à l'exception de la largeur de l'assise. La modification la plus apparente est la relocalisation et l'amélioration du levier d'ajustement de la position du siège. L'angle de l'assise est de 11 degrés plutôt que 9, soit le minimum possible avec la configuration actuelle du siège. Cette version du siège a été révisée pour la rendre conforme aux exigences d'ajustement en hauteur : l'assise a été abaissée en modifiant la base métallique sous le coussin et les butées inférieures ont été réduites. Les caractéristiques de ce prototype sont décrites de façon détaillée au tableau de l'annexe C.



Figure 23. Prototype 3

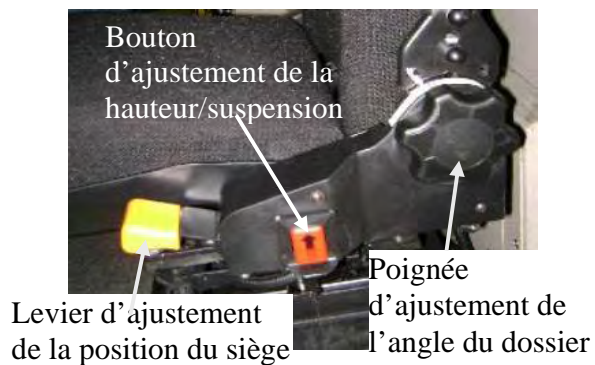


Figure 24. Détail des ajustements du siège

6 ESSAIS DU PROTOTYPE EN SITUATION RÉELLE DE CONDUITE

Cette phase d'essais a été réalisée avec la version 3 du prototype de siège (détails à l'annexe C et à la section 5.3) et visait à : 1) vérifier le comportement vibratoire du prototype de siège dans les conditions réelles d'opération; 2) vérifier que le prototype convient au travail des opérateurs et qu'il améliore le confort dans les conditions réelles d'utilisation ; 3) faire le bilan des points forts, des points faibles et des améliorations devant être apportées. Le bilan après les essais constituait la dernière étape du mandat des chercheurs.

6.1 Déroulement et méthodes

Dix-neuf opérateurs ont participé à ces essais (voir annexe B). Le protocole initial prévoyait une période de familiarisation (trois fois deux heures de conduite) afin que les opérateurs explorent les possibilités qu'offre le siège, trouvent les postures leur convenant le mieux et se fassent une idée des points forts et des points faibles du prototype. Cette familiarisation n'a cependant pu être faite pour des raisons liées aux opérations du métro, notamment pour la sécurité, car les nouveaux freins à main n'étaient pas encore prêts¹⁸. Néanmoins, une semaine avant d'effectuer les essais, des chefs d'opération et des représentants syndicaux ont présenté et fait essayer le siège aux opérateurs présents dans les salles de repos des différents terminus. Un bref document de formation avait été rédigé pour expliquer le concept de siège et comment l'utiliser.

Les essais se sont déroulés sur onze jours ouvrables à raison d'environ 7,5 heures de libération par jour par opérateur et ont nécessité une logistique importante pour l'entreprise. Deux copies du prototype étaient disponibles pour faciliter cette étape. Lors des essais, deux opérateurs occupaient les loges de conduite à chaque extrémité du train. Seule la loge se trouvant en tête de train, au départ du terminus d'origine, était instrumentée (caméras, accéléromètres). Une cloison a été construite et installée par l'entreprise pour isoler une partie de la *section voyageurs* attenante à la loge et ainsi permettre aux chercheurs d'installer leurs équipements et de suivre les essais en perturbant le moins possible l'opérateur. Un chef d'opération et un représentant syndical accompagnaient les chercheurs afin de voir à la logistique et d'assurer le bon déroulement des tests. La porte entre la loge et la *section voyageurs* occupée par les chercheurs était maintenue ouverte afin de pouvoir communiquer avec l'opérateur au besoin. Le recueil de données s'est fait en trois phases (voir tableau 14) : 1) mesures vibratoires jumelées à l'évaluation ergonomique du siège prototype, 2) évaluation ergonomique du siège prototype seulement; et 3) pour fins de comparaison sommaire, évaluation ergonomique de la conduite avec le strapontin MR-73 pour 3 opérateurs ayant déjà participé à la phase-2 d'évaluation.

La phase-1 a été réalisée sur la ligne-4 en raison du niveau vibratoire qui y est plus élevé (Boileau et coll., 2005). Sur cette ligne, la conduite s'effectue exclusivement en mode manuel. Les phases 2 et 3 ont été réalisées sur la ligne-2 pour les raisons suivantes : elle comporte un nombre important d'interstations; l'opération du train peut se faire tant en CM qu'en PA et les niveaux vibratoires sur cette ligne sont représentatifs du réseau (ni les plus faibles, ni les plus élevés).

¹⁸ Une condition essentielle pour l'installation du prototype de siège était de dégager l'espace en relocalisant le frein à main qui se trouvait sur la cloison arrière. Pour les fins des essais, ce frein a été enlevé. Mais le train n'aurait pas pu circuler ainsi en temps normal sans la présence de personnel additionnel à bord du train.

Exploration des possibilités du siège et des postures, pré-essai

L'horaire très serré de la première phase de tests et la non-disponibilité de la deuxième copie du prototype de siège (en raison d'un petit bris) ne permettaient pas aux six premiers opérateurs d'explorer les possibilités d'ajustement du siège avant de faire l'essai. Les 13 autres sujets ont profité d'une période d'exploration. Ainsi, durant la phase-2 (et la phase-3), l'opérateur qui était en tête de train lors du départ du terminus d'origine essayait le prototype durant un aller-retour complet (environ 100 minutes) avant que les chercheurs ne débutent la collecte de données. Le deuxième opérateur, à l'autre extrémité du train, profitait de deux allers-retours (environ 210 minutes) avant le recueil de données.

Collecte de données durant l'opération du train

Dans la phase 1, pour chaque opérateur, les données ont été recueillies pendant deux allers-retours totalisant environ 40 minutes. Durant la moitié de ce temps, l'opérateur conduisait en mode manuel (loge instrumentée en tête) et durant l'autre moitié, l'opérateur était simplement assis alors que son collègue opérait le train (loge instrumentée en queue). Les vibrations étaient mesurées au plancher et sur l'assise pour chaque interstation (exclu l'arrêt en station). L'acquisition des signaux temporaires a été effectuée avec un analyseur multicanaux *Pulse* de *Bruël & Kjør* (B&K). L'accéléromètre au plancher était un accéléromètre triaxial *PCB 356B41*, tandis que l'accéléromètre sur l'assise était un accéléromètre triaxial de siège *B&K 4322*, incluant trois amplificateurs de charges *B&K 2635*.

Dans les trois phases d'essai, trois caméras fixées dans la loge et synchronisées permettaient de filmer les postures et le travail accompli par les opérateurs. Aussi, après chaque interstation, l'ergonome posait systématiquement deux questions à choix multiples (voir questions annexe A) : 1) pour documenter si les vibrations étaient une source d'inconfort et 2) pour comparer la vision dans les miroirs de quai par rapport à la situation habituelle sur le strapontin MR-73. Dans les phases 2 et 3, ces questions ont été posées aux opérateurs durant un aller totalisant 30 interstations. La durée de ce trajet était d'environ 47 minutes. Les consignes données aux opérateurs étaient de conduire en mode manuel et assis pour les dix premières interstations, puis en PA et assis pour les dix suivantes et, pour les dix dernières, ils étaient libres d'adopter le mode de conduite du train (PA ou CM) qu'ils préféraient et de choisir la posture assise ou debout à leur convenance.

Évaluation post-opération du train

Dans les trois phases d'essai, après avoir terminé le recueil de données pendant la conduite du train, l'opérateur était questionné sur l'inconfort global, les inconforts localisés, les raisons des inconforts liés au siège, l'appréciation des multiples caractéristiques du siège, les difficultés rencontrées pour accomplir les tâches, les points forts et les points faibles du siège, et l'appréciation générale par rapport au strapontin MR-73 (voir annexe A). Après avoir répondu à ces questions, et de retour au terminus d'origine, l'opérateur changeait de loge avec son collègue. Ce deuxième opérateur prenait donc place dans la loge instrumentée pour participer aux tests.

Tableau 14 : Phases d'essai en situation réelle et informations recueillies

		Phase-1 : Vibrations + ergonomie (6 sujets; ligne-4)	Phase-2 : Ergonomie - prototype de siège (13 sujets; ligne-2)	Phase-3: Ergonomie – strapontin MR-73 (3 sujets ; ligne-2)
Collecte de données durant l'opération du train	Mesure des vibrations	Mesures au plancher et sur l'assise Mesures sommaires au-dessus de la suspension ¹	Mesures sommaires au-dessus de la suspension ¹	
	Ergonomie – vibration et vision	Évaluation par les opérateurs après chaque interstation : <ul style="list-style-type: none"> • perception d'avoir été incommodé par les vibrations durant l'interstation et direction des vibrations ayant causé des inconforts • facilité/difficulté pour voir dans les miroirs de quai² Vidéo des postures adoptées durant la conduite du train (3 caméras)		
Questionnement approfondi suivant la période d'opération du train	Ergonomie – questionnaire détaillé	Inconfort global ressenti durant les essais Inconforts localisés (aux différentes régions corporelles) Identification des inconforts liés au siège Appréciation des différentes caractéristiques du siège Points forts/points faibles		
		Comparaison des inconforts et de différentes caractéristiques du prototype avec le strapontin MR-73 ² Impact du prototype de siège sur le travail (conduite, préparation de train, gestion d'incidents...) Comparaison globale par rapport au strapontin MR-73		N/A
	Ergonomie – mesure de la position dans la loge	Position du prototype de siège dans la loge, en PA et CM. Évaluation de la visibilité à l'avant du train, des possibilités de se relever rapidement, de circuler dans la loge, d'ouvrir la porte intercommunicante, ...		Idem pour le strapontin MR-73
	Comparaison avec le strapontin MR-73	Idem à l'étape précédente mais avec le strapontin MR-73		N/A

1. Cependant, ces données qui ne permettent pas d'évaluer le facteur SEAT n'ont pas été exploitées.

2. Les 3 opérateurs qui ont conduit une journée avec le prototype de siège puis une autre journée avec le strapontin n'avaient pas à comparer les caractéristiques du prototype à celles du strapontin MR-73. La comparaison entre les deux sièges était faite sur la base des réponses obtenues dans les deux situations.

Après avoir terminé les essais, lorsque le temps le permettait, le train était amené et garé sur une voie d'expérimentation. L'objectif était d'estimer la distance, directement à l'avant du train, à partir de laquelle les opérateurs peuvent voir la voie. Selon les différentes postures assises adoptées par les opérateurs, l'habitacle de la loge peut créer des zones « aveugles » plus ou moins importantes. Des marques espacées aux demi-mètres avaient été peintes au sol par les cheminots pour faciliter le repérage des distances. Pour chaque opérateur, différentes mesures étaient également prises, notamment les positions du siège préférées pour les deux modes de conduite et la position des yeux dans la loge. Les opérateurs étaient appelés à se questionner sur

l'influence possible du siège sur les tâches, ou actions, autres que celles effectuées durant la période de conduite : préparer le train, circuler dans la loge, ouvrir la porte de loge qui donne sur la *section passagers (porte intercommunicante)*, gérer des incidents techniques et humains. Finalement, les opérateurs se déplaçaient dans une loge intermédiaire du train où était installé un strapontin MR-73 et simulaient les postures normalement prises pour conduire le train en modes manuel et automatique. Des photos et mesures étaient prises en vue de comparer l'utilisation du strapontin et du prototype.

Analyses

Les résultats des questionnaires et des mesures sur la position du siège ont été compilés dans une base de données et ont été vérifiés. Cette base a servi à réaliser des analyses descriptives sommaires et des tableaux croisés.

Les bandes vidéo ont été visionnées afin de créer un répertoire des principales postures adoptées par les opérateurs durant les essais et d'apprécier les mouvements du siège et les mouvements involontaires des opérateurs liés à la dynamique du siège. Les observations ont servi à évaluer l'aisance des déplacements des opérateurs dans la loge et l'utilisation des ajustements du siège.

Afin d'évaluer l'effet possible du mouvement de la suspension sur le contrôle du manipulateur, le déplacement relatif de l'assise par rapport au plancher a été calculé à partir des valeurs d'accélération instantanée recueillies par les accéléromètres au plancher et sur l'assise (double intégration du signal par rapport au temps).

6.2 Résultats – La suspension et les vibrations

6.2.1 La perception des opérateurs quant à la suspension et aux vibrations

De nombreuses questions directement liées à la suspension et aux vibrations ont été posées aux opérateurs. Certaines questions ouvertes ont également permis de recueillir des informations relatives à ce sujet. Le tableau de l'annexe D récapitule l'ensemble de ces questions.

L'appréciation de la suspension et les inconforts liés à la suspension et aux vibrations

Dix opérateurs ont spontanément indiqué que la suspension était parmi les points forts du prototype de siège (question ouverte), alors qu'un opérateur en a fait mention dans les points faibles. Les commentaires favorables recueillis au sujet de la suspension sont : « très bonne », « s'attendait à ce que ça cogne rendu à un endroit précis sur le parcours, mais non, le siège amortit »; « très bien, rappelle l'autobus », « douce », « fluide ». Les commentaires défavorables sont : « donne un contrecoup », « un peu moins valseuse serait mieux ». L'évaluation de la souplesse de la suspension a révélé que 13 opérateurs sur 19 la trouvaient « juste parfaite », cinq la trouvaient un peu « trop souple » et un, un peu « trop ferme ».

Trois opérateurs ont indiqué que la suspension était la cause des douleurs ou inconforts ressentis dans la région du rachis et des côtes. L'inconfort correspondant à ces régions corporelles était de niveau « minimal » à « modéré ». Les trois opérateurs jugeaient que cet inconfort était soit plus intense que celui associé à l'utilisation du strapontin MR-73 ou que l'inconfort était nouveau.

Deux de ces opérateurs étaient assis bas ou très bas (suspension peu gonflée) et un avait centré la suspension à mi-course.

Cinq opérateurs (sur 19) ont mentionné avoir été incommodés par les vibrations lors de certaines interstations (voir tableau E1, annexe E). Un de ceux-ci, qui avait participé aux essais sur la ligne-4, a ressenti des inconforts dans la direction verticale lors de trois interstations sur un total de huit (37%). Les mesures vibratoires montrent que le facteur SEAT pour cet opérateur était de 1. Trois opérateurs qui ont fait les essais sur la ligne-2 ont également mentionné avoir été incommodés par les vibrations lors de plusieurs interstations (10 à 17 interstations sur 30 – 33% à 57%) et avoir senti les vibrations verticalement mais plus souvent latéralement. Un dernier opérateur a dit être incommodé par des vibrations verticales ou latérales durant 4 interstations seulement (sur 30 – 13%). Les quatre opérateurs qui ont été incommodés par les vibrations durant une portion importante (>30%) des interstations avaient tous ajusté la suspension en position basse ou très basse (tableau E1, annexe E).

On note donc que six des sept opérateurs ayant choisi de régler la suspension basse ou très basse (peu d'air dans la suspension) ont soit rapporté des inconforts fréquents durant les essais, ressenti des inconforts localisés associés à la suspension ou jugé la suspension trop souple. Une analyse plus détaillée des effets associés à la position basse de la suspension a donc été jugée nécessaire.

Les mouvements verticaux de la suspension et la réalisation des tâches

Lors de la conduite en PA, les opérateurs ont le dos appuyé au dossier et les bras appuyés sur leur corps ou sur le bord du pupitre. Puisque le contrôle du tain se fait de façon automatique, les mouvements relatifs du siège par rapport à la loge ne sont pas de nature à occasionner des difficultés dans cette tâche. Les opérateurs n'ont pas mentionné de difficultés pour prendre l'information visuelle pouvant être liées aux mouvements du siège ou du train.

Lors de la conduite manuelle, l'activation de la suspension contribue au déplacement de l'ensemble du corps alors que la main droite doit rester sur la poignée du manipulateur. Dans cette situation, trois opérateurs ont mentionné que le mouvement de la suspension pouvait avoir un impact lors de la conduite manuelle : « déplacement de l'attention sur les effets au corps », « un peu à cause du contrecoup de la suspension », « moins stable pour contrôler le manipulateur ». Trois personnes ayant apprécié la suspension ont indiqué qu'une adaptation était nécessaire, que c'est une question d'habitude, qu'il faut « suivre la vague ».

Contrairement au strapontin fixé rigidement au sol, la suspension du prototype de siège permet un débattement vertical maximal théorique (de butées inférieures à supérieures) de 15 cm. Dans les essais effectués, les butées n'ont jamais été atteintes. L'analyse sommaire des déplacements relatifs de l'assise par rapport au plancher, basés sur les données recueillies avec l'accéléromètre, montre des déplacements verticaux occasionnels atteignant plus ou moins 2 à 3 cm. Ces mouvements s'atténuent cependant rapidement (figure 25). Bien que non excessifs, ils exigeront effectivement une adaptation de la part des opérateurs. Lors des essais, aucun opérateur n'a mentionné un manque de contrôle lors de la conduite manuelle. Le visionnement des vidéos n'a révélé aucun incident de cette nature. Il est possible que certains opérateurs exercent des contractions musculaires plus importantes aux segments épaule/bras/main droit afin de se sentir bien en contrôle du manipulateur. Des essais à plus long terme seront donc nécessaires pour documenter davantage les effets de la suspension sur l'opération du train en CM.

Deux opérateurs ont fait remarquer que lorsque le dossier est appuyé sur la cloison arrière, la suspension n'est plus aussi active.

Les mouvements latéraux

Bien que les mesures de vibration n'indiquent pas de transmission importante de vibrations dans les directions latérales et avant/arrière (voir section 6.2.2), les observations vidéo révèlent un certain balancement du corps chez quelques opérateurs. Rappelons que trois opérateurs ont dit avoir été incommodés par les vibrations latérales pour plusieurs interstations. Lorsque le train est soumis à des forces latérales, dans les courbes ou en passant sur certains appareils de voie, le corps des opérateurs peut se mettre à balancer ce qui exige un contrôle musculaire du dos pour maintenir une posture droite. Ce type de sollicitation était également présent avec l'ancien strapontin. Sur le prototype de siège tout comme sur le strapontin, les opérateurs ne disposent pas d'appuis latéraux pouvant les aider à stabiliser leur posture. Les raisons qui empêchent de proposer des solutions pour réduire ce problème est l'exiguïté de la loge.

Les mouvements avant/arrière

L'observation ne révèle pas de mouvements du corps importants dans l'axe avant/arrière. Dans un seul cas, l'arrêt brusque à basse vitesse (retournement du train en terminus) a provoqué un mouvement important du siège et de l'opérateur dans la direction avant/arrière. Il pourrait être souhaitable de vérifier la durabilité du siège lorsqu'il est soumis à de telles sollicitations.

6.2.2 L'atténuation globale des vibrations (SEAT)

Les niveaux moyens d'accélération pondérée, pour les six opérateurs et pour chacun des trois axes de translation x , y et z , sont présentés au tableau 15. Il est important de noter que la pondération fréquentielle w_d est utilisée pour les axes latéraux x et y , la pondération w_k étant réservée à l'axe vertical z (ISO 2631-1, 1997). Cette différence de pondération tient compte du fait que le corps humain n'a pas la même sensibilité aux vibrations latérales par rapport aux vibrations verticales. Un sommaire des résultats des essais sur la ligne 4 (Berri-Longueuil) est présenté au tableau 16 sous forme de facteur SEAT moyen pour chacun des six opérateurs. Chaque facteur SEAT est moyenné sur deux allers-retours complets de la ligne 4, excepté pour le cas où la suspension a été bloquée, où seulement un aller complet a été considéré (2 interstations). Les résultats détaillés de ces essais se trouvent aux annexes F et G. On note que les facteurs SEAT moyens avec la suspension non bloquée sont tous plus petits que 1, donc le siège à suspension atténuée ou du moins n'amplifie pas les vibrations verticales.

Tableau 15 . Niveaux d'accélération pondérée pour les trois axes x , y , et z

	a_w coussin (m/s^2 , pondéré)		
	Axe x	Axe y	Axe z
Opérateur 1	0,151	0,228	0,462
Opérateur 2	0,129	0,232	0,457
Opérateur 3	0,101	0,231	0,443
Opérateur 4	0,114	0,226	0,402
Opérateur 5	0,124	0,212	0,409
Opérateur 6	0,117	0,238	0,486
Moyenne	0,123	0,228	0,443

Tableau 16 : Facteurs SEAT moyen pour chacun des 6 opérateurs

Poids: 64kg	Poids: 68kg	Poids: 77kg	Poids: 86kg	Poids:98kg	Poids: 100kg
SEAT _{moy.} global	SEAT _{moy.} global	SEAT _{moy.} global	SEAT _{moy.} global	SEAT _{moy.} global	SEAT _{moy.} global
0,973	0,991	0,995	0,946	0,880	0,860
suspension bloquée:		1,257			

Le déplacement absolu du plancher de la loge de conduite, de même que le déplacement relatif de l'assise par rapport au plancher, sont présentés à la figure 25 pour l'interstation présentant l'accélération verticale instantanée la plus élevée au plancher. Ces données permettent d'évaluer le débattement maximal de la suspension. On note un déplacement relatif maximal vers le haut de 2,6 cm et vers le bas de 2,7 cm.

Les figures 26 à 28 donnent l'évolution du facteur SEAT du prototype de siège, pour l'opérateur 4, sur trois interstations différentes. Le facteur SEAT, ainsi que l'accélération efficace pondérée au plancher, sont calculés sur des intervalles de 5 secondes. On note que le facteur SEAT est supérieur à 1 lors du départ et de l'arrêt du train, lorsque le niveau de vibration au plancher est faible. De façon générale, le facteur SEAT est moins élevé (donc meilleure atténuation des vibrations) lorsque le niveau de vibration est plus élevé. Il est cependant normal que la performance de la suspension dépende du niveau de vibration (Wu et Griffin, 1996).

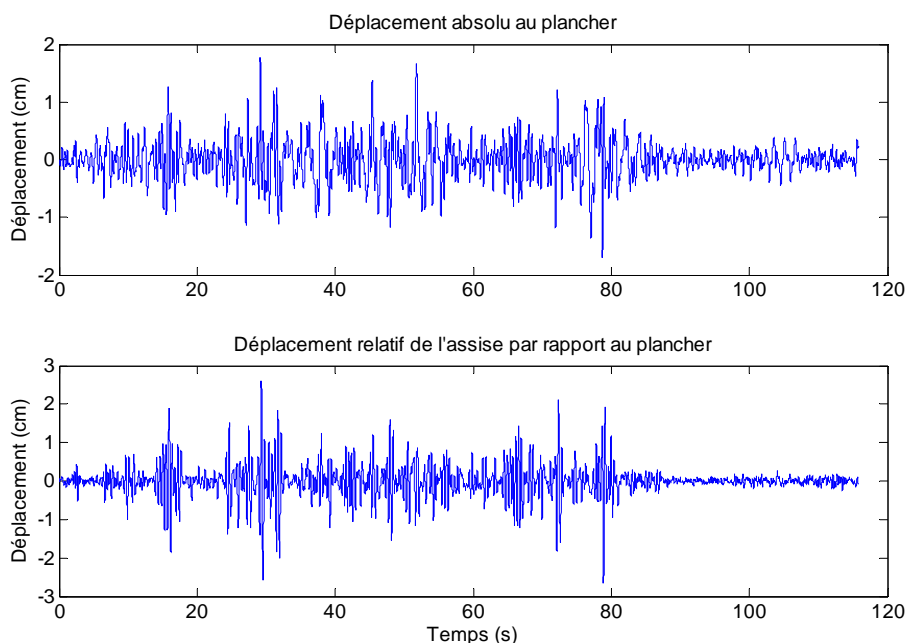


Figure 25. Déplacement absolu du plancher et relatif de la suspension par rapport au plancher (opérateur 1, essai 6 : Jean-Drapeau→Longueuil)

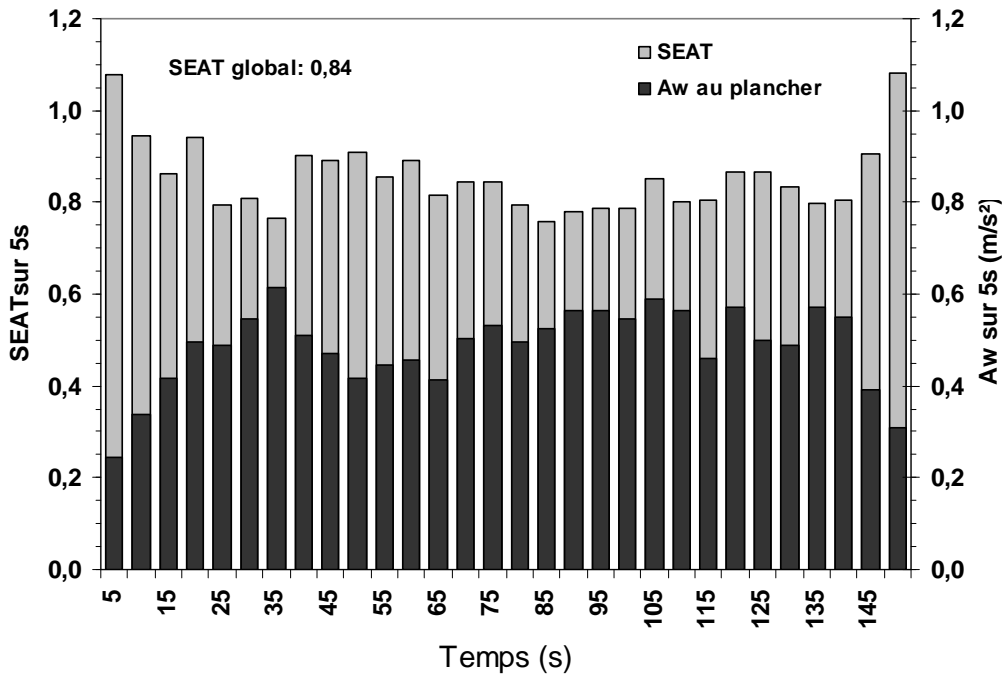


Figure 26. Évolution du facteur SEAT en fonction du niveau de vibration au plancher (opérateur 4 (100 kg), essai 1 : Berri-UQÀM→Jean-Drapeau)

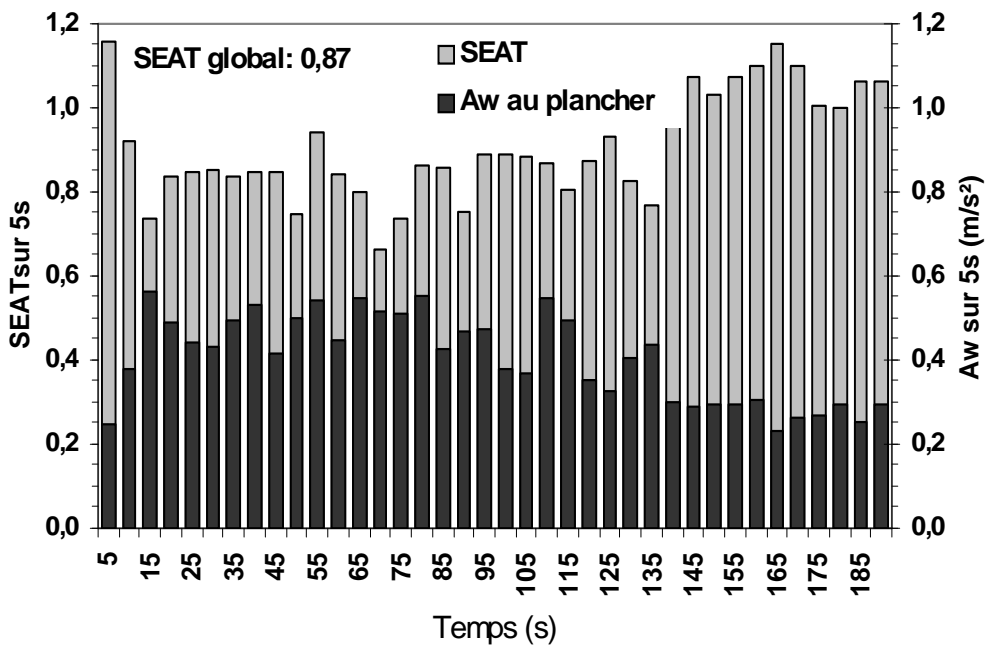


Figure 27. Évolution du facteur SEAT en fonction du niveau de vibration au plancher (opérateur 4 (100 Kg), essai 4 : Jean-Drapeau→Berri-UQÀM)

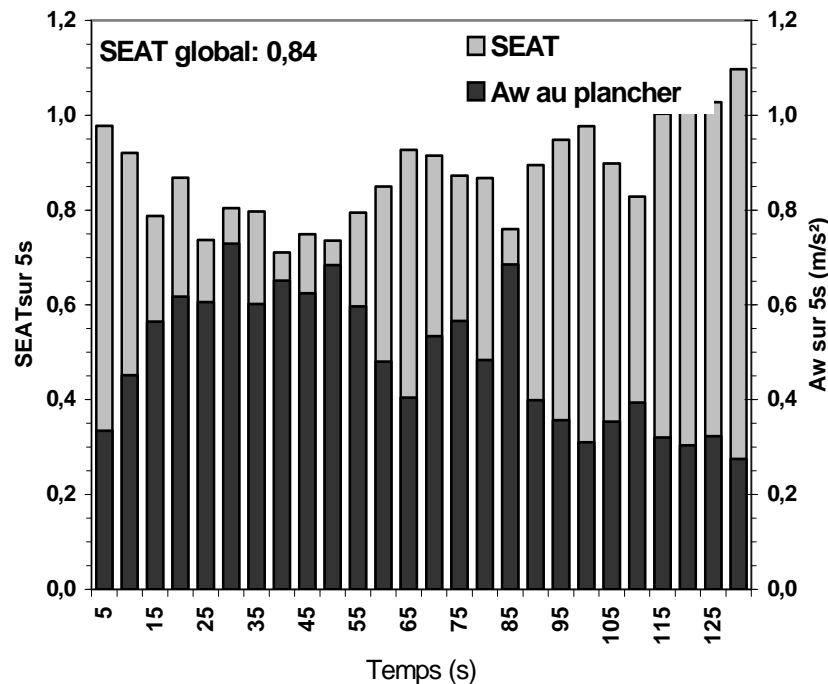


Figure 28. Évolution du facteur SEAT en fonction du niveau de vibration au plancher (opérateur 4 (100 kg), essai 6 : Jean-Drapeau→Longueuil)

Afin d'évaluer les performances du siège à suspension pour les axes latéraux x et y , les facteurs SEAT, selon les trois axes de translation x , y et z , de même que l'ajustement en hauteur de la suspension utilisé par chacun des opérateurs, sont présentés au tableau 17. On note que les vibrations sont amplifiées d'environ un facteur 1,9 en x (avant arrière) et d'environ un facteur 1,2 en y (gauche droite). Cependant, même après amplification, les niveaux vibratoires en x ($a_w = 0,123 \text{ m/s}^2$) sont environ 4 fois moins élevés que les niveaux en z ($a_w = 0,443 \text{ m/s}^2$), et les niveaux vibratoires en y ($a_w = 0,228 \text{ m/s}^2$) sont environ 2 fois moins élevés que ceux en z . On note également dans ce tableau que les facteurs SEAT en z sont optimum lorsque la suspension est centrée (opérateurs 4 et 5 : facteurs SEAT de 0,86 et 0,88 respectivement). Finalement, la comparaison des facteurs SEAT entre le prototype et le strapontin du MR-73 sur la ligne 4, selon chacun des trois axes, est présentée au tableau 18. Pour l'axe x (avant arrière), le prototype du siège à suspension amplifie plus les vibrations que le strapontin. Cependant, tel qu'il a été mentionné précédemment, les niveaux vibratoires en x sont négligeables par rapport à l'axe z (vertical). Pour l'axe y (latéral), le facteur SEAT est légèrement plus élevé pour le siège à suspension (toutefois les niveaux sont deux fois moins élevés par rapport à l'axe vertical), tandis que pour l'axe z (vertical), le siège à suspension apporte une réduction significative des vibrations par rapport au strapontin. L'effet est plus prononcé lorsque le siège se trouve à mi-hauteur (facteur SEAT de 1,05 pour le strapontin versus facteur SEAT de 0,87 en moyenne pour le siège à suspension ajusté à mi-hauteur (hauteur centrée)).

Tableau 17 : Facteurs SEAT selon les trois axes de translation

	Facteur SEAT			Suspension
	Axe x	Axe y	Axe z	
Opérateur 1	2,400	1,220	0,991	Hauteur minimale
Opérateur 2	2,064	1,284	0,973	Hauteur haute
Opérateur 3	1,585	1,290	0,946	Hauteur maximale
Opérateur 4	1,763	1,182	0,860	Hauteur centrée
Opérateur 5	1,902	1,115	0,880	Hauteur centrée
Opérateur 6	1,783	1,293	0,995	Hauteur haute
Moyenne	1,916	1,231	0,941	

Tableau 18 : Comparaison des facteurs SEAT entre le strapontin et le prototype de siège à suspension (ligne 4)

	Facteur SEAT		
	Axe x	Axe y	Axe z
Strapontin	1,22	1,12	1,05
Suspension	1,92	1,23	0,94 (0,86 - 0,99)

6.2.3 Les niveaux de vibration en fonction de la fréquence

Les résultats présentés jusqu'à maintenant étaient sous forme de facteur SEAT global, combinant la performance de la suspension à toutes les fréquences. Afin de mieux comprendre l'influence des différents paramètres sur la performance de la suspension, certains résultats ont été présentés en fonction de la fréquence dans les figures qui suivent. Dans un premier temps, le niveau de vibration moyen au plancher, en fonction de la fréquence, est présenté à la figure 29 pour l'axe z (vertical), pour les mesures effectuées en tête de train versus celles en queue de train. Le niveau de vibration est pondéré en fréquence (w_k). Malgré le fait que le niveau de vibration global soit sensiblement le même, on note que la composante à 2,4 Hz est plus importante en tête de train qu'en queue de train¹⁹. Cette différence peut avoir un effet significatif sur la performance du siège à suspension étant donné que la composante à 2,4 Hz est plus difficile à atténuer.

Les niveaux de vibration mesurés au plancher ainsi que sur l'assise, selon l'axe z, pour la suspension ajustée à la hauteur minimale, centrée et maximale, sont présentés aux figures 30, 31 et 32 respectivement. Pour ces trois réglages en hauteur, la suspension atténue les vibrations au dessus de 8 Hz, ainsi que la composante à 6 Hz lorsque celle-ci est présente. On note que pour la suspension ajustée à la hauteur minimale (figure 30), le siège à suspension amplifie de façon importante la fréquence dominante à 2,4 Hz. Cette amplification de la composante à 2,4 Hz pourrait être à l'origine d'un inconfort associé aux vibrations verticales ressenti par un des opérateurs. Lorsque la suspension est ajustée à la hauteur centrée (figure 31), le siège à suspension atténue légèrement cette même composante, tandis que la suspension ajustée à la hauteur maximale amplifie les deux composantes (dont celle à 2,4 Hz) situées en dessous de

¹⁹ Il faut noter que le trajet s'effectuait de la station A à la station B lorsque le prototype de siège était en tête de train et de la station B à la station A lorsqu'il était en queue de train. En plus de la position du siège dans le train (tête ou queue), des différences pourraient peut-être s'expliquer par la direction du parcours (enchaînement temporel différent pour la vitesse, l'accélération, les pentes, les courbes).

3 Hz. Finalement, les niveaux de vibration sur l'assise et au plancher, pour la suspension bloquée, sont présentés à la figure 33. Lorsque la suspension est bloquée, les vibrations dont la fréquence est en dessous de 5 Hz sont amplifiées, tandis que pour les autres fréquences, l'atténuation est soit négligeable ou encore les vibrations sont légèrement amplifiées par le coussin.

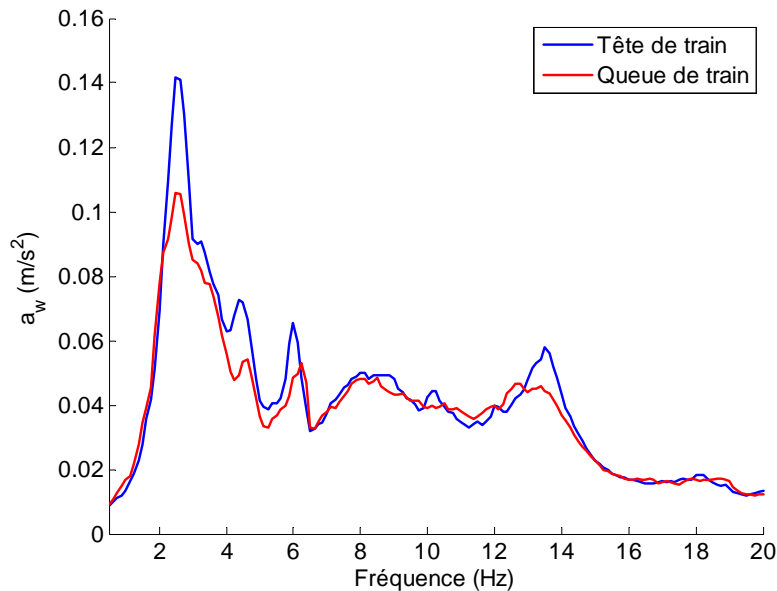


Figure 29. Niveau moyen de vibration au plancher selon la position de la motrice, ligne 4

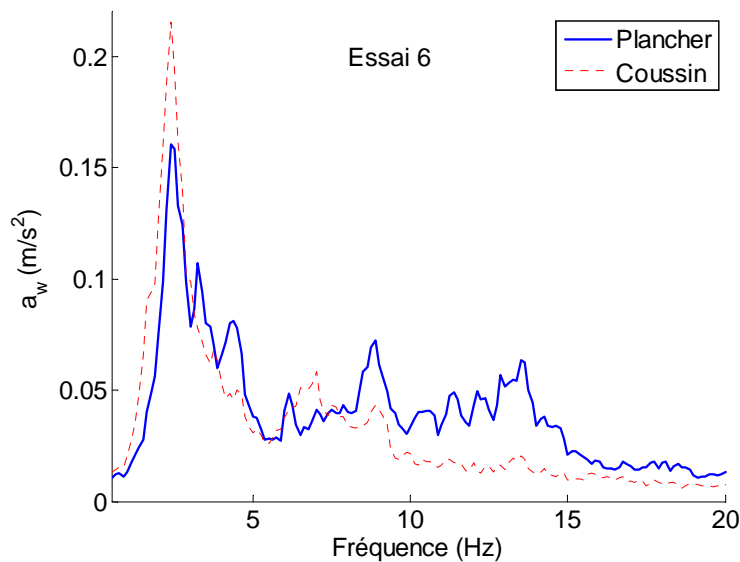


Figure 30. Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension ajustée à la hauteur minimale (opérateur 1 : essai 6)

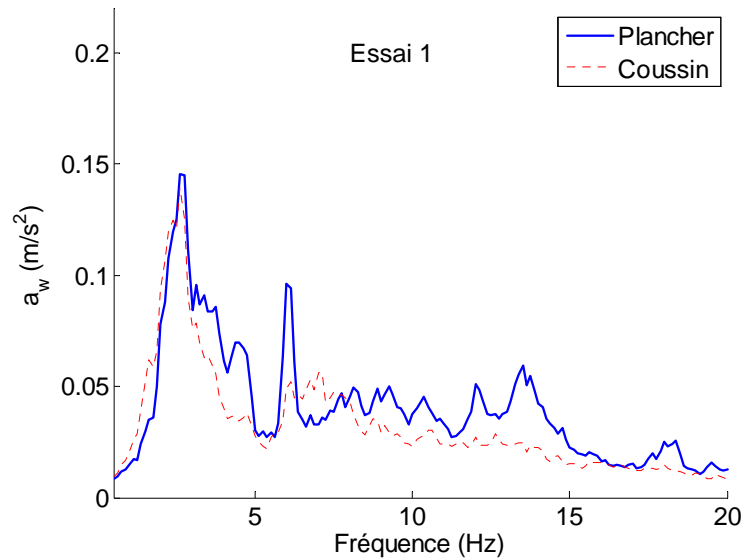


Figure 31. Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension ajustée à la hauteur centrée (opérateur 4 : essai 1)

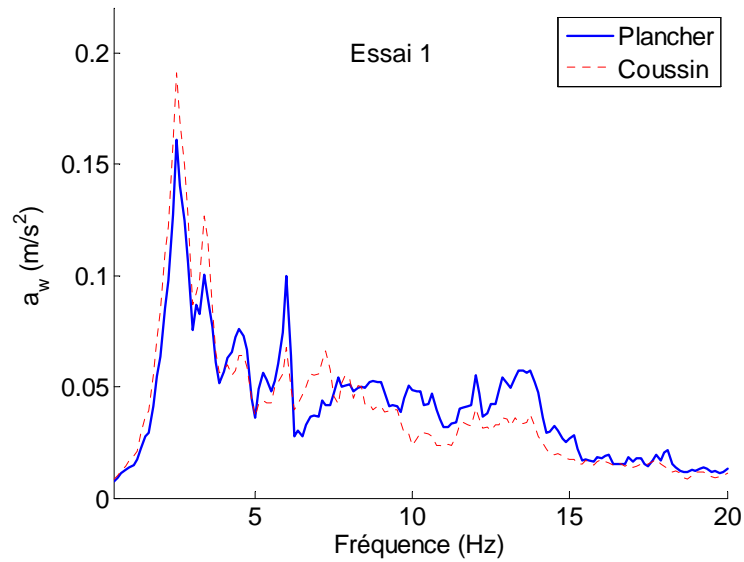


Figure 32. Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension ajustée à la hauteur maximale (opérateur 3 : essai 1)

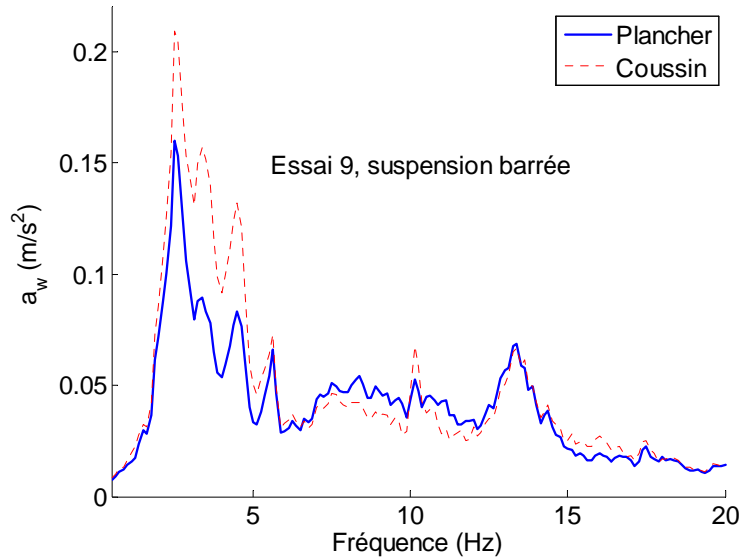


Figure 33. Niveaux de vibration au plancher et au coussin pour la suspension bloquée (opérateur 6 : essai 9)

6.2.4 Retour sur les résultats obtenus sur le simulateur de vibration

Afin de corroborer les résultats obtenus dans le métro sur la ligne 4, les résultats obtenus en laboratoire sur le simulateur de vibration, dans des conditions contrôlées (section 5.2.2.1), sont présentés de façon plus détaillée dans cette section. Dans un premier temps, l'influence de la hauteur de la suspension sur la transmissibilité des vibrations, en fonction de la fréquence, est présentée à la figure 34 pour les tests effectués avec le sujet #2. La transmissibilité TF des vibrations, en fonction de la fréquence, est calculée selon la formule suivante :

$$TF = \sqrt{\frac{G_{bb}}{G_{aa}}} \quad (4)$$

où G_{bb} est l'auto spectre de l'accélération mesurée sur le siège (en z), tandis que G_{aa} est l'auto spectre de l'accélération mesurée au plancher (également en z). On note que, en dessous de 6 Hz, la transmissibilité de la suspension est fortement influencée par l'ajustement en hauteur de la suspension. Ce fait doit être considéré dans le cas de la motrice MR-73, étant donné que la fréquence dominante des vibrations verticales se situe à 2,4 Hz, dans la zone où l'ajustement en hauteur a un effet important sur la transmissibilité des vibrations. Cependant, les vibrations auxquelles l'opérateur sera exposé à l'assise dépendent également du spectre de vibrations que l'on retrouve au plancher. En effet, le spectre de l'accélération à l'assise est égal au spectre de l'accélération au plancher multiplié par la transmissibilité (en fonction de la fréquence) de la suspension. Les spectres de l'accélération pondérée (w_k) au plancher ainsi qu'à l'assise pour les trois ajustements en hauteur de la suspension sont donnés à la figure 35. Les résultats obtenus sont compatibles avec ceux obtenus sur la ligne 4 (figures 30 à 32). Ils montrent clairement une

atténuation de la composante à 2,4 Hz (par rapport au plancher) lorsque la suspension est ajustée à la hauteur centrée et une amplification de cette même composante lorsque la suspension est ajustée à la hauteur minimale ou maximale.

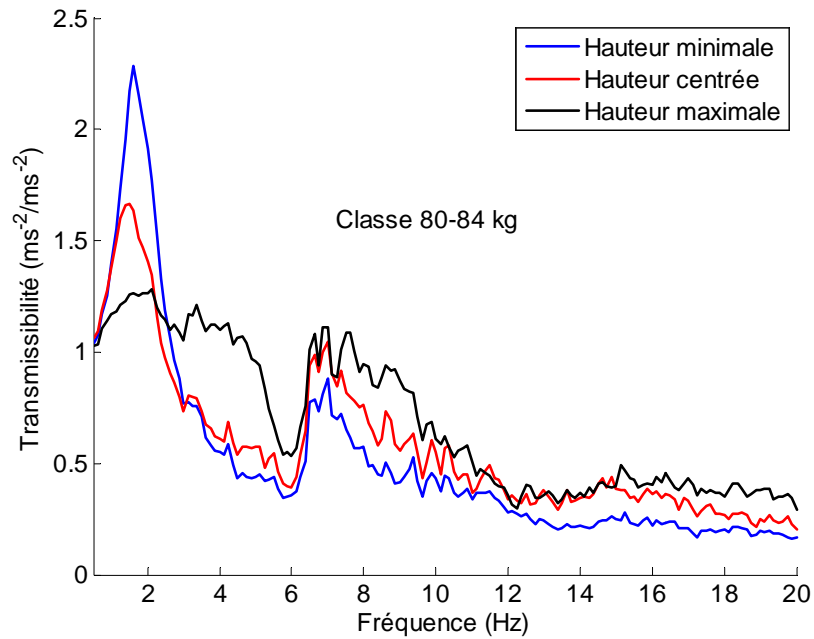
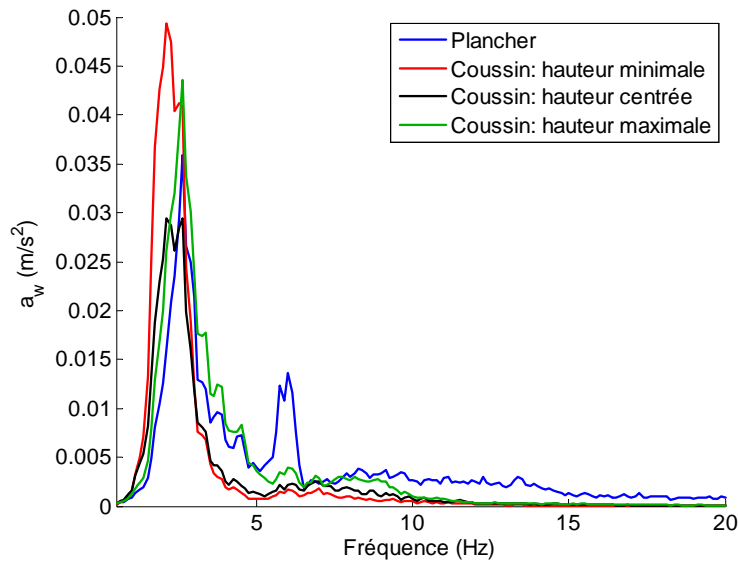
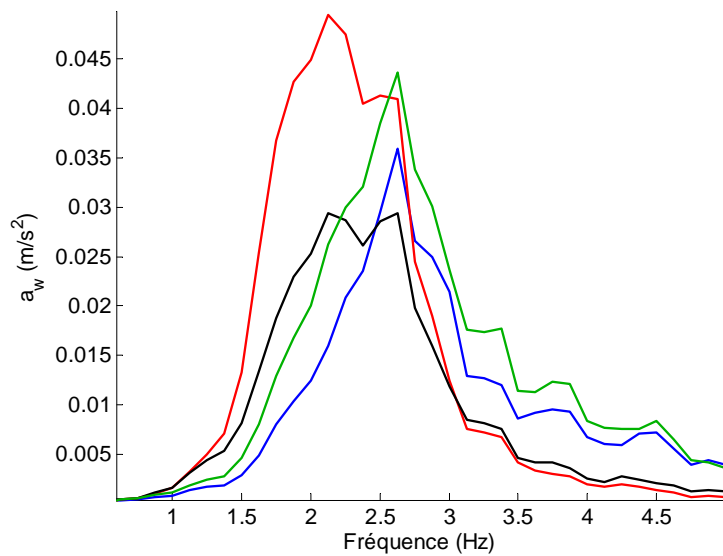


Figure 34. Transmissibilité de la suspension en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension (sujet de 83 kg)



(a)



(b)

Figure 35. (a) Accélération verticale pondérée au plancher et au coussin en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension (sujet de 83 kg). (b) zoom de 0,5 à 5 Hz

Afin de mieux comprendre l'influence de l'ajustement en hauteur de la suspension sur les performances de celle-ci, un modèle mathématique simplifié et linéaire à un degré de liberté de la suspension a été utilisé et est présenté à la figure 36. Un tel modèle permet d'identifier les paramètres de la suspension (fréquence naturelle et coefficient d'amortissement réduit) autour de

sa fréquence de résonance. Il peut être démontré que la réponse en fréquence d'un tel système est donné par :

$$\frac{\ddot{z}_2}{\ddot{z}_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{j\omega C + K}{-\omega^2 M + j\omega C + K} \quad (5)$$

où \ddot{z}_1 et \ddot{z}_2 sont les accélérations au plancher et à l'assise respectivement, z_1 et z_2 sont les déplacements aux mêmes endroits, K est la constante de rappel du ressort équivalent (N/m), C est la constante d'amortissement de l'amortisseur équivalent (Ns/m) tandis que M est la masse équivalente du système (en kg, incluant le poids du sujet humain), ω est la fréquence angulaire ($\omega = 2\pi f$, f étant la fréquence en Hz) et $j = \sqrt{-1}$. Pour un tel système, la fréquence naturelle f_n du système est donnée par :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (6)$$

tandis que le coefficient d'amortissement réduit ξ est donné par :

$$\xi = \frac{C}{2\sqrt{KM}} \quad (7)$$

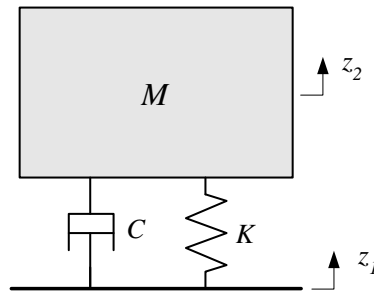


Figure 36. Modèle à un degré de liberté de la suspension

Par la suite, les paramètres f_n et ξ de la suspension seulement (sans le coussin) ont été estimés à partir de la fonction de réponse en fréquence $H1$. Cette réponse est calculée selon la formule suivante :

$$H1 = \frac{G_{ab}}{G_{aa}} \quad (8)$$

où G_{ab} est le spectre croisé de l'accélération au plancher (selon l'axe z) avec celle au châssis (au dessus de la suspension), tandis que G_{aa} est l'auto spectre de l'accélération au plancher (également selon l'axe z). La réponse $H1$ a été calculée pour la suspension seulement, en ne tenant pas compte de la réponse du coussin. Elle vise à caractériser le comportement de la suspension en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension (selon que le ballon soit plus

ou moins gonflé). Les paramètres estimés pour les trois hauteurs d'ajustement de la suspension, pour le spectre de vibration MR-73 sévère et un sujet 83 kg, sont présentés au tableau 19. Les paramètres ont été calculés à partir de la réponse $H1$ en utilisant la fonction *invfreqs* de *Matlab* (pour 2 pôles et 1 zéro : en relation avec l'équation (5)). On note que la fréquence naturelle de la suspension est moins élevée lorsque la suspension est centrée, ce qui explique en partie l'augmentation de la performance de la suspension à 2,4 Hz lorsque celle-ci est centrée. Par ailleurs, l'amortissement de la suspension (ξ) augmente avec l'augmentation de la hauteur de la suspension. Un amortissement trop élevé a pour effet d'évaser la zone d'amplification de la suspension autour de sa fréquence de résonance. Selon l'étude précédente sur les vibrations du métro (Boileau et coll., 2005), pour atténuer la composante à 2,4 Hz de la motrice MR-73, il faut que la suspension ait une fréquence naturelle inférieure à 1,7 Hz et un coefficient d'amortissement réduit de 0,45 semblerait optimal. Seule la hauteur centrée de la suspension satisfait pleinement ces deux critères (fréquence naturelle inférieure à 1,7 Hz et coefficient d'amortissement réduit autour de 0,45). Ce fait explique également pourquoi la suspension avec la présence de son amortisseur conduisait à de moins bonnes performances, la suspension étant alors trop amortie.

Tableau 19 : Influence de l'ajustement en hauteur de la suspension sur la fréquence naturelle (f_n) et le coefficient d'amortissement réduit (ξ) de la suspension : sujet de 83 kg, spectre de vibration MR-73 sévère

Hauteur de la suspension	f_n (Hz)	ξ
Minimale	1,73	0,27
Centrée	1,49	0,44
Maximale	1,74	1,10

Finalement, les transmissibilités, en fonction de la fréquence, du coussin seulement, de la suspension seulement et de ces deux éléments combinés sont présentées à la figure 37, pour un sujet de 83 kg, le spectre vibratoire *MR-73 sévère* et la suspension ajustée à la hauteur centrée. On note que le coussin a comme effet d'amplifier, par un phénomène de résonance, les vibrations en dessous de 5 Hz. Cela explique, du moins en partie, l'amplification importante des vibrations (facteur SEAT de 1,26) lorsque la suspension est bloquée (voir tableau 16). Cependant, dans cette même plage fréquentielle où le coussin amplifie les vibrations, la suspension atténue les vibrations de façon importante. Cela a comme effet que la transmissibilité totale du siège est bien en dessous de 1 dans la zone d'intérêt, c'est-à-dire là où l'on retrouve des vibrations au plancher (entre 2,4 et 6 Hz).

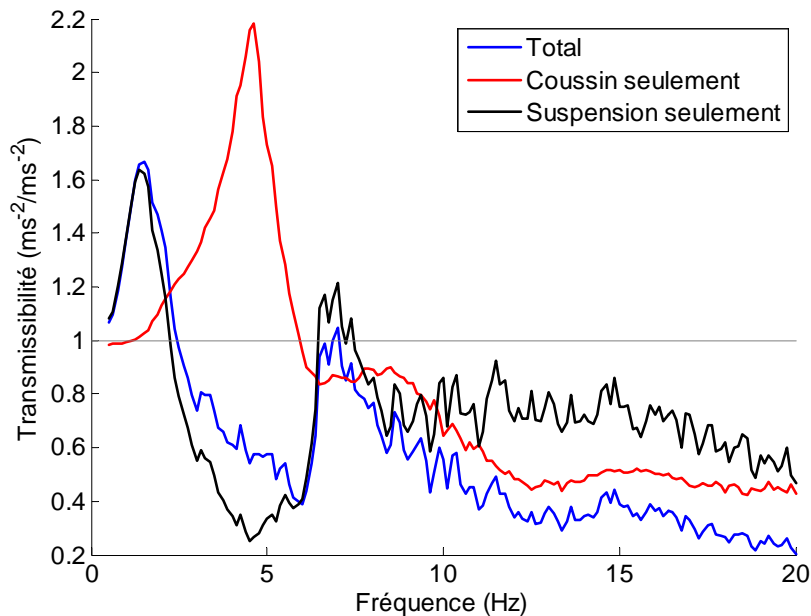


Figure 37. Transmissibilité de la suspension et du coussin : sujet de 83 kg, ajustement à hauteur centrée, classe spectrale MR-73 sévère

6.2.5 Des pistes à envisager pour diminuer les inconforts liés aux vibrations

Pour pallier les problèmes identifiés lorsque la suspension est ajustée plus bas ou plus haut que la mi-course (hauteur centrée), quelques solutions ont été envisagées. Lorsque cela ne compromet pas trop d'autres aspects du confort (posture), le fait de recentrer la hauteur de la suspension lors de l'ajustement en hauteur pourrait mieux atténuer les vibrations et les mouvements du siège et, du même coup, les inconforts. Des essais sur une plus longue période de temps devraient donc être effectués pour vérifier l'importance de ces inconforts et la possibilité d'y remédier en gonflant plus ou moins la suspension. Si ces problèmes s'avéraient importants, l'ajout d'un réglage en hauteur indépendant de la suspension (permettant d'ajuster la suspension au meilleur de sa performance) devrait être envisagé. Dans le cas d'un ajustement en hauteur indépendant de la suspension, l'ajout d'un mécanisme permettant d'ajuster automatiquement la suspension à mi-course, selon le poids de l'opérateur, serait souhaitable. Cette solution avait été discutée en début de projet avec le groupe de travail mais n'avait pas été retenue en raison des opérations d'entretien que les composantes supplémentaires exigeraient. Si l'ajustement automatique à mi-course de la suspension n'est pas envisageable, il faut prévoir les inconvénients suivants : nombre d'ajustements plus importants et possibilité que les opérateurs ne règlent pas la suspension à mi-course. Dans ce cas, un indicateur de l'état d'ajustement de la suspension devrait être ajouté afin d'aider les opérateurs à ajuster leur siège en référence à la position mi-course.

6.3 Résultats – L'appréciation du prototype, les choix posturaux et les effets sur les tâches et la sécurité

Cette section présente les résultats de perception des opérateurs quant aux inconforts ressentis et aux caractéristiques du siège, décrit les postures adoptées durant la conduite et discute des effets possibles du prototype sur la réalisation des tâches et sur la sécurité.

6.3.1 Les inconforts

Tout de suite après les essais, les opérateurs ont évalué le niveau d'inconfort global qu'ils avaient ressenti. Quatorze opérateurs (74%) ont mentionné que l'inconfort était « minimal » ou qu'ils n'avaient ressenti « aucun inconfort ». Trois opérateurs (16%) ont coté l'inconfort « léger » et deux (10%) l'ont coté « modéré ». Pour un opérateur de très grande taille (188 cm), cet inconfort modéré est attribuable au fait que la suspension l'empêche de mettre ses pieds sous le siège et qu'il ne trouve ainsi plus de position satisfaisante pour ses jambes. Pour l'autre opérateur, l'inconfort modéré est attribué au mouvement de la suspension.

Les opérateurs ont été questionnés sur les inconforts localisés aux différentes régions corporelles (figure 38). Les inconforts que les opérateurs attribuent au siège (figure 39) affectent trois régions principales : les cotés externes des cuisses associés aux plaques métalliques de chaque côté de l'assise; l'arrière des cuisses près des genoux, associé au rembourrage à l'extrémité avant de l'assise (et non à l'angle de l'assise); la région du rachis associée au mouvement de la suspension. Le concepteur affirme que les différents problèmes liés à l'assise peuvent être corrigés facilement. Il croit entre autres que la mousse servant pour l'appuie-fesses, de densité un peu plus élevée, se prolonge jusqu'au rebord avant de l'assise, ce qui pourrait créer les inconforts perçus par plusieurs opérateurs. Les autres inconforts ne sont pas nouveaux et sont associés plutôt à l'espace restreint et à la localisation du manipulateur.

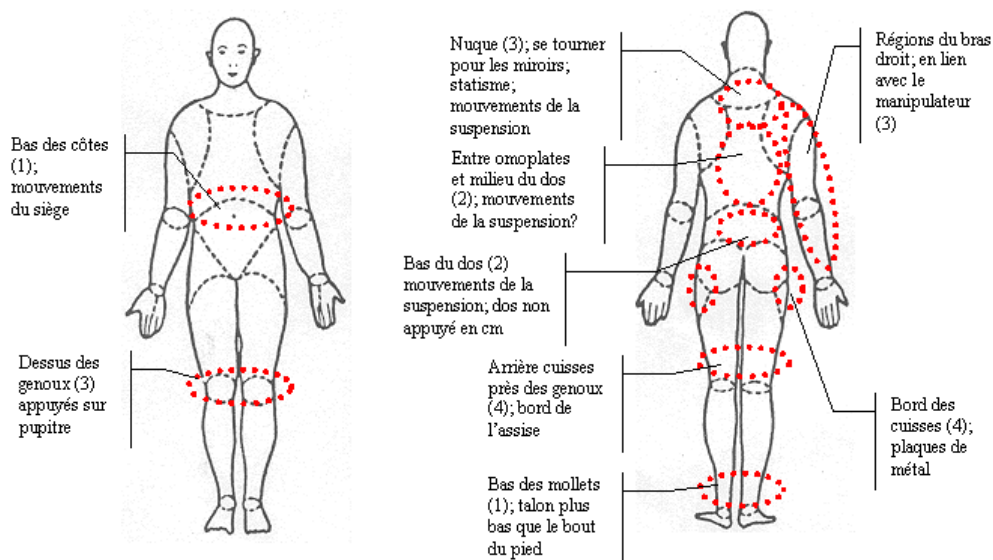


Figure 38. Localisation des inconforts/douleurs. Schéma selon Cameron (1996)

Tiré du site <http://www.ergonomics.ie/mirth.html>



Figure 39. Caractéristiques du siège associées aux inconforts ressentis par les opérateurs

6.3.2 L'appréciation des caractéristiques du siège

Les caractéristiques de la suspension, de l'assise, du dossier, des ajustements du siège ont été évaluées systématiquement par les opérateurs.

Autres considérations sur la suspension. La section 6.2 abordait les effets dynamiques de la suspension. Quelques effets autres ont été répertoriés. Tel que mentionné précédemment, un opérateur de très grande taille (188 cm) a été gêné par la suspension parce qu'elle l'empêchait de mettre les pieds sous le siège. Pour ne pas être coincé sous le pupitre, cet opérateur doit abaisser ses genoux en repliant ses jambes vers l'arrière. Ceci est maintenant plus difficile à réaliser vu l'espace occupé par la suspension. La rotation du siège constitue un moyen pour trouver une position plus adéquate en PA. Elle n'est cependant pas suffisante actuellement pour dégager totalement les jambes.

Deux opérateurs ont noté qu'il était plus difficile de s'extraire du siège lorsque assis près du pupitre. Quand l'opérateur se lève, le siège se déleste et remonte pour coincer légèrement les jambes entre le pupitre et l'assise. Les opérateurs devront donc prendre l'habitude d'abaisser un peu le siège ou de le reculer pour se relever plus facilement.

Finalement, la jupe de la suspension est trop encombrante pour permettre l'ouverture de la porte inter-communicante vers l'intérieur de la loge. La réduction et l'arrondissement des coins de cette jupe seraient également bénéfiques pour les déplacements dans la loge.

L'assise du prototype est jugée « beaucoup mieux » que celle du strapontin MR-73 par presque tous les opérateurs (15/16²⁰). À part les quelques points à corriger déjà mentionnés au sujet de l'assise (plaques métalliques, bordure avant), la moitié des opérateurs consultés aimeraient que l'assise soit plus large (9/19). Conformément à ce qui avait déjà été mentionné lors de

²⁰ Rappel : le dénominateur n'est que de 16, plutôt que 19, car les questions de comparaison avec le strapontin MR 73 n'ont pas été posées aux trois opérateurs ayant participé à la phase 3 (et à la phase 2) des essais (tableau 15).

l'évaluation du prototype 2, les chercheurs recommandent d'élargir légèrement l'assise, soit de 2,5 cm à 4 cm, sans augmenter la largeur hors tout du siège²¹ (compromis entre encombrement et confort). Également, le fait d'arrondir légèrement l'avant de l'assise pourrait limiter l'encombrement latéral tout en permettant aux opérateurs de se relever plus facilement. Par ailleurs, la grande majorité des opérateurs considèrent la longueur de l'assise (15/19) et la fermeté du coussin (16/19) « juste parfaites ». Bien que trois opérateurs souhaitent que l'assise soit un peu plus longue, les tests ont montré que cela ne serait pas avantageux pour s'extraire du siège.

L'**angle de l'assise** non compressée est de 11 degrés, ce qui est supérieur aux recommandations d'usage pour ce type de véhicule. Cependant, plusieurs opérateurs considèrent cet angle confortable (13/19), quatre le trouvent un peu trop incliné vers l'arrière et un opérateur a l'opinion inverse. Il est donc suggéré de permettre l'ajustement de l'angle de l'assise selon les besoins au moyen d'un mécanisme simple.

Le **dossier** du siège est très apprécié par les opérateurs et ne nécessite aucune modification. La fermeté du coussin et la facilité pour ajuster le dossier ont été considérées unanimement « juste parfaites ». Comparé à celui du strapontin MR-73, le dossier du prototype est considéré « beaucoup mieux » par presque tous les opérateurs (15/16).

La plage d'**ajustement en hauteur** convient bien aux besoins des opérateurs (19/19). Ceux-ci apprécient notamment la plage réglable de façon continue (plutôt qu'avec 3 crans pour le strapontin MR-73). La localisation du bouton à bascule est jugée « juste parfaite » pour tous. Quatorze opérateurs ont noté que le temps requis pour gonfler la suspension était « juste parfait », les autres le considèrent un peu long sans toutefois constituer un problème lors des changements de trains. Comparativement à l'ajustement en hauteur du strapontin MR-73, 14 des 16 opérateurs considèrent que l'ajustement en hauteur du prototype est « beaucoup mieux » et un, « un peu mieux » (un opérateur n'a pas répondu). La figure 40 montre la posture pour ajuster la hauteur du strapontin MR-73 et la figure 41, celle pour le prototype de siège.

L'**ajustement de la position** du siège (latéral, avant/arrière et en rotation) dans la loge est également très apprécié. Tous les opérateurs (16/16) qui ont comparé cet ajustement avec celui offert sur le strapontin MR-73 l'ont trouvé « beaucoup mieux ». La localisation de la poignée d'ajustement est unanimement jugée « juste parfaite » par les opérateurs (19/19). Quinze opérateurs (79%) trouvent également « juste parfait » la « facilité pour ajuster à la position désirée », « l'effort » et « le temps requis » pour ajuster le siège. Certains opérateurs trouvent l'ajustement un peu difficile parce qu'il faut avoir des points d'appui pour déplacer le siège ou parce que le siège se déplace dans différentes directions en même temps. La figure 42 montre la posture pour ajuster la position avant/arrière du strapontin MR-73 et la figure 43 celle pour le prototype de siège.

Trente-huit pourcent des opérateurs (7/19) trouvent « juste parfait » l'ensemble des plages d'ajustement offertes pour la position du siège (tableau H1, annexe H). Trois opérateurs souhaitent une plage plus étendue latéralement (vers la droite) pour se rapprocher du

²¹ Il existe notamment un certain jeu dans l'assemblage (présence de rondelles) qui permettrait d'élargir l'assise sans toutefois occuper plus d'espace latéralement près de la partie arrière du siège.

manipulateur. Cinq opérateurs de stature de 168 cm et moins souhaitent que le siège se déplace davantage vers l'avant. Six opérateurs, majoritairement de grande taille (quatre mesurent 183 cm et plus), désirent une plus grande rotation du siège vers la droite et vers la gauche; cette position leur permettrait de libérer les deux jambes du dessous du pupitre et d'avoir le dos convenablement appuyé au dossier.



Figure 40. Posture pour ajuster la hauteur du strapontin MR-73



Figure 41. Posture pour ajuster la hauteur du prototype de siège



Figure 42. Posture pour ajuster la position du strapontin MR-73 dans l'axe avant/arrière



Figure 43. Posture pour ajuster la position du prototype de siège dans différents axes.

L'allongement des plages d'ajustement vers l'avant et latéralement a été étudié avec le groupe de travail et le concepteur mais n'a pas été retenu principalement à cause des effets négatifs sur la robustesse et sur l'encombrement.

Le prototype de siège peut être utilisé en **appui-fesses** lorsque l'assise est relevée. Faute de temps, l'utilisation de l'appui-fesses ne faisait pas partie des essais. Cependant, 17 opérateurs disent qu'ils s'en serviraient régulièrement ou occasionnellement.

Tel que déjà mentionné lors des tests dans la maquette, quelques opérateurs aimeraient des **appui-bras** mais préféreraient s'en passer si leur encombrement devait restreindre la mobilité du siège.

6.3.3 Les ajustements du siège et postures choisis par les opérateurs

Cette section décrit les positions du siège et les postures choisies pour la conduite manuelle et automatique.

Hauteur du siège

La plage entière d'ajustement en hauteur a été utilisée par les opérateurs. Tant en CM qu'en PA, près de la moitié des opérateurs (8/19) ont choisi de régler la hauteur de l'assise au centre de la plage disponible, i.e. à mi-course de la suspension (tableaux H2 et H3, annexe H). Lors de la conduite en PA, une proportion similaire (9/19) des opérateurs se sont assis dans une position basse ou dans la limite inférieure de la suspension. De façon inverse, huit opérateurs ont choisi une position haute ou dans la limite supérieure lors de la conduite manuelle. Les opérateurs ont donc tendance à s'asseoir plus haut en CM et ceci est fort probablement conditionné par le désir de réduire les contraintes à l'épaule pour atteindre le manipulateur. On constate que la limite inférieure d'ajustement est surtout utilisée par les opérateurs de petite taille et ceux de grande taille.

Près de la moitié des opérateurs (8/18 en PA et 8/17 en CM)²² ont choisi une hauteur de siège semblable pour le prototype et le strapontin MR-73 (à 1,5 cm près). Peu importe le mode de conduite, environ 35% des opérateurs se sont assis sensiblement plus bas (2 à 5 cm) sur le prototype que sur le strapontin MR-73. Le strapontin MR-73 est presque toujours utilisé en position haute (15/18 en PA et 16/17 en CM) et peut être un choix acceptable, même pour les personnes de petite taille, depuis l'installation de l'appuie-pieds. L'ajustement du prototype étant plus facile que celui du strapontin, les opérateurs pourraient avoir davantage tendance à régler la hauteur au niveau préféré.

Tant en PA qu'en CM, cinq opérateurs ont utilisé l'appuie-pieds; la stature de ces opérateurs est de 173 cm ou moins (50^e centile).

Position avant/arrière du siège

La plage d'ajustement avant/arrière a été entièrement utilisée par les opérateurs. Peu d'opérateurs choisissent de reculer le siège dans les limites arrière de la plage d'ajustement disponible : seulement 2 en CM et 2 en PA (tableaux H4 et H5, annexe H). Dans cette position, le dossier du siège doit être très droit et il n'est pas possible de faire une rotation du siège.

Position latérale du siège (gauche/droite)

Tel qu'attendu, les opérateurs ont ajusté la position latérale du siège selon le mode de conduite adopté. La plage d'ajustement disponible a été entièrement utilisée.

²² le dénominateur est différent de 19 car il exclut les opérateurs ayant dit toujours conduire debout avec le strapontin MR-73.

Rotation du siège

Tant en conduite manuelle qu'en pilotage automatique, la moitié (9 PA; 10 CM) des opérateurs s'assoient sans tourner le siège (tableaux H4 et H5, annexe H). Dans les autres cas, la plage utilisée est de 32 degrés à gauche jusqu'à 40 degrés à droite.

Angle du dossier

L'angle du dossier a été ajusté entre 0 et un peu plus de 20 degrés. Les angles très droits étaient dictés par les limites d'espace lorsque l'opérateur ne faisait aucune rotation du siège et reculait celui-ci le plus près possible de la cloison arrière.

L'angle du dossier du strapontin MR-73 est d'environ 6 degrés. Comme le dossier est bas, certains opérateurs appuient le haut de leur dos sur la cloison arrière ou dans le coin rentrant à l'intersection des cloisons, ou n'ont tout simplement pas le dos appuyé.

6.3.3.1 Les postures types en pilotage automatique (PA)

En PA, le tiers (6) des opérateurs s'assoit à gauche (dont 4 à l'extrême gauche) avec une rotation de l'assise vers la droite (dont 5 de 40 degrés) (figure 44). Un autre tiers (6) s'assoit au milieu de la plage latérale sans faire de rotation du siège (figure 45), ce qui rappelle la position adoptée avec le strapontin MR-73.

En PA, les opérateurs n'étant pas contraints d'atteindre le manipulateur disposent d'une plus grande liberté de mouvements leur permettant d'opter pour différentes postures. Les opérateurs ayant de très grandes jambes, soit généralement les opérateurs de très grande taille, sont davantage limités dans leurs choix : ils ne peuvent à la fois dégager leurs jambes et incliner le dossier s'ils n'effectuent pas une rotation du siège. Certains de ces opérateurs optent déjà pour une rotation du corps sur le strapontin MR-73 (figure 46). Tel que mentionné, la rotation à droite de 40 degrés, actuellement offerte sur le prototype, est insuffisante pour leur permettre de libérer les jambes tout en ayant l'ensemble du dos bien appuyé. Seul le côté droit du dos est bien supporté par le dossier (figure 47). Environ 24 degrés (3 crans) de rotation supplémentaire de chaque côté seraient nécessaires pour pouvoir dégager les deux jambes.

Tel que mentionné précédemment, plusieurs opérateurs disent qu'ils se serviraient du siège comme appuie-fesses (figure 48). Certains le font d'ailleurs présentement avec le strapontin MR-73. Par rapport au strapontin, l'appuie-fesses du prototype présente les avantages suivants : une bordure d'assise rembourrée pour assurer un meilleur confort, un dossier qui se prolonge pour soutenir le bas du dos, un réglage facile et rapide de la hauteur et de la position.



Figure 44. Position commune au tiers des opérateurs en PA (à gauche, avancé, en rotation de 40 degrés)

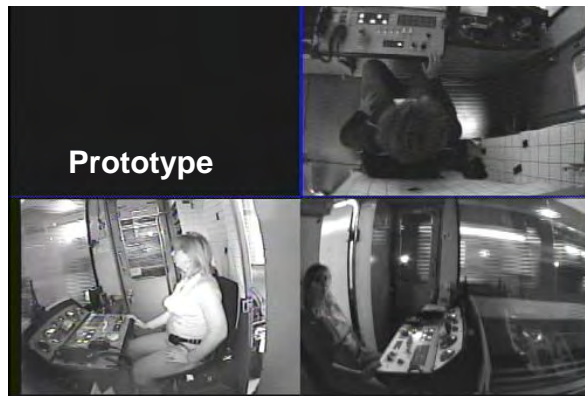


Figure 45. Position commune au tiers des opérateurs en PA (centré latéralement, sans rotation)



Figure 46. Opérateur de taille à 99^e centile, sur le strapontin MR-73 en PA



Figure 47. Opérateur de taille à 99^e centile, sur le prototype de siège en PA



Figure 48. Utilisation du siège comme appuie-fesses

6.3.3.2 Les postures types en conduite manuelle (CM)

En CM, la quasi totalité des opérateurs placent le siège latéralement vers la droite (11 à l'extrême droite), dont la moitié sans rotation (figure 49) et l'autre moitié avec une légère rotation vers la droite ou vers la gauche (figure 50). Près de 80% des opérateurs avancent le prototype de siège alors que seulement 16% le font avec le strapontin MR-73. Ceci s'explique fort probablement par la facilité d'utilisation des ajustements du prototype. Sur le strapontin MR-73, qui n'offre pas d'ajustement latéral, les opérateurs se déplacent sur l'assise pour atteindre le manipulateur lors de la conduite manuelle (figure 51).

Bien que la comparaison avec les postures prises sur le strapontin MR-73 soit limitée, les observations montrent qu'en CM, 8 opérateurs ont davantage le dos appuyé lorsqu'ils utilisent le prototype de siège.

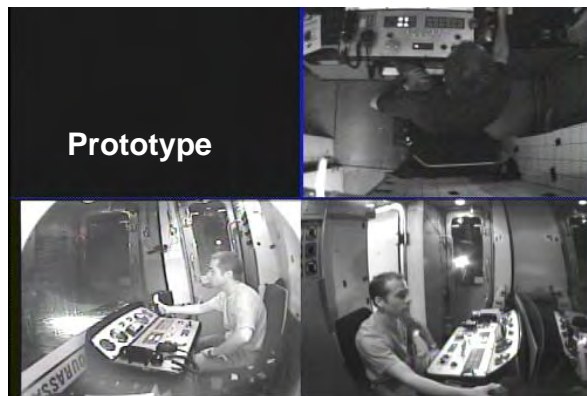


Figure 49. Position commune à près de 50% des opérateurs en CM (à droite, sans rotation)



Figure 50. Position commune à près de 50% des opérateurs en CM (à droite, avec rotation)

Les opérateurs ayant des bras courts et/ou de longues cuisses se trouvent particulièrement désavantagés pour atteindre le manipulateur. Outre les quelques gains d'espace réalisés en modifiant le pupitre de loge (section 2.1.3) et la possibilité de mettre le pied droit dans le coup de pied, l'espace pour mettre les jambes n'a pas été augmenté suffisamment pour que les opérateurs puissent se rapprocher du manipulateur dans l'axe avant/arrière, ou se hausser pour diminuer la flexion de l'épaule. Cependant, le déplacement du siège vers la droite permet maintenant aux opérateurs de se rapprocher du manipulateur tout en gardant les fesses et les cuisses sur la surface du siège. Dans le cas des strapontins, qui sont fixes, les opérateurs se déplacent sur l'assise afin de se rapprocher du manipulateur. La fesse droite n'est alors que partiellement supportée.



Figure 51. Déplacement de l'opérateur sur le strapontin MR-73 pour se rapprocher du manipulateur en CM (5^e centile)

En bref, le manipulateur demeure loin et, tel qu'anticipé, le nouveau siège ne peut apporter d'amélioration significative pour le confort du bras droit lors de la conduite manuelle. Il faut prévoir que les opérateurs continueront de s'appuyer sur le bord du pupitre pour soutenir le haut du corps et rapprocher leur épaule droite du manipulateur. Certains opérateurs préféreront probablement encore conduire debout.

6.3.3.3 Les postures adoptées – le résultat de compromis

Dans l'espace très restreint de la loge, les opérateurs sont confrontés à des choix posturaux et fonctionnels et ils ajusteront la position du prototype de siège en conséquence. Par exemple :

- L'angle du dossier leur permettra d'ajuster le support au dos, mais cet angle aura un effet sur l'espace restant dans l'axe avant/arrière pour mettre les jambes.
- L'ajustement latéral et avant/arrière aura un effet sur l'espace disponible pour les jambes et sur l'atteinte du manipulateur.
- La rotation du siège permettra de dégager les jambes, d'incliner davantage le dossier, mais aura aussi un effet sur l'angle de vision.

Lors de la conduite sur le strapontin MR-73, les opérateurs sont également confrontés à des choix. Par exemple :

- Angle du dossier non ajustable : certains opérateurs s'appuient sur les cloisons.
- Aucun ajustement latéral ni en rotation : certains opérateurs se déplacent sur l'assise.

Les opérateurs doivent donc faire des compromis et adapter leurs postures. Mais, contrairement au strapontin qui ne « suit » pas les changements posturaux des opérateurs, le prototype permet de mieux supporter le corps, particulièrement le dos, le fessier et les cuisses.

Notons que la rotation du siège, qui présente des avantages, devra être utilisée avec discernement. Lorsque le siège est orienté vers la droite, l'opérateur devra compenser par une rotation du cou vers la gauche pour voir le centre de la voie. Lorsque le siège est tourné vers la gauche, l'opérateur devra tourner la tête vers la droite pour voir le quai et les miroirs. Soulignons que certains opérateurs choisissent déjà de s'asseoir avec une rotation sur le strapontin MR-73

(ex. figure 46) et qu'ils sont confrontés aux mêmes types de compromis. Par ailleurs, lors de la conduite manuelle, la rotation du siège peut à la fois présenter des avantages et des inconvénients (ex. meilleur appui du dos versus plus grande abduction de l'épaule). Il est important que les opérateurs limitent la rotation du siège au minimum nécessaire et qu'ils varient régulièrement leur posture pour éviter le développement d'inconfort ou de douleurs.

6.3.4 Les effets sur le travail à accomplir et sur la sécurité

Outre l'influence de la dynamique de la suspension sur le contrôle du manipulateur (voir section 6.2.1), les effets du prototype de siège sur l'exécution d'actions ou de tâches à accomplir et sur la sécurité ont été documentés.

Se lever, s'asseoir et circuler dans la loge

Lors de la conduite manuelle, 63% (12/19) des opérateurs peuvent se relever rapidement et facilement sans devoir bouger le siège. La plupart des opérateurs restant peuvent se relever quand même sans bouger le siège, mais les jambes accrochent sous le pupitre, ce qui rend la sortie moins facile et moins rapide. Lors de la conduite en PA, les opérateurs sont moins près du pupitre; 95% (18/19) d'entre eux peuvent donc se relever facilement et rapidement sans bouger la position du siège.

Les observations réalisées durant les essais montrent que les opérateurs n'ont pas eu de difficulté majeure à se relever directement, sans bouger le siège, pour réaliser différentes actions, même dans le cas où il y avait rotation du siège (figure 52).

Les essais ont montré que les opérateurs ne percevaient pas de difficulté à circuler dans la loge lorsque le prototype de siège est reculé sur la cloison arrière et que l'assise est relevée (figure 53). Par ailleurs, pour la moitié des opérateurs tant en CM (10) qu'en PA (9), il n'était pas possible de circuler librement dans la loge si le siège était laissé dans la position de conduite.

En position de PA, environ le tiers des opérateurs ne peuvent ouvrir la porte intercommunicante vers l'intérieur de la loge sans devoir bouger leur siège (la position est plus souvent à gauche en PA ce qui bloque la porte). En CM, cette proportion est de 15%. Notons que cette porte peut toujours s'ouvrir vers la *section voyageurs*.



Figure 52. Se lever sans bouger la position du prototype de siège (siège en rotation à gauche)



Figure 53. Circuler dans la loge lorsque le prototype de siège est reculé au mur

Visibilité à l'avant du train

Douze opérateurs ont évalué la distance à l'avant du train à partir de laquelle ils peuvent voir sur la voie (note : ceci ne pouvait être fait qu'avec le prototype de siège). Cette distance, qui sera appelée « zone aveugle », varie entre 6 m et 10,5 mètres en PA et de 5 à 7,5 mètres en CM.

Puisque la distance réelle n'a pas pu être mesurée directement avec le strapontin MR-73, la comparaison de la zone aveugle entre le prototype et le strapontin MR-73 repose sur des simulations par ordinateur à partir de la localisation des yeux dans la loge. Tant pour les conditions de PA et CM, trois des dix-neuf mesures ont été éliminées car la coordonnée verticale pour la position des yeux était inexacte. On compte donc 16 situations pour lesquelles des comparaisons ont pu être faites entre la vision sur le strapontin et le prototype de siège.

Dans 9 cas sur 16 en CM, la zone aveugle est semblable peu importe le siège (différence de 1 mètre ou moins). Dans 6 cas, la visibilité est meilleure de 2 à 3 mètres sur le strapontin, dans un cas, elle est meilleure sur le prototype.

Pour la position de conduite en PA, huit cas présentent une zone aveugle semblable sur le prototype et sur le strapontin (différences de 1 mètre ou moins). Dans quatre cas, la différence est entre 1 et 2 mètres, et dans quatre autres entre 2 et 4 mètres, la zone aveugle étant presque toujours plus courte lorsque l'opérateur est assis sur le strapontin.

Puisque environ 35% des opérateurs choisissent de s'asseoir plus bas sur le prototype de siège comparativement au strapontin (voir section 6.3.3), il est attendu que ces opérateurs auront une visibilité un peu plus réduite avec le prototype. Vu les limites de cette technique de comparaison, il faut interpréter ces résultats avec réserve.

Voir dans les miroirs de quai

Dans l'ensemble, la plupart des opérateurs n'ont pas noté de différence pour voir dans les miroirs lorsqu'ils étaient assis sur le prototype de siège en comparaison à la situation habituelle sur le

strapontin. Les opérateurs qui ont opté pour une rotation du siège vers la gauche ont dû tourner davantage la tête à droite pour voir dans les miroirs alors que ceux qui ont tourné leur siège vers la droite ont souvent mentionné qu'il était plus facile de voir dans les miroirs. Deux opérateurs ont spontanément utilisé la rotation du siège pour essayer de se placer de façon plus favorable pour voir dans les miroirs.

Atteindre les commandes, voir sur le pupitre

Peu importe la position de conduite adoptée, les opérateurs ont unanimement dit que les commandes habituelles étaient facilement accessibles et qu'ils pouvaient facilement voir le visualisateur (cadran donnant l'information sur la vitesse permise et la vitesse actuelle du train). Aucun problème de vision sur le pupitre ou d'accès aux commandes n'a été mentionné.

Réaliser les tâches autres que la conduite

Quinze des 19 opérateurs (79%) pensent que le prototype de siège n'amènera aucun changement dans leur façon de faire leurs principales tâches (conduite, préparation de train, gestion des incidents techniques et humains). Les quatre opérateurs qui ont mentionné que cela apporterait un changement faisaient tous référence à des aspects touchant leur sécurité plutôt qu'à la façon d'accomplir leur travail. Ces points sont abordés à la section suivante.

Risques pour la sécurité

Trois opérateurs ont mentionné qu'il leur serait plus difficile de se relever rapidement du siège lorsqu'un usager tente de se suicider. Présentement, les possibilités que le pare-brise ne résiste pas au choc de la projection d'une personne s'élançant devant le train ou de la chute d'un objet de forte masse est la principale raison motivant les opérateurs à se relever précipitamment de leur siège. Une étude en cours, menée par l'entreprise, permettra probablement d'éliminer ce risque à moyen terme. Outre ce point, quelques éléments ont été mentionnés par les opérateurs concernant les risques à la sécurité, par exemple : se cogner les genoux sur la base du siège; se coincer les doigts; se blesser en ajustant le siège lorsque le train est en mouvement; être blessé par l'assise qui a tendance à redescendre lorsque relevée.

Suite à ces commentaires, les recommandations suivantes ont été faites : diminuer la jupe de suspension pour limiter l'encombrement; trouver un moyen pour que l'assise reste en place lorsque relevée; prévoir un recouvrement de néoprène sur certains bouts de cloison pour réduire les risques de blessure par coincement; ajuster le siège à l'arrêt du train.

6.4 Bilan général

Avant de leur demander d'évaluer globalement le prototype de siège par rapport au strapontin MR-73, les opérateurs avaient eu l'occasion de se questionner sur tous les aspects du siège. Dix-huit opérateurs ont répondu que le prototype était globalement « beaucoup mieux que le strapontin MR-73 » et un a répondu « un peu mieux que le strapontin MR-73 » (Tableau 20). Cette dernière réponse a été donnée par un opérateur de très grande taille (188 cm) n'ayant pu mettre ses jambes sous le siège en raison de la présence de la suspension. Malgré les différents points soulevés précédemment, les opérateurs considèrent que le prototype constitue une grande amélioration par rapport au strapontin.

Tableau 20 : Évaluation globale comparative du prototype de siège versus le strapontin MR-73

<i>Globalement, diriez-vous que le prototype de siège est :</i>	<i>n</i>
Beaucoup mieux que le strapontin MR-73	18
Un peu mieux que le strapontin MR-73	1
Équivalent au strapontin MR-73	0
Un peu moins bon que le strapontin MR-73	0
Beaucoup moins bon que le strapontin MR-73	0

Les modifications qui devraient être apportées au prototype de siège ont été ajoutées au tableau de critères de l'annexe C.

En résumé

- Le siège atténue globalement les vibrations pour le corps humain.
- Lorsque le siège est réglé bas (peu d'air dans la suspension), il y a présence d'inconfort et amplification des vibrations de basse fréquence.
- Quelques opérateurs ont mentionné que les mouvements de la suspension avaient un impact ou exigeraient une période d'adaptation lors de la conduite manuelle.
- Outre quelques petites modifications à apporter au siège, celui-ci est généralement très apprécié par les opérateurs et constitue une bonne amélioration par rapport au strapontin MR-73.
- Le siège est facile et rapide à ajuster : position, hauteur/suspension, angle du dossier.
- Le siège permet d'adapter la posture selon le mode de conduite (PA, CM) et de varier les postures tout en supportant mieux les fesses, les cuisses et le dos.
- Les postures adoptées par les opérateurs demeurent des compromis vu l'espace restreint de la loge et la position du manipulateur. Certains opérateurs de très grande taille ont plus de mal à trouver une position du siège qui leur convient en raison de l'espace occupé sous le siège par la suspension.
- Malgré son volume plus important, le prototype de siège permet de circuler adéquatement dans la loge.
- Selon les opérateurs, le prototype présente peu d'effet sur le travail et la sécurité outre la possibilité réduite de s'extraire rapidement du siège lors de tentative de suicide d'un usager, quelques risques de coincement et l'adaptation nécessaire pour contrôler le manipulateur.

Les douleurs initiales lors de l'enquête et les changements apportés au siège

L'étude ergonomique précédente (Bellemare et coll., 2005) avait identifié que les opérateurs rapportaient des douleurs affectant principalement le bas du dos, la nuque/cou, les épaules et les genoux. On peut penser que lorsque la suspension sera ajustée à son plein potentiel et le dos bien supporté par le dossier, les douleurs au bas du dos diminueront. Par ailleurs, il est peu probable que le prototype de siège améliore la condition pour la nuque, les épaules et les genoux puisque

la problématique avec le manipulateur et l'espace restreint est toujours la même. La mobilité du siège permettra probablement à plusieurs opérateurs de varier plus facilement leur posture en ayant le corps bien supporté, ce qui pourrait améliorer le confort général lors de la conduite en PA. On peut penser que lorsque les problèmes de solidité du pare-brise seront réglés, les opérateurs se sentiront un peu plus en sécurité même lorsqu'ils seront assis près du pupitre ou dans une position dont ils ne peuvent se relever très rapidement. On pourrait alors reconsidérer l'ajout d'appuie-bras pour améliorer les inconforts liés au manque de support latéral. Ceci représente tout de même un bon défi dans l'espace restreint de la loge, considérant la diversité des caractéristiques anthropométriques des opérateurs.

6.5 Recommandations

À l'issue de cette évaluation qui correspondait à la fin au mandat des chercheurs, ces derniers ont fait part de leurs recommandations à l'entreprise. Elles sont résumées ici.

Avant de considérer une implantation de ce siège, des modifications, une formation des opérateurs et des essais à plus long terme sont suggérés. Les caractéristiques de l'assise qui sont directement à la source des inconforts devraient être modifiées avant de procéder à un bilan à moyen terme. Un ajustement du siège en hauteur indépendant de la suspension pourrait être ajouté après avoir tracé un bilan plus complet du nombre de personnes incommodées par les vibrations et des conditions d'utilisation ayant mené à ces inconforts. Avec l'utilisation d'un ajustement en hauteur du siège indépendant de la suspension, il serait souhaitable que l'ajustement de la suspension se fasse automatiquement à la mi-course, peu importe le poids de l'opérateur. (Cette possibilité n'était toutefois pas envisagée par l'ingénierie et l'entretien en raison des pièces et de l'entretien périodique supplémentaires requis. Par ailleurs, il faudrait vérifier qu'un tel ajout est possible avec la suspension actuelle). Puisque l'espace dans la loge est si restreint, il est recommandé de tester tout changement dimensionnel du siège dans une vraie loge. Bien que rien de préoccupant n'ait été relevé à ce sujet durant les essais, une condition essentielle pour une implantation réussie est le maintien de la facilité et de la rapidité de l'ajustement de la position du siège.

Avant de poursuivre des essais à plus long terme, les opérateurs susceptibles d'utiliser le siège devraient tous recevoir une formation expliquant : 1) les objectifs du nouveau siège (atténuer les vibrations, diminuer les inconforts en permettant de varier les posture en ajustant la position du siège), 2) comment ajuster le siège, 3) les recommandations d'utilisation (ex. éviter de modifier la position du siège lorsque le train est en mouvement, éviter les postures extrêmes ou prolongées,...).

Le siège devrait faire l'objet d'une période d'essai intensif en mettant à contribution le plus grand nombre d'opérateurs possible afin de compléter le portrait des inconforts, des avantages, des limites et des modifications qui s'imposent. Tel que mentionnés dans les sections précédentes, différents points devraient être approfondis notamment : l'effet de l'ajustement en hauteur de la suspension sur les inconforts et sur la conduite manuelle, l'effet de différentes inclinaisons de l'assise, l'ajout de crans supplémentaires pour la rotation du siège et la possibilité d'ajouter des appuie-bras. L'exploration des possibilités qu'offre le siège et une période d'adaptation seront nécessaires aux opérateurs, il faut donc prévoir le temps suffisant pour bien effectuer ce bilan. Une telle démarche demande un encadrement et un suivi adéquats.

7 DISCUSSION SUR LE DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE DE SIÈGE

7.1 Les défis anticipés et les défis réels

La planification initiale du projet anticipait que les principaux défis seraient liés au développement et à l'installation du mécanisme pour ajuster la position du siège dans le plan horizontal et que la position du siège en porte-à-faux aurait peut-être des effets sur le comportement vibratoire. Il s'est avéré que ces aspects ont été rapides à régler. En effet, le concepteur a proposé un mécanisme adéquat et seules des questions de sécurité l'ont obligé à revoir son concept de poignée d'ajustement. Les tests sur le simulateur de vibration ont montré que le siège atténuait les vibrations, peu importe la position du siège par rapport à sa base ou à la suspension (position du siège en porte-à-faux).

Le déroulement réel du projet a plutôt été marqué par la difficulté initiale de trouver une suspension qui convient à la fois pour atténuer les vibrations, pour répondre aux critères ergonomiques, d'ingénierie et d'entretien. Ainsi, 3 sièges, 4 suspensions et 2 coussins ont été évalués avant de trouver une combinaison acceptable. Si le concepteur n'avait pas proposé d'adapter la suspension pneumatique avec une pompe manuelle, l'identification d'une suspension mécanique satisfaisante aurait exigé encore plus d'exploration. En effet, les suspensions mécaniques ont tendance à être plus rigides et ont un mécanisme d'ajustement qui ne convient pas dans un contexte où les opérateurs doivent changer de poste plusieurs fois par heure et dans un espace très restreint. Grâce à la réévaluation du département de l'ingénierie de l'entreprise, il y a eu révision du critère qui spécifiait que le siège devait être indépendant de l'énergie du train; ceci a permis de simplifier l'ajustement de la suspension. Le défi suivant a été d'essayer de simplifier l'ajustement du siège en hauteur. Après avoir considéré que la suspension pourrait ne pas toujours être ajustée adéquatement à mi-course par les opérateurs, des tests préliminaires sur simulateur de vibration ont été conduits et ont montré que le facteur SEAT était convenable, même si la suspension n'était pas ajustée à mi-course. Ceci permettait donc d'envisager l'ajustement du siège en hauteur en se servant de la suspension, simplifiant ainsi les ajustements. Les inconforts associés aux vibrations par certains opérateurs lors des essais en situation réelle de travail ont exigé de reconsidérer le besoin d'un ajustement en hauteur indépendant de la suspension. Ceci reste à documenter plus à fond.

Il faut par ailleurs préciser que pour estimer les risques d'atteinte à la santé causés par l'exposition aux vibrations globales du corps, le calcul du niveau vibratoire quotidien $A(8)$ est suffisant dans la plupart des cas (excepté s'il y a exposition à des chocs, par exemple sur une route cahoteuse où le calcul de la VDV (*vibration dose value*) est également requis. Ce qui n'est le cas du métro où il a été démontré que les pistes de roulement du métro étaient bien planes (Richard, 2003)). Dans le cas où seulement le risque d'atteinte à la santé est considéré, le facteur SEAT global du siège est suffisant puisqu'il est directement relié à l'atténuation ou à l'amplification globale des vibrations (niveau de vibration global pondéré) auxquels sont exposés les opérateurs. Étant donné que les niveaux vibratoires mesurés sur les motrices MR-73 (Boileau et coll., 2005) ne sont pas préoccupants pour la santé, selon les critères de la norme ISO 2631-1 (1997), les aspects d'inconfort relié à l'exposition aux vibrations globales du corps ont été considérés. Pour l'aspect d'inconfort, il semblerait que le contenu fréquentiel des vibrations doit également être considéré, tel qu'il a été noté lors des tests en laboratoire et dans le métro lorsque

la suspension n'était pas à mi-course. En effet, la composante à 2,4 Hz était amplifiée, ce qui causait des inconforts chez certains opérateurs, sans toutefois qu'il y ait une augmentation du niveau global d'exposition aux vibrations. À notre connaissance, il n'y a qu'une seule étude à ce sujet (Griffin, 1976), comparant la sensibilité de 10 sujets masculins en position assise soumis à des vibrations verticales. Les niveaux d'inconforts ressentis par les participants ont été comparés entre des vibrations de type ton pur (une seule fréquence) de différentes fréquences et des vibrations de plus larges bandes fréquentielles. Leurs résultats démontrent qu'il n'y a pas de différences statistiquement significatives sur la population testée entre la sensibilité aux vibrations de types ton pur par rapport à des vibrations larges bandes, même si certains des sujets avaient des sensibilités différentes face à ces deux types de vibration. Donc, il est possible que certains des opérateurs de métro soient plus sensibles à l'amplification de la composante à 2,4 Hz par le siège à suspension lorsque la hauteur de ce dernier n'est pas centrée. Par ailleurs, van Niekerk et coll. (2003) ont comparé les inconforts produits par des vibrations verticales sur un échantillon de 6 participants aux facteurs SEAT mesurés sur différents sièges de véhicules automobiles. Ils ont obtenu une corrélation significative ($R^2 = 0,94$) entre les inconforts ressentis et les facteurs SEAT au niveau de la population des 6 individus. Cependant, lorsqu'un seul individu était considéré, la corrélation était beaucoup plus basse (R^2 entre 0,32 et 0,77), confirmant que le facteur SEAT s'applique bien sur une population, mais qu'au niveau de chacun des individus, des écarts importants de perception peuvent exister.

Cette étude a été l'occasion de tester des conditions qui ne sont pas couramment explorées : rotation de la suspension de 90 degrés, retrait de l'amortisseur, allongement du débattement par le déplacement des butées, possibilité d'ajuster la hauteur du siège avec la suspension.

Bien que la démarche de développement du prototype de siège ait nécessité plusieurs étapes, la phase active de développement a duré 12 mois (excluant la période d'appel d'intérêt et la période conduisant à la signature avec un seul fournisseur). Ceci est comparable à la durée actuelle de conception d'un siège qui est de quinze mois dans l'industrie automobile (Kolic, 2008). À cette durée, devront cependant s'ajouter des périodes d'essai intensif et le développement probable d'un mécanisme d'ajustement en hauteur.

7.2 La portée et les limites de l'évaluation réalisée

Chaque étape d'évaluation du prototype, et plus particulièrement la dernière phase d'évaluation en situation réelle de travail, a été menée avec le souci de sélectionner des sujets représentatifs, de systématiser le recueil de données au moyen de questionnaires et de mesures (vibrations, position du siège, vision), de couvrir l'ensemble des impacts du siège sur l'opérateur, de recréer des conditions les plus près possibles de la réalité du travail d'opérateur. Cependant, comme dans toute étude, certaines limites ont également été identifiées.

Concernant la sélection des sujets, il est suggéré (Kolic, 2008) de considérer les cas les plus défavorables en fonction des caractéristiques anthropométriques (ex. longueur des jambes). Dans notre étude, le recrutement d'opérateurs selon la stature et le poids était déjà un peu difficile pour les sujets de 5^e centile. La sélection d'opérateurs selon des dimensions critiques n'a donc pas été envisagée. De plus, comme l'expérience de conduite était primordiale, il n'était pas envisagé de choisir des sujets qui n'étaient pas opérateurs. L'ampleur et l'étendue de l'échantillon d'opérateurs ont permis, par ailleurs, de couvrir une variabilité suffisante pour faire ressortir les

principaux points forts et les points faibles du prototype. En effet, le nombre d'opérateurs différents ayant participé à l'évaluation du prototype représente environ 11% de la population d'opérateurs de métro (29 opérateurs sur une population de 263 selon Bellemare et coll. 2005) et couvre plus de 95% de la population selon la stature et le poids. Lors des essais de la dernière version du prototype en situation réelle de travail, 14 opérateurs sur les 19 n'avaient jamais participé à l'évaluation du prototype auparavant, ce qui favorisait l'émergence de nouvelles opinions.

Bien que les questionnaires utilisés n'aient pas fait l'objet de validation et de test de fiabilité proprement dits, ils se sont montrés efficaces pour mettre au jour les principaux points forts et faibles du siège. Mise à part la question sur la vision dans les miroirs pour laquelle quelques opérateurs semblent avoir répondu de façon absolue plutôt qu'en comparaison à la situation qu'ils connaissent en conduisant sur le strapontin MR-73, aucune question des questionnaires n'a été ambiguë pour les opérateurs. Les questions destinées à évaluer les inconforts liés aux vibrations et les inconforts généraux et localisés ont été utilisées sans difficulté par les opérateurs. Le questionnaire principal complet avait été testé en entier lors du pré-test en situation réelle de travail et n'avait révélé aucun problème d'interprétation. Après avoir répondu aux nombreuses questions du questionnaire, les opérateurs avaient rarement des commentaires à ajouter, l'ensemble des points abordés couvrant bien les effets du siège sur les aspects importants du travail et sur les inconforts. Les réponses aux questions portant sur la suspension, les vibrations et les inconforts ont permis de mettre en évidence des inconforts plus fréquents lorsque la suspension était peu gonflée. Ceci a ensuite permis d'investiguer ce qui se passait du point de vue vibratoire et de constater l'amplification de la fréquence dominante lorsque la suspension était peu gonflée. Les méthodes subjectives et quantitatives utilisées semblent donc complémentaires et cohérentes.

Kolich (2008) rapporte que dans certaines études, les sujets doivent prendre une posture prescrite et non équivalente aux vraies conditions de conduite. Une préoccupation méthodologique de notre étude était d'évaluer le siège, tant du point de vue ergonomique que vibratoire, dans les conditions les plus proches du travail effectué normalement. Ainsi, outre quelques conditions imposées par exemple sur le nombre d'interstations à conduire dans un mode de conduite ou sur le fait de devoir conduire assis, les opérateurs étaient libres de prendre les positions et postures qui leur convenaient le mieux. Les conditions probables d'utilisation ont aussi été reproduites lors des essais dans la maquette de loge et sur le simulateur de vibration.

Tel que mentionné précédemment, la phase de familiarisation qui devait permettre aux opérateurs d'essayer le siège à quelques reprises (3 fois) et durant quelques heures (2 heures minimum) n'a pas pu être faite avant de procéder à l'évaluation finale. La plupart des six premiers opérateurs ayant participé à l'évaluation détaillée des vibrations ont dû conduire le train sans avoir eu le temps de bien ajuster le siège. Certains opérateurs ont dû ajuster leur siège durant les essais, le plus souvent lors de l'arrivée en station. Ils n'ont conduit qu'en mode manuel. La nécessité de garder les signaux d'accélération exempts d'artefacts (pas de contrecoups liés à l'ajustement) limitait la possibilité d'ajuster le siège en cours d'essais. Pour les 13 autres opérateurs ayant participé à l'évaluation finale du prototype, une période d'essai du siège précédait la période de mesure. Les opérateurs avaient le loisir d'explorer différentes positions du siège. Cependant, il était apparent en visionnant les bandes vidéo que certains opérateurs désiraient réajuster leur siège en cours de route, mais n'étaient pas à l'aise pour le

faire. Durant les 10 dernières interstations pour lesquels les opérateurs étaient totalement libres d'adopter la posture et le mode de conduite qu'ils désiraient, la moitié des opérateurs ont justifié les postures adoptées en disant qu'ils exploraient des positions du siège. Les opérateurs n'ont donc pas tous eu le temps de trouver les postures les plus adéquates pour eux. Cependant, les opérateurs ont été assis pendant une période de temps suffisante pour que les inconforts aient le temps de se manifester. Ainsi, 6 opérateurs ont été assis durant un minimum de 40 minutes alors que les treize autres ont été assis sur le prototype de siège entre deux et 4,5 heures, entrecoupées de courtes pauses. Tel que proposé par Fernandez et Poonawala (1998), les treize opérateurs ont été assis pour une durée avoisinant 3 heures avant de faire leur évaluation subjective du siège. Cela était représentatif du travail effectué par certains opérateurs, et a donc permis de faire ressortir les inconforts liés au siège et de les comparer à ceux normalement vécus sur les strapontins MR-73.

Les résultats obtenus lors des simulations sur maquette grandeur réelle et lors des essais en situation réelle sont cohérents. Le siège a cependant été utilisé un peu différemment dans certains cas lors des essais en situation réelle. On note par exemple des rotations du siège vers la gauche alors qu'aucun opérateur ne l'avait fait dans les autres étapes de conception. Les résultats vibratoires obtenus lors des tests sur le simulateur de vibration et en situation réelle de travail sont également cohérents. Cependant, ce n'est qu'avec les essais en situation réelle de travail que les véritables effets des mouvements de la suspension sur le contrôle du manipulateur en CM et sur les inconforts ont pu être réellement expérimentés. Les essais en situation réelle demeurent un incontournable, et il est avantageux de ne pas trop tarder à les réaliser dans le processus de conception. Les critères initiaux et finaux de conception du prototype de siège ont dans certains cas évolué afin de tenir compte des réelles possibilités techniques (plage d'ajustement latérale et avant/arrière, possibilité d'alimenter la suspension à l'énergie du train). Mais la « philosophie » d'ensemble est restée inchangée. Les essais réalisés donnent un bon aperçu des avantages et limites du prototype.

Les résultats de cette étude sont grandement tributaires des interrelations avec les différents acteurs : 1) le groupe de travail composé d'experts de l'entreprise, du syndicat, du concepteur et des chercheurs qui s'est rencontré régulièrement; 2) les opérateurs ayant participé aux nombreuses étapes de tests; 3) l'équipe du concepteur qui a su concrétiser les besoins; 4) les différents départements de l'entreprise qui ont permis la mise en œuvre des essais finaux; 5) le comité de suivi qui a appuyé la démarche.

Le schéma de la figure 54 résume les principaux éléments pris en compte pour en arriver au meilleur compromis d'ensemble. Le contexte particulier de cette étude a favorisé des échanges étroits entre ergonomes et spécialistes en vibration. Les objectifs visés par chaque discipline étaient interdépendants. Dans le cas où l'espace restreint et la simplicité des ajustements n'auraient pas été des enjeux fondamentaux, on peut penser que l'interaction ergonomie-vibration aurait été de moindre importance. À la fin du projet, tant les ergonomes que les chercheurs en vibration avaient une très bonne compréhension des préoccupations mutuelles et tenaient compte des objectifs de chacun dans leurs discussions et développements.

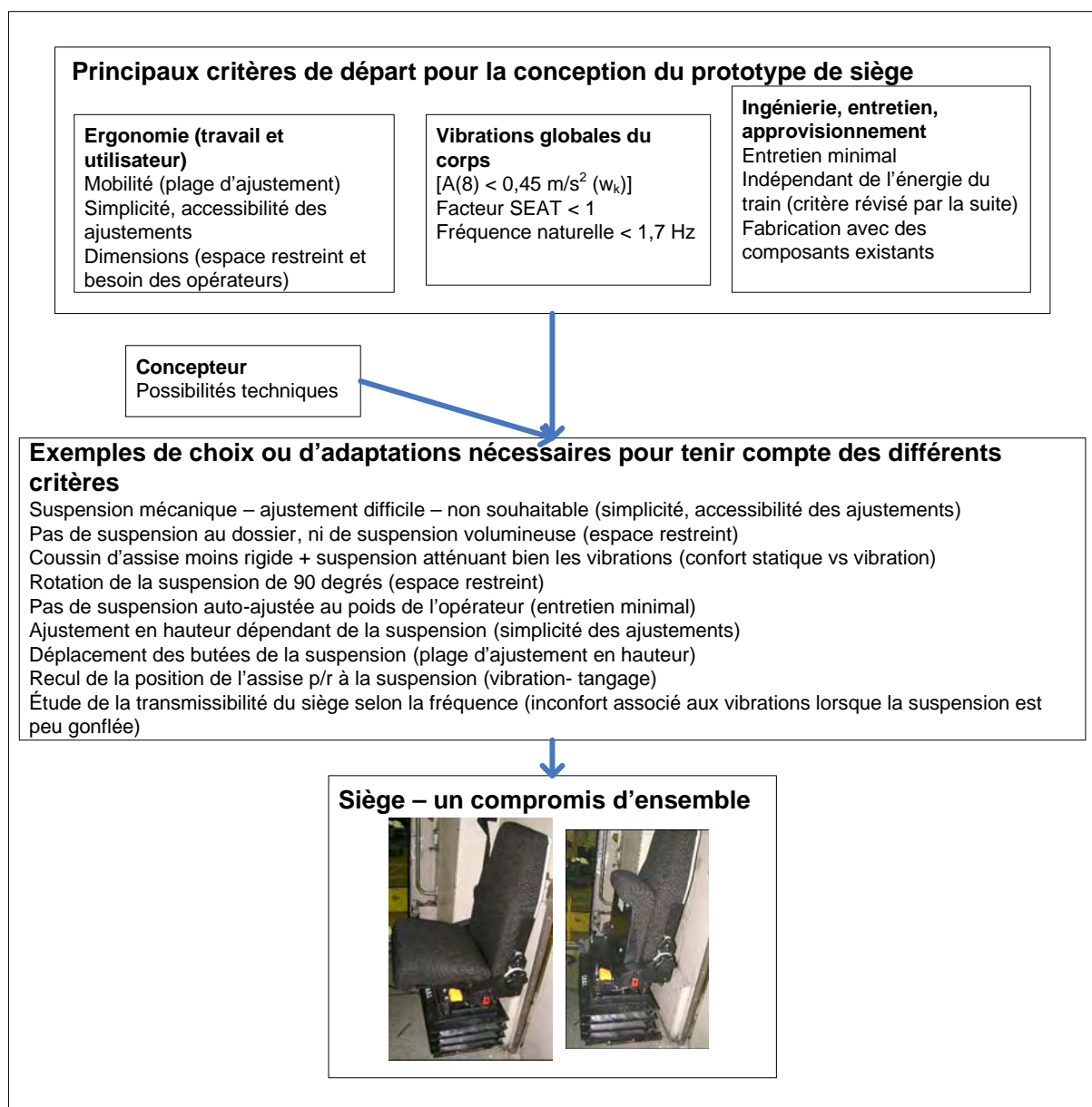


Figure 54. La rencontre des critères de chaque discipline pour le choix du meilleur compromis d'ensemble.

8 CONCLUSION

Ce projet a été initié suite à une demande exprimée par l'entreprise et le syndicat et formulée comme suit : « (...) *quantifier les niveaux vibratoires auxquels sont exposés nos opérateurs et de recommander un nouveau type de strapontin pour la loge de conduite; les strapontins actuellement utilisés amplifient les vibrations transmises (...); régler cette problématique et identifier un siège répondant à des critères ergonomiques, le tout dans l'espace restreint actuellement disponible dans la loge de conduite.*»

Cette demande constituait un défi en raison principalement de l'espace très restreint de la loge et du besoin de simplifier le plus possible les ajustements du siège.

Avec la participation d'un groupe de travail, d'un concepteur et de nombreux opérateurs, un prototype de siège a été développé à partir de composants existants tel qu'exigé dans l'appel d'intérêt. Plusieurs étapes de tests dynamiques ont été nécessaires pour cibler et adapter une suspension aux différentes exigences ergonomiques, vibratoires, de l'ingénierie et de l'entretien. Selon les essais réalisés dans des conditions réelles de travail, le prototype développé constitue un bon compromis pour atténuer les vibrations lorsque la suspension est réglée à mi-course, et pour répondre aux exigences du travail et de confort, le tout dans l'espace restreint disponible. La mobilité du siège permet aux opérateurs de choisir les postures leur convenant le mieux pour chaque mode de conduite du train (automatique ou manuel) et favorise un meilleur support du fessier et du dos. Les opérateurs considèrent que ce prototype est globalement « beaucoup mieux » que leur strapontin actuel. Des inconforts attribués aux vibrations ont cependant été ressentis par des opérateurs ayant ajusté leur siège bas, i.e. ayant peu gonflé la suspension. La mise en commun de ces résultats avec les spécialistes en vibration a permis d'identifier un phénomène d'amplification à basse fréquence lorsque la suspension n'était pas réglée à mi-course. Afin de pallier ce problème, un ajustement en hauteur indépendant de la suspension pourrait être nécessaire.

Des essais à plus long terme sont recommandés pour parfaire le bilan et apporter les corrections nécessaires au prototype. Les membres du comité de suivi de cette étude se sont dit satisfaits et prévoient procéder à des essais à moyen terme afin de permettre aux opérateurs de bien se familiariser avec le siège, de continuer à documenter les avantages et points d'insatisfaction et de vérifier la robustesse technique. La direction de l'exploitation des trains mentionne qu'étant donnée la mise au rancart des trains MR-73 d'ici une douzaine d'année, une implantation assez rapide sera nécessaire et mérite d'être évaluée.

Cette étude a montré que les valeurs de SEAT sont un bon indicateur pour l'atténuation globale des vibrations, mais ne sont pas suffisantes pour détecter des conditions qui pourraient causer des inconforts à certains opérateurs, comme une amplification importante des vibrations pour une fréquence particulière.

Du point de vue postural ou de la réalisation des tâches, des améliorations ont été apportées, mais ne peuvent être qualifiées de « spectaculaires ». L'espace dans la loge est toujours aussi restreint pour les membres inférieurs et le manipulateur est toujours aussi éloigné et mal placé. Le prototype de siège permet d'améliorer le confort, mais demeure une situation de compromis. La meilleure solution reste toujours de bien planifier le poste de travail dès la conception initiale et,

lorsque possible, de se réserver certaines marges de manœuvre puisque la technologie, les besoins et le travail d'opérateur peuvent évoluer au fil du temps. L'entreprise entend aborder les prochains projets de conception dans ce sens. En effet, les vis-à-vis patronaux et syndicaux ont souligné l'apport important de la démarche participative et paritaire et souhaitent la poursuivre pour la conception de la prochaine génération de train. Ils ont exigé, dès l'appel d'offre, qu'un groupe de travail soit impliqué dans les différentes étapes de conception du poste de conduite et qu'une maquette grandeur nature soit réalisée et testée par plusieurs opérateurs.

9 RÉFÉRENCES

- Andreoni, G., Santambrogio, G.C., Rabuffetti, M., Pedotti, A. (2002). Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers, *Applied Ergonomics*, 33 (2002), 511-522.
- Beaugrand, S., Bellemare, M., Boileau, P.-E., Larue, C., Boutin, J. (2006). Subway cab improvement approach to relieve problems of discomfort and whole-body vibration. Meeting Diversity in Ergonomics, 16th world congress on ergonomics, IEA 2006 Maastricht the Netherlands, 10-14 July 2006, Proceedings sur CD-rom édité par Pikaar, Koningsveld and Settels, Elsevier ltd 2006.
- Beaugrand, S., Bellemare, M., Larue, C., (2004). Améliorer la posture assise pour la conduite du métro : apport des simulations dans un contexte d'espace restreint. in *Comblant l'écart : Congrès de l'Association canadienne d'ergonomie / ACE*, (35e : 19-21 octobre, 2004 : Ontario, Canada), 2004.
- Bellemare, M., Beaugrand, S., Champoux, D., Larue, C., Massicotte, P., Gonella, M., (2005) Définition de la problématique SST des opérateurs du métro et des possibilités de reconception des loges de conduite, rapport R-431, IRSST, 169p.
- Boileau, P.-E., Boutin, J., Rakheja, S., Politis, H. (2005) Évaluation de l'exposition aux vibrations globales du corps des opérateurs du métro de Montréal et étude du comportement dynamique des motrices et de leur système de suspension. Rapport R-420, IRSST, 64p.
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales, Windsor Canada, 101p.
- Cameron, J.A., (1996) Assessing work-related body-part discomfort: Current strategies and a behaviorally oriented assessment tool, *International Journal of Industrial Ergonomics* 18, 1996, 389-398.
- Corlett, E.N., Bishop, R.P. (1976) A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, 19(2), 175-182.
- Ebe, K., Griffin, M.J. (2000), Qualitative models of seat discomfort including static and dynamic factors, *Ergonomics* 43(6), 771-790.
- Fahy, F.J., Walker, J.G. (Ed), (1998), *Fundamentals of Noise and Vibration*, chapter 4 : Fundamentals of human responses to vibration, E & FN Spon, New York, p. 179-223.
- Fernandez, J.E., Poonawala, M.F. (1998) How long should it take to evaluate seats subjectively?. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 483-487.
- Griffin, M.J. (1976) Subjective equivalence of sinusoidal and random whole-body vibration, *Journal of the Acoustical Society of America*, 60:5, 1140-1145.
- Helander, M.G. (2003) Forget about ergonomics in chair design? Focus on aesthetics and comfort! *Ergonomics*, 46 (13/14), 1306-1319.
- HSE (Health and Safety Executive) (2001), Whole-body vibration and shock: A literature review. Extension of a study of overtravel of seat suspensions. Prepared by the RMS

- Vibration Test Laboratory, contract research report 333/2001, 99p.
- Johanning, E., Fischer, S., Christ, E., Göres, N., Landsbergis, P., (2002), Whole-Body Vibration Exposure Study in U.S. Railroad Locomotives – An ergonomic Risk Assessment. *AIHA Journal*, 63: 439-446, July/August 2002.
- Kolich, M., Taboun, S. (2004) Ergonomics modelling and evaluation of automobile seat comfort, *Ergonomics*, 47 (8), 841-863.
- Kolich, M. (2008), A conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort, *Applied ergonomics*, vol 39 (1), p. 15-27.
- Kyung, G., Nussbaum, M.A., Babski-Reeves, K., (2008) Driver sitting comfort and discomfort (part I): Use of subjective ratings in discriminating car seats and correspondence among ratings, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38, 516-525.
- Kyung, G., Nussbaum, M.A., (2008). Driver sitting comfort and discomfort (part II): Relationships with and prediction from interface pressure, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38(2008), 526-538.
- ISO 2631-1 :1997 – Vibrations et chocs mécaniques – Évaluation de l'expositions des individus à des vibrations globales du corps – Partie 1 : Spécifications générales.
- ISO 10326-1 : 1992 – Vibrations mécaniques – Méthode en laboratoire pour l'évaluation des vibrations du siège de véhicules – Partie 1 : Exigences de base.
- Richard, M.J. (2003) Évaluation du profil de la surface des pistes de roulement du métro de Montréal, Rapport R-344, IRSST, 55 p.
- Stevenson, M.G., Coleman, N., Long, A.F., Williamson, A.M. (2000) Assessment, re-design and evaluation of changes o the driver's cab in a suburban electric train. *Applied Ergonomics*, 31 (2000), 499-506.
- Transportation Research Board (TRB), National Research Council (1997), *Bus Operator Workstation Evaluation and Design Guidelines, Summary, Report 25*, National Academy Press, Washington, D.C., 21 p. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_25.pdf
- van Niekerk, J.L., Pielemeier, W.J., Greenberg, J.A. (2003). The use of seat effective amplitude transmissibility (SEAT) values to predict dynamic seat comfort. *Journal of Sound and Vibration* 260 (2003) 867-888.
- Wu, X. et Griffin, M.J. (1996) Toward the standardization of a testing method for the end-stop impacts of suspension seats, *Journal of Sound and Vibration*, 192(1), 307-319.
- Zhang, L., Helander, M.G., Drury, C.G. (1996) Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting, *Human Factors* 38(3), 377-389.

ANNEXE A : QUESTIONNAIRES UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION DU PROTOTYPE DE SIÈGE

- Identification du sujet (p. 79)
- Questionnaire durant le parcours (p. 80)
- Questionnaire après le parcours : questions inspirées de Kolich (2004), Cameron, J.A. (1996) pris sur le site <http://www.ergonomics.ie/mirth.html>, Stevenson (2000) (p. 83)
- Formulaire de recension de la position du prototype de siège et du strapontin MR-73 pour les modes de conduite en PA et en CM. (p.99)

Identification du sujet

- Remettre la fiche de renseignement*
- Formulaire de consentement*

Type d'essai :

- Vibrations
- Prototype seulement
- Comparatif prototype/MR-73 original

Date _____

Nom : _____

Âge : _____

Taille : _____

Poids : _____

Ancienneté comme opérateur de métro : _____

Conduite de MR-73 dans les 6 derniers mois :

- à chaque jour,
- au moins une fois par semaine,
- 1 ou quelques fois par mois,
- très occasionnellement
- Jamais

Questions durant le parcours – Prototype

Code _____ Date _____

Estimé du temps passé sur le siège lors des essais dans le métro :

Heure de début des essais : _____ Heure de fin des essais : _____

		Incommodé par les vibrations ^a ? 1 – oui, tout à fait 2 – plutôt oui 3 – plutôt non 4 - non, pas du tout a) Haut en bas b) Latéral c) Avant-arrière	Comparaison de vision dans les miroirs par rapport à MR-73 ^b ? + plus facile = identique - moins facile	Vibrations ✓ Données de qualité * Problème d'acquisition	
Conduite en CM					
1	Montmorency- <i>Concorde</i>				
2	Concorde - <i>Cartier</i>				
3	Cartier - <i>Henri-Bourassa</i>				
4	Henri-Bourassa <i>Sauvé</i>				
5	Sauvé- <i>Crémazie</i>				
6	Crémazie- <i>Jarry</i>				
7	Jarry – <i>Jean Talon</i>				
8	Jean Talon - <i>Beaubien</i>				
9	Beaubien - <i>Rosemont</i>				
10	Rosemont – <i>Laurier</i>				
Conduite en PA					

La formulation exacte de cette question était :

a. Avez-vous été incommodé par les vibrations (douleurs/inconforts) durant cette interstation?

1. Oui, tout à fait
2. Plutôt oui
3. Plutôt non
4. Non, pas du tout

Si oui, dans quelle direction les vibrations se sont-elles surtout manifestées?

- (a) haut / bas (vertical)
- (b) gauche / droite (latéral)
- (c) avant /arrière (transversal)
- (d) une combinaison -précisez

b. Par comparaison à la situation avec le strapontin MR-73, la vision dans le miroir est ...?

1. Plus facile (+)
2. Identique (=)
3. Moins facile (-)

Questions durant le parcours – Prototype

		Incommodé par les vibrations? 1 – oui, tout à fait 2 – plutôt oui 3 – plutôt non 4 - non, pas du tout a) Haut en bas b) Latéral c) Avant-arrière	Comparaison de vision dans les miroirs par rapport à MR-73? + plus facile, = identique, - moins facile	Vibrations ✓ Données de qualité * Problème d'acquisition	
Conduite en PA					
11	Laurier – <i>Mt Royal</i>				
12	Mt Royal - <i>Sherbrooke</i>				
13	Sherbrooke – <i>Berri</i>				
14	Berri – <i>Champ De Mars</i>				
15	Champ De Mars– <i>Pl. d'Armes</i>				
16	Pl. d'Armes – <i>Sq. Victoria</i>				
17	Sq. Victoria - <i>Bonaventure</i>				
18	Bonaventure – <i>Lucien L'Allier</i>				
19	Lucien L'Allier – <i>Georges Vanier</i>				
20	Georges Vanier - <i>Lionel Groulx</i>				
Conduite libre (PA ou CM, assis, debout ou appuyé sur appuie-fesses)					

Questions durant le parcours – Prototype

		Incommodé par les vibrations? 1 – oui, tout à fait 2 – plutôt oui 3 – plutôt non 4 - non, pas du tout a) Haut en bas b) Latéral c) Avant-arrière	Comparaison de vision dans les miroirs par rapport à MR-73? + plus facile, = identique, - moins facile	Vibrations ✓ Données de qualité * Problème d'acquisition	
Conduite libre (PA ou CM, assis, debout ou appuyé sur appuie-fesses)					
21	Lionel Groulx – <i>PI St Henri</i>				
22	PI St Henri - <i>Vendôme</i>				
23	Vendôme – <i>Villa Maria</i>				
24	Villa Maria - <i>Snowdon</i>				
25	Snowdon – <i>Côte Ste Catherine</i>				
26	Côte Ste Catherine - <i>Plamondon</i>				
27	Plamondon – <i>Namur</i>				
28	Namur – <i>De la Savane</i>				
29	De la Savane – <i>Du Collège</i>				
30	Du Collège – <i>Côte Vertu</i>				

Questions après le parcours – Prototype

Code: _____ Date : _____

Nombre total d'allers-retours que vous avez faits ce matin en conduisant sur les prototypes de siège : _____ allers-retours**Le travail que vous avez effectué durant ces allers-retours était-il typique de votre travail habituel?**

- Oui
 Non

Entre les stations Lionel-Groulx et Côte-Vertu, vous étiez libre de choisir la posture et le mode de conduite du train que vous désiriez.**Quels sont les principaux facteurs qui vous ont fait opter pour cette (ces) posture(s)?**

Section A - Inconfort général

A1 Quel niveau d'inconfort global avez-vous ressenti au cours de cet essai?

- 0** Aucun inconfort
- 1** Minimal
- 2** Léger (l'inconfort est présent mais je peux l'ignorer)
- 3** Modéré (l'inconfort affecte ma capacité de travail et de concentration)
- 4** Sévère
- 5** Intolérable (l'inconfort rend presque impossible l'accomplissement de mes activités de travail)

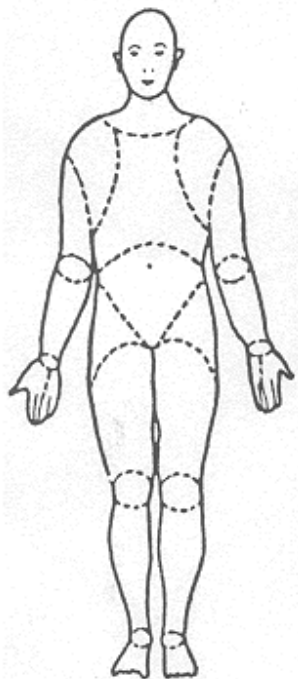
A2 Comment évaluez-vous cet inconfort global par rapport à ce que vous ressentez généralement avec le strapontin MR-73?

- +** **plus intense** que l'inconfort ressenti avec le strapontin MR-73
- **moins intense** que l'inconfort ressenti avec le strapontin MR-73
- =** **équivalent** à l'inconfort ressenti avec le strapontin MR-73

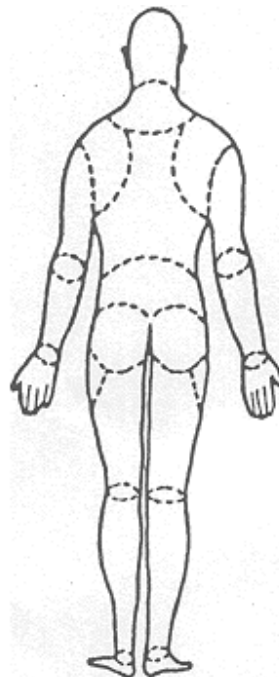
Section B - Inconforts localisés

B1 Sur les schémas suivants, encerclez les parties du corps pour lesquelles vous avez ressenti de l'inconfort ou de la douleur.

Cameron, J.A. (1996) pris sur le site <http://www.ergonomics.ie/mirth.html>.

Vue de face

Droite Gauche

Vue de dos

**Gauche
Droite**

Pour les deux questions suivantes, écrivez votre réponse à côté de chaque partie du corps que vous avez encadrée :

B2 Quelle est l'importance de ces douleurs ou de ces inconforts?

- 0 Aucun inconfort
- 1 Minimal
- 2 Léger (l'inconfort est présent mais je peux l'ignorer)
- 3 Modéré (l'inconfort affecte ma capacité de travail et de concentration)
- 4 Sévère
- 5. Intolérable (l'inconfort rend presque impossible d'accomplir mes activités de travail)

B3 Comment évaluez-vous ces douleurs ou ces inconforts par rapport à ceux que vous ressentez généralement avec le strapontin MR-73.

- + **plus intenses** que les douleurs/inconforts ressentis avec le strapontin MR-73
- **moins intenses** que les douleurs/inconforts ressentis avec le strapontin MR-73

= équivalents aux douleurs/inconforts ressentis avec le strapontin MR-73

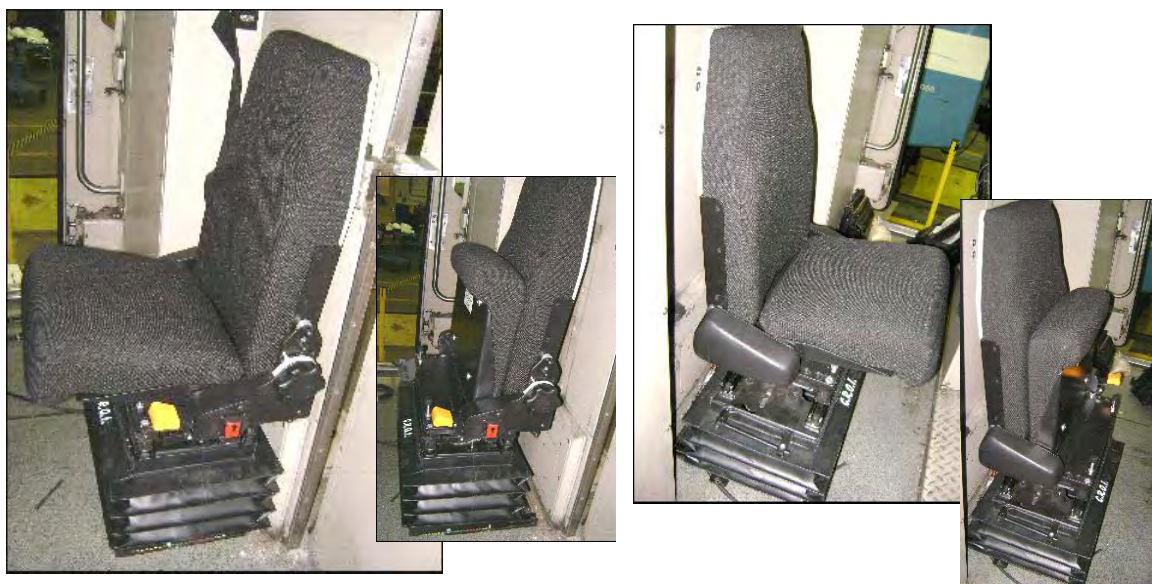
B4 À quoi attribuez-vous ces douleurs/inconforts ?

B5 Au terme de cet essai avez-vous ressenti des douleurs ou des inconforts que vous n'éprouvez généralement pas avec le strapontin MR-73?

- Oui
- Non

Section C - Les inconforts et les caractéristiques du siège

C1 Encerclez sur les photos suivantes les parties du siège pouvant être à l'origine de certaines de vos douleurs/inconforts.



Évaluez chacune des caractéristiques du siège en cochant la case correspondant le mieux à votre réponse.

Dossier du siège

			-3	-2	-1	Juste parfait	1	2	3	
C2	Quantité de support au niveau lombaire (bas du dos)	Pas assez	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop
C3	Hauteur du dossier	Trop bas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop haut
C4	Fermeté du coussin du dossier	Trop mou	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop ferme

C5 Comment évaluez-vous globalement le dossier de ce prototype de siège par rapport à celui du strapontin MR-73 ?

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
- Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
- Équivalent (au strapontin MR-73)
- Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)

- Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

Commentaires au sujet du dossier :

Assise du siège

			-3	-2	-1	Juste parfait	1	2	3		
C6	Angle de l'assise	Trop vers l'arrière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop vers l'avant
C7	Largeur de l'assise	Trop étroite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop large
C8	Longueur de l'assise	Trop courte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop longue
C9	Fermeté du coussin de l'assise	Trop mou	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trop ferme

C10 Comment évaluez-vous globalement l'assise de ce prototype de siège par rapport à celle du strapontin MR-73 ?

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
- Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
- Équivalent (au strapontin MR-73)
- Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)
- Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

Commentaires au sujet de l'assise :

Suspension

C11 Comment évaluez-vous globalement la suspension de ce prototype de siège ?

		-3	-2	-1	Juste parfait	1	2	3		
Trop souple		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Trop ferme

C12 Les mouvements verticaux (haut en bas) du siège, générés par la suspension vous ont-ils occasionné des inconforts?

- Oui; précisez _____
- Non

C13 Les mouvements verticaux (haut en bas) du siège, générés par la suspension ont-ils nui à l'exécution de vos tâches?

- Oui; précisez _____
- Non

C14 Comment évaluez-vous globalement la capacité d'atténuer les vibrations de ce prototype de siège par rapport à celle du strapontin MR-73 ?

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
- Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
- Équivalent (au strapontin MR-73)
- Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)
- Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

Commentaires au sujet de la suspension :

Section D - Les ajustements du siège

Hauteur du siège

Évaluez chacune des caractéristiques de l'ajustement de la hauteur de ce prototype de siège en cochant la case correspondant le mieux à votre réponse.

		-3	-2	-1	Juste parfait	
D1	Localisation de l'interrupteur, accès	Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2	Facilité pour ajuster tel que désiré	Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3	Temps requis pour ajuster correctement	Trop long	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D4	Plage d'ajustement disponible	Insuffisante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D4b Si la plage d'ajustement en hauteur est insuffisante, précisez pourquoi :

- Ne s'ajuste pas assez haut
 Ne s'ajuste pas assez bas

D5 Comment évaluez-vous globalement l'ajustement en hauteur de ce prototype de siège par rapport à celui du strapontin MR-73 ?

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
 Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
 Équivalent (au strapontin MR-73)
 Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)
 Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

Position du siège dans la loge

Évaluez chacune des caractéristiques de l'ajustement de la position du prototype de siège (gauche/droite, avant/arrière, rotation) en cochant la case correspondant le mieux à votre réponse.

		-3	-2	-1	Juste parfait	
D6	Localisation de la poignée, accès	Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D7	Facilité pour ajuster tel que désiré	Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D8	Effort d'ajustement	Trop forçant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D9	Temps requis pour ajuster correctement	Trop long	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D10	Étendue de la plage d'ajustement gauche/droite	Insuffisante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D11	Étendue de la plage d'ajustement avant/arrière	Insuffisante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D12	Étendue de la plage d'ajustement rotation	Insuffisante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dans le cas où vous avez trouvé que l'étendue de la plage d'ajustement était insuffisante, précisez pourquoi :

D10b - plage gauche/droite	D11b -plage avant/arrière	D12b - plage en rotation
<input type="checkbox"/> Ne va pas assez à gauche	<input type="checkbox"/> N'avance pas assez	<input type="checkbox"/> Ne tourne pas assez à gauche
<input type="checkbox"/> Ne va pas assez à droite	<input type="checkbox"/> Ne recule pas assez	<input type="checkbox"/> Ne tourne pas assez à droite

D13 Précisez dans quelles circonstances la (les) plage(s) d'ajustement est (sont) insuffisante(s) (ex. en position pour conduire en PA, en CM, conduite avec appuie-fesses)

D14 Comment évaluez-vous globalement les possibilités d'ajustement de la position de ce prototype de siège par rapport à celles du strapontin MR-73 ?

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
- Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
- Équivalent (au strapontin MR-73)
- Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)
- Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

Inclinaison du dossier

Évaluez les caractéristiques de l'ajustement de l'inclinaison du dossier en cochant la case correspondant le mieux à votre réponse.

			-3	-2	-1	Juste parfait
D15	Localisation du levier, accès	Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D16	Facilité pour ajuster tel que désiré	Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D17 Dans les tests effectués, avez-vous dû limiter l'inclinaison du dossier en raison de la cloison arrière ou de la poignée de porte?

- Oui
- Non

D18 Si oui, comment était l'angle du dossier durant ces tests?

			-3	-2	-1	Juste parfait
Angle du dossier	Trop droit		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D19 Comment évaluez-vous globalement la possibilité d'ajuster l'angle du dossier de ce prototype de siège par rapport à celles du strapontin MR-73 ?

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
- Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
- Équivalent (que le strapontin MR-73)
- Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)
- Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

D20 Commentaires au sujet des ajustements du siège :

Section E - Commentaires généraux sur le siège

E1 Ce siège présente-t-il selon vous des risques à la sécurité? Lesquels?

E2 Quels sont les points forts de ce siège?

E3 Quels sont les points faibles de ce siège?

Section F - Les modifications à la loge

F1 Utilisez-vous l'ouverture à la base du pupitre permettant de mettre le bout du pied droit (coup-de-pied)?

Si oui, quels en sont les avantages?

Si non, pourquoi?

F2 Avez-vous déjà utilisé l'appuie-pieds?

- Oui
 Non (passez à la question F5)

F3 Si oui, quels en sont les avantages ?

F4 Éprouvez-vous des inconforts ou difficultés lors de l'utilisation de cet appuie-pieds?

- Oui; précisez _____
 Non

F5 L'appuie-pieds est-il accrochant ou vous nuit-il lorsqu'il est en position relevée (i.e. en position pour libérer l'espace lorsqu'il ne sert pas) ?

- Oui; précisez _____
 Non

Section G - Impact des modifications de la loge et du prototype de siège sur la réalisation des tâches habituelles

G1 Globalement, avec cet aménagement de loge et ce siège avez-vous éprouvé des difficultés à effectuer vos tâches habituelles? Expliquez...

Avez-vous éprouvé des difficultés particulières?

G2 Lors de la conduite en PA? Expliquez...

G3 Lors de la conduite en CM? Expliquez...

G4 Reliées à la vision dans les miroirs? Expliquez...

G5 Reliée à la vision à l'avant? Expliquez...

G6 Reliée à la vision sur le pupitre (visualisateur, autres témoins lumineux)?
Expliquez...

G7 Reliée à l'atteinte des commandes? Expliquez...

G8 Pour circuler dans la loge? Expliquez...

G9 Afin de vous relever rapidement en cas d'urgence? Expliquez...

G10 Pour ouvrir la porte intercommunicante? Expliquez...

G11 Lors d'autres tâches habituelles tel que le garage et le dégarage, la préparation de train, la gestion d'incident? Expliquez...

Section H - Évaluation globale**H1 Globalement, diriez-vous que le prototype de siège est :**

- Beaucoup mieux (que le strapontin MR-73)
- Un peu mieux (que le strapontin MR-73)
- Équivalent (au strapontin MR-73)
- Un peu moins bon (que le strapontin MR-73)
- Beaucoup moins bon (que le strapontin MR-73)

H2 Autres commentaires :

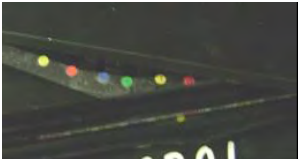

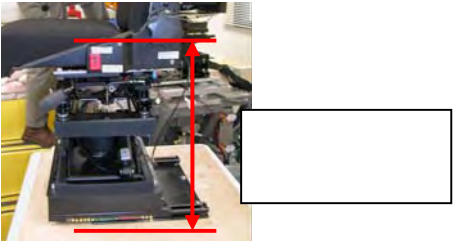
Merci d'avoir répondu à ce questionnaire

Formulaire de recension de la position – Prototype

Code : _____

Date : _____

- Pilotage Automatique (PA)**
- Conduite Manuelle (CM)**

<h3 style="margin: 0;">Ajustement latéral</h3> <p>Repère avant</p> <table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">0</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">2</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">3</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">4</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">5</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">6</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">7</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">8</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">9</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">10</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">11</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">12</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">13</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">14</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">15</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">16</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">17</td> </tr> </table> <p style="display: flex; justify-content: space-between; margin: 0;"> Siège à gauche Siège à droite </p> <p>Repère arrière</p> <table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">17</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">16</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">15</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">14</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">13</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">12</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">11</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">10</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">9</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">8</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">7</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">6</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">5</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">4</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">3</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">2</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">0</td> </tr> </table> <p style="display: flex; justify-content: space-between; margin: 0;"> Siège à droite Siège à gauche </p>		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																				
17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																				
<h3 style="margin: 0;">Ajustement avant/arrière</h3> <table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-2</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">0</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">2</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">3</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">4</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">5</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">6</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">7</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">8</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">9</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">10</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">11</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">12</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">13</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">14</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">15</td> </tr> </table> <p style="display: flex; justify-content: space-between; margin: 0;"> Siège reculé Siège avancé </p>		-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																		
-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																				
<h3 style="margin: 0;">Rotation</h3>  <table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-4</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-3</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-2</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">-1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">0</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">2</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">3</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">4</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;">5</td> </tr> </table> <p style="display: flex; justify-content: space-between; margin: 0;"> Gauche Droite </p>	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	<h3 style="margin: 0;">Angle dossier</h3>  <p style="margin-top: 10px;">0 5 10 15 20</p>																									
-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5																											
<h3 style="margin: 0;">Hauteur de l'assise</h3> 	<h3 style="margin: 0;">Vision</h3> <p>Distance de vision à l'avant : ____</p> <p>Position des yeux</p> <p>Distance yeux/cloison arrière : _____</p> <p>Distance yeux/sol : _____</p> <p>Distance yeux/ coin de cloisons : _____</p>																																				

<p>Position hanche gauche</p> <p>Distance approx. du centre de rotation de la hanche gauche p/r à la cloison arrière.</p> <p>_____</p>	<p>Prendre des photos</p>
---	----------------------------------

Dans cette position...

Vos genoux touchent-ils au pupitre?

- Oui, gauche et/ou droit
 Non

Votre dos est-il appuyé?

- Oui, tout le dos
 Oui, le bas du dos seulement
 Non

Les commandes habituelles (arrêt d'urgence, bouton de départ, manipulateur, autre) et le téléphone sont-ils facilement accessibles?

- Oui
 Non, précisez _____

(Pour la conduite en CM seulement) Pouvez-vous voir facilement le visualisateur ?

- Oui
 Non, précisez _____

La porte inter communicante peut-elle s'ouvrir sans contrainte ?

- Oui
 Non

Pouvez-vous vous lever rapidement sans déplacer le siège?

- Oui
 Non, précisez les étapes nécessaires pour vous relever _____

Pouvez-vous circuler dans la loge en laissant le siège dans la position choisie (relever l'assise seulement) ?

- Oui
 Non

Questions à ne poser qu'après avoir testé les deux positions de conduite (PA,CM) pour le prototype de siège seulement.

Placer le siège dans sa position la plus reculée et la moins encombrante dans la loge et relever l'assise.

Circulation dans la loge

L'espace disponible pour circuler dans la loge est-il suffisant lorsque le siège est dans cette position?

- Oui
- Non

Commentaires

Autres tâches

En révisant et en simulant les étapes nécessaires pour faire les tâches suivantes

Ce siège amène-t-il des changements dans votre façon habituelle pour accomplir certaines tâches?

	Changement dans les façons de faire habituelles?	Commentaires
Gérer les incidents techniques	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Gérer les incidents humains	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Faire la préparation de train	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Non applicable	
Garer/dégarrer	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Non applicable	
Faire les retournements	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Non applicable	
Faire l'accouplement/ le découplément	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Non applicable	
Autre, _____	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	

Expliquez. _____

Appuie-fesses

Avez-vous essayé l'appuie-fesses de ce prototype de siège?

- Oui, durée approximative _____
 Non

Si oui, pouvez-vous décrire le niveau d'inconfort ressenti?

- 0 Aucun inconfort
- 1 Minimal
- 2 Léger (l'inconfort est présent mais je peux l'ignorer)
- 3 Modéré (l'inconfort affecte ma capacité de travail et de concentration)
- 4 Sévère
- 6 Intolérable (l'inconfort rend presque impossible l'accomplissement de mes activités de travail)

Pensez-vous utiliser cet appuie-fesses?

- Oui, régulièrement (à tous les jours)
 Oui, à l'occasion
 Non, précisez pourquoi _____

Commentaires sur l'appuie-fesses :

Code : _____

Date : _____

- Pilotage Automatique (PA)
- Conduite Manuelle (CM)

<p>Ajustement avant arrière</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Le plus reculé <input type="checkbox"/> Intermédiaire <input type="checkbox"/> Le plus avancé 	<p>Hauteur de l'assise</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Le plus haut <input type="checkbox"/> Intermédiaire <input type="checkbox"/> Le plus bas
<p>Vision</p> <p>Distance de vision à l'avant : _____</p> <p>Position des yeux</p> <p>Distance yeux/cloison arrière : _____</p> <p>Distance yeux/sol : _____</p> <p>Distance yeux/ coin de cloisons : _____</p> <p>Hanche gauche</p> <p>Distance approx. du centre de rotation de la hanche gauche p/r à la cloison arrière.</p> <p>_____</p>	<p>Utilisation d'une cale pour l'assise :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <p style="text-align: center;"><u>Prendre des photos</u></p>

Dans cette position...

Vos genoux touchent-ils au pupitre?

- Oui, gauche et/ou droit
- Non

Votre dos est-il appuyé?

- Oui, tout le dos
- Oui, le bas du dos seulement
- Non

Les commandes habituelles (arrêt d'urgence, bouton de départ, manipulateur, autre) et le téléphone sont-ils facilement accessibles?

- Oui
- Non, précisez _____

(Pour la conduite en CM seulement) Pouvez-vous voir facilement le visualisateur ?

- Oui
- Non, précisez _____

Pouvez-vous vous lever rapidement sans déplacer le siège?

- Oui
 Non, précisez les étapes nécessaires pour vous relever _____

Circulation dans la loge

L'espace disponible pour circuler dans la loge est-il suffisant lorsque le siège est dans cette position?

- Oui
 Non

Commentaires

ANNEXE B : CARACTÉRISTIQUES ANTHROPOMÉTRIQUES DES OPÉRATEURS AYANT PARTICIPÉ AUX ESSAIS

Tableau B1 : Caractéristiques des sujets ayant participé aux différentes étapes d'essais

Phase d'essai	Maquette grandeur réelle	Simulateur de vibration ^a / essai statique	Essai sommaire en situation réelle	Essais en situation réelle
Nombre et sexe des sujets	12 5 f - 7 h	11 3 f - 8 h	5 1 f - 4 h	19 4 f - 15 h
Âge moyen (écart-type)	47,7 (7,2)	47,7 (8,1)	49,4 (5,3)	48,5 (7,7)
Taille mètre				
Min	1,50	1,55	1,62	1,57
Max	1,91	1,91	1,91	1,88
Médiane	1,73	1,74 (1,71 incl chercheurs) ^a	1,75	1,78
Poids kg				
Min	57	54 (51 incl chercheurs) ^a	57	57
Max	126	130	126	125
Médiane	81	83 (78 incl. chercheurs) ^a	82	86

a. Trois chercheurs ont participé aux tests sur le simulateur de vibration seulement, afin de compenser pour le manque d'opérateurs de petit poids et de poids médian.

Tableau B2 : Distribution de la taille et du poids de la population d'opérateurs de métro (hommes et femmes confondus). Données de l'enquête par questionnaire réalisée dans le cadre de l'étude de Bellemare et coll. (2005).

Rang centile	Taille	Poids
5e	1,60 m (5'3")	58 kg (128 lbs)
25e	1,70 (5'7")	73,6 kg (162 lbs)
50e	1,73 m (5'8")	81 kg (180 lbs)
75e	1,78m (5'10")	91,8 kg (202 lbs)
95e	1,83 m (6'0")	107 kg (235 lbs)

ANNEXE C : CRITÈRES ÉNONCÉS DANS L'APPEL D'INTÉRÊT ET CARACTÉRISTIQUES DU PROTOTYPE FINAL

- Principes directeurs guidant les fournisseurs lors de l'appel d'intérêt.
- Tableau des dimensions approximatives et des caractéristiques du prototype de siège :
Critères recherchés lors de l'appel d'intérêt (colonne 3),
Caractéristiques du prototype final (colonne 4),
Suggestion d'amélioration au prototype final (colonne 5).

DÉFINITION DES CRITÈRES POUR LE CHOIX D'UN SIÈGE POUR LES LOGES MR-73

Principes directeurs

Nous sommes à la recherche d'un siège existant répondant le mieux possible aux différents critères définis dans ce document.

Le siège doit être compact car il sera installé dans un espace très restreint.

Le changement fréquent d'opérateurs au poste de conduite (à chaque 20 minutes) nécessite une très grande facilité d'ajustement du siège en réduisant au minimum le nombre de manipulations requises pour ajuster le siège.

Le siège doit pouvoir convenir à une population d'opérateurs de taille et de corpulence variées (50 à 130 kg; 1,52 m à 1,88 m)

L'assise du siège doit pouvoir se rabattre ou se relever afin de libérer l'espace pour circuler dans la loge.

Le siège doit pouvoir s'ajuster en hauteur, latéralement, d'avant à l'arrière et pivoter pour permettre de le placer selon les préférences des opérateurs et selon les deux modes de conduite (automatique et manuel).

L'épaisseur du dossier doit être la plus réduite possible car les opérateurs doivent pouvoir s'asseoir dans la position la plus reculée possible dans la loge.

Le siège doit être autonome du train c'est-à-dire ne pas nécessiter par exemple d'alimentation électrique ou pneumatique en provenance du train.

Le siège doit amortir les vibrations caractéristiques du métro.

Le siège doit être robuste et facile d'entretien.

Les tableaux suivants listent de façon plus détaillée les principales caractéristiques recherchées pour le siège.

Veillez s'il vous plaît indiquer dans la quatrième colonne de ces tableaux les caractéristiques du siège existant que vous proposez.

Dans le cas où le siège proposé ne rencontre pas le critère, veuillez préciser dans la cinquième colonne quelles modifications peuvent être apportées au siège afin de le rendre conforme à la caractéristique recherchée.

Principales caractéristiques ergonomiques et dimensions du siège

	Caractéristique du siège	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique recherchée dans l'appel d'intérêt	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique du prototype final (v3)	Améliorations suggérées au prototype final
1	Assise – Longueur (à partir du plan du dossier) (figure 1)	40 ^(15,7)	36 cm ⁽¹⁴⁾ (partie du coussin) 40 ^(15,7) jusqu'au dossier et passé le bourrelet avant	
2	Assise – Largeur (figure 1)	43 ^(16,9)	37 ^(14,5)	Élargir de 2,5 à 4 cm sans affecter la largeur hors-tout. Arrondir le devant de l'assise pour faciliter la sortie du siège.
3	Assise – Repliable (figures 3 et 4)	Assise qui se replie vers le haut ou vers le bas pour rendre le siège le plus compact possible lorsque non utilisé.	Oui, vers le haut	Installer un mécanisme qui permet d'empêcher l'assise de retomber facilement lorsque relevée.
4	Dossier – Hauteur (à partir du plan de l'assise; voir figure) (figure 1)	52 ^(20,5)	54 ⁽²¹⁾	
5	Dossier - Épaisseur (épaisseur du point le plus en arrière du siège, jusqu'au plan avant du dossier) (permettre aux opérateurs de s'asseoir dans la position la plus reculée possible; figures 2 et 6)	Le minimum (éviter tout encombrement supplémentaire derrière le dossier telles des manettes)	7 ^(2,8)	
6	Dossier – Angle	Angle du dossier ajustable	Oui, de façon continue	
7	Assise et dossier - Moulage	Coussin dont le moulage n'est pas accentué pour répondre tant aux personnes de grand que de faible gabarit	Ok	
8	Assise et dossier – Matériel de recouvrement	a) Matériau confortable, n'absorbant pas la transpiration. (pas de vinyle ni de cuirette) b) Non glissant. c) Facile à entretenir.	Oui	
9	Appuis-bras	Escamotables	Pas d'appuie-bras – critère retiré suite à une décision du groupe de travail.	Explorer la possibilité de mettre des appuie-bras pour stabiliser la posture latéralement?

	Caractéristique du siège	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique recherchée dans l'appel d'intérêt	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique du prototype final (v3)	Améliorations suggérées au prototype final
10	Dimension hors tout - Avant arrière (assise déployée pour s'asseoir) (figure 2)	≤ 52 ^(20,5) .	56 cm lorsque l'angle du dossier est de 10 degrés	
11	Dimension hors tout - Avant-arrière, lorsque l'assise est repliée vers le bas ou vers le dossier (figures 3 et 4)	Le minimum (34 max ^(13,4))	30,5 ⁽¹²⁾ à la suspension (34,5 ⁽¹⁴⁾ incluant la jupe) 38 ⁽¹⁵⁾ à la base	Réduire la jupe de suspension.
12	Dimension hors tout - Largeur (pour libérer la porte intercommunicante) (figure 1)	≤ 53 ^(21,0)	51 ⁽²⁰⁾ des boulons à droite jusqu'au protecteur métallique du bouton pour l'ajustement en hauteur.	
13	Plage d'ajustement - Hauteur	10 ^(3,9)	Hauteur du plan de l'assise ajustable en continu (1 cm sous ce plan) : - 40 ^(15,7) totalement dégonflé - 55 ^(21,6) totalement gonflé - Plage optimale de la suspension : 43 ⁽¹⁷⁾ à 52 ^(20,5) - 45,5 ⁽¹⁸⁾ lorsqu'on bloque la suspension en mettant la cale métallique. Plage d'ajustement utile : 9 ^(3,5) Hauteur de la rehausse : 5,5 ^(2,2)	
14	Plage d'ajustement - Avant-arrière (cette plage est donnée en considérant que l'axe des hanches se situe au-dessus du point de rotation du siège) (figures 5 et 6)	21 ^(8,3)	Pour s'asseoir, le siège dispose de 16 cm ^(6,3) d'ajustement (dossier à 0 degrés lorsque le siège est au plus reculé). On peut considérer un centimètre supplémentaire pour reculer le siège sur la cloison arrière (position non utilisable assis).	
15	Plage d'ajustement - Latérale (cette plage est donnée en considérant que l'axe des hanches se situe au-dessus du point de rotation du siège) (figures 5 et 6)	41 ^(16,1)	18 ⁽⁷⁾ . Lorsque le siège est complètement à gauche, il est centré avec l'ouverture du pupitre. Le siège peut être rapproché du manipulateur qui se trouve à droite.	Prendre un rail de 21 cm ^(8,3) comme dans le prototype v2 si standard et si n'occasionne pas de problème.

	Caractéristique du siège	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique recherchée dans l'appel d'intérêt	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique du prototype final (v3)	Améliorations suggérées au prototype final
16	Plage d'ajustement - Rotation (cette plage est donnée en considérant que l'axe des hanches se situe au-dessus du point de rotation du siège)	Rotation vers la droite et vers la gauche	11 coches en tout permettant d'ajuster le siège jusqu'à 40 degrés vers la droite et 40 degrés vers la gauche (8 degrés par coche).	Pour accommoder les opérateurs de grande taille : ajouter environ 3 crans de rotation (24 degrés) de chaque côté.
17	Emplacement de la base du siège ou position de repli du siège (figures 4, 5a, 6)	La base du siège doit se situer dans la zone occupée par le siège lorsque celui-ci est placé le plus près possible de la cloison arrière et centré sur cette cloison.	Oui. La base du siège est boulonnée à l'emplacement actuel du strapontin MR-73.	
18	Système d'ajustement du siège – source d'énergie	Autonome/ indépendant du train : par exemple, l'ajustement en hauteur ne doit pas dépendre d'alimentation électrique ou pneumatique provenant du train.	Non – dépend de l'alimentation électrique du train. Une évaluation faite par l'ingénierie et l'entretien a permis de considérer l'installation d'un compresseur.	
19	Système d'ajustement du siège – facilité et rapidité d'utilisation	a) Facile à ajuster : accès facile, identification facile de l'action des manettes ou boutons, exige très peu d'effort. (note : la cloison du côté droit du siège mesure 20 cm ou 7,9 po; les manettes ne doivent pas se situer dans cette zone; figure 5a) b) Rapide : minimise le nombre de leviers ou de boutons pour ajuster le siège	Un seul ajustement pour la hauteur du siège et de la suspension. Bouton à bascule, lorsque l'opérateur appuie sur la partie du haut, le siège monte; le siège baisse lorsque l'opérateur appuie sur la partie du bas. Une seule poignée pour ajuster la position latérale, avant-arrière et en rotation du siège. S'actionne en poussant la poignée vers le sol. Poignée-roulette pour ajuster le dossier du siège. Ces ajustements sont facilement accessibles et faciles et rapides à ajuster.	Ajouter une indication de la hauteur du siège pour favoriser un ajustement de la suspension dans la plage la plus optimale. (Voir le point #23, concernant l'ajout possible d'un ajustement en hauteur indépendant de la suspension).

	Caractéristique du siège	Dimension en cm <small>(pouces)</small> ou caractéristique recherchée dans l'appel d'intérêt	Dimension en cm <small>(pouces)</small> ou caractéristique du prototype final (v3)	Améliorations suggérées au prototype final
20	<i>Sécurité</i>	Le siège ne doit pas comporter d'arêtes, de parties accrochantes ou saillantes, etc. susceptibles d'occasionner des blessures	Les principaux risques résiduels sont les heurts et les coincements entre le siège et les cloisons de loge lors de l'ajustement de la position du siège.	Des protections en néoprène seront fixées aux sections appropriées des cloisons pour réduire les possibilités de blessures. Formation : attention de ne pas mettre les mains derrière le dossier ou sur le côté droit de l'assise lors de l'ajustement du siège, ajuster le siège à l'arrêt du train.

	Caractéristique du siège n'apparaissant pas dans l'appel d'intérêt	Dimension en cm (pouces) ou caractéristique du prototype final (v3b)	Améliorations suggérées au prototype final
*	<i>Appuie-fesses</i>	En relevant l'assise, le siège se transforme en appuie-fesses (ajustable en hauteur au moyen de la suspension).	
*	<i>Angle de l'assise (non compressée)</i>	11 degrés. Réglage du dossier a un léger effet sur l'angle de l'assise.	Permettre l'ajustement de l'angle selon les besoins des opérateurs, ex : 7 degrés, 11 degrés, 13 degrés – à vérifier lors d'essais à plus long terme. Éliminer l'interférence entre le dossier et l'assise.
*	<i>Rembourrage de l'assise</i>		Modifier le rembourrage du coussin de l'avant de l'assise qui est probablement de plus forte densité et cause des pressions sous les cuisses
*	<i>Support métallique de l'assise</i>		Modifier le support métallique de chaque côté de l'assise car il entre en contact avec les cuisses.
*	<i>Jupe de suspension</i>		Réduire l'encombrement de la jupe de suspension (pour ouvrir la porte et libérer un peu d'espace sous le siège).

Caractéristiques d'atténuation des vibrations

	Caractéristique du siège	Caractéristique recherchée dans l' <u>appel d'intérêt</u>	Caractéristiques du <u>prototype final (v3b)</u>	Améliorations suggérées au prototype final
21	<i>Siège/suspension - Fréquence naturelle</i>	≤ 1,7 Hz	Oui – 1,5 Hz (à mi-course)	
22	<i>Siège/suspension – Amortissement</i>	Atténuation maximale à la fréquence de 6 Hz	Oui (le siège ne comporte pas d'amortisseur)	
23	<i>Suspension - Ajustement selon le poids</i>	Ajustement selon le poids de l'opérateur : de 50 kg à 130 kg et plus (110 lbs à 286 lbs)	Les ajustements de la suspension et de la hauteur du siège sont dépendants. La suspension convient bien à la population d'opérateurs. Cependant, les opérateurs de faible poids profitent moins de l'effet d'atténuation du siège.	Lorsque possible, favoriser l'ajustement de la suspension le plus près possible de la mi-course en ajoutant un repère indiquant la position mi-course. Faire des essais à plus long terme. Dans le cas où des inconforts persistent lorsque la suspension n'est pas ajustée à mi-course : ajouter, un ajustement en hauteur indépendant de la suspension, jumelé, si possible à un mécanisme permettant l'ajustement automatique de la suspension à mi-course.
24	<i>Suspension - Débattement</i> (mouvement de haut en bas)	≤ 150 mm (5,9 po.)	Ok. De la butée inférieure à la butée supérieure : 15 _(5,9) .	
25	<i>Suspension – principe de fonctionnement et d'ajustement</i>	Autonome/ indépendant du train (ex. ne dépend pas de l'alimentation électrique ou pneumatique du train).	Voir le point 18.	

Caractéristiques de résistance mécanique, de résistance au feu, d'entretien et d'approvisionnement

	Caractéristique du siège	Caractéristique recherchée dans l'appel d'intérêt	Caractéristiques du prototype final (v3b)	Améliorations suggérées au prototype final
26	Installation et entretien – dimension du siège	Le siège doit passer par une porte de 48 cm (19 po) de largeur et de 195 cm (77 po) de hauteur (porte de loge coulissante). Si le siège ne peut entrer dans la loge en un seul bloc, il doit pouvoir se monter et se démonter facilement et en un nombre minimum de pièces	Le siège complet passe sans problème par la porte intercommunicante.	
27	Installation et entretien – facilité et rapidité de remplacement de l'assise et du dossier	Démontage facile et rapide de l'assise et du dossier pour les remplacer		
28	Installation et entretien – maniabilité du siège	Siège facilement maniable; il doit pouvoir être manipulé par une seule personne	Le siège complet pèse environ 65 kg (143 lbs)	Évaluer la possibilité de défaire rapidement le siège en plusieurs segments moins lourds.
29	Système d'ajustement du siège – Spécification et robustesse	a) Les mécanismes sont obtenus par des systèmes à pignons et crémaillères ou tous autres systèmes approuvés de la STM avec manettes permettant le blocage à toute position des plages d'ajustement spécifiées. b) Les pièces composantes des ensembles assurant les ajustements de hauteur, d'avance et d'inclinaison sont conçues et exécutées selon des tolérances dimensionnelles suffisamment serrées pour limiter les débattements et basculements, dans toutes directions, des rebords du plan d'assise à 1/8 po. c) Tout pivot et axe sont montés sur palier auto		

	Caractéristique du siège	Caractéristique recherchée dans l'appel d'intérêt	Caractéristiques du prototype final (v3b)	Améliorations suggérées au prototype final
		lubrifié en permanence.		
30	Structure du siège – résistance mécanique	<p>La structure du siège est construite d'acier ou d'un autre alliage équivalent et rencontre les exigences de résistance mécanique suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. une charge verticale uniformément distribuée de 159 kg (350 lb) appliquée sur le rebord avant du plan d'assise b. une charge horizontale de 114 kg (250 lb) appliquée sur le rebord avant du plan d'assise orientée dans toutes les directions mais une seule à la fois ; c. une charge horizontale uniformément distribuée de 68 kg (150 lb) appliquée sur le rebord supérieure du dossier en direction arrière ; d. une charge verticale uniformément distribuée de 68 kg (150 lb) appliquée successivement sur chacun des appuie-bras. 		
31	Recouvrement et rembourrage - Résistance au feu	Les matières utilisées doivent rencontrer les normes de comportement au feu tel que spécifié au document AT-M-75-300129 ci-joint.		
32	Disponibilité des pièces	Toutes les pièces doivent être disponibles facilement pour une durée minimale de 15 ans		

**ANNEXE D : COMPILATION DES QUESTIONS POSÉES AUX
OPÉRATEURS RELATIVEMENT AUX VIBRATIONS ET À LA
DYNAMIQUE DU SIÈGE**

Tableau D1 : Questions ayant permis de recueillir des informations quant à la suspension et aux vibrations.

Question	Type de réponse
<i>Après chaque interstation parcourue durant la conduite (annexe A, p.3):</i> Avez-vous été incommodé par les vibrations (douleurs/inconforts) durant le parcours? Si oui, dans quelle direction les vibrations se sont-elles surtout manifestées?	Choix multiples
<i>Après avoir évalué l'inconfort global et à chaque région corporelle (annexe A; p.9; question C1) :</i> Encerclez sur les photos suivantes les parties du siège pouvant être à l'origine de certains de vos douleurs/inconforts	Semi-fermée
Comment évaluez-vous globalement la suspension de ce prototype de siège? (fermeté, souplesse) (annexe A; p. 11; question C11)	Choix multiples
Les mouvements verticaux (haut en bas) du siège, générés par la suspension ont-ils nui à l'exécution de vos tâches? (annexe A; p. 11; question C13)	Ouvverte
Comment évaluez-vous la capacité d'atténuer les vibrations de ce prototype de siège par rapport à celle du strapontin MR-73? (annexe A; p. 11; question C14)	Choix multiples
Commentaire au sujet de la suspension? (annexe A; p. 11)	Ouvverte
Points forts du siège? (annexe A; p. 14; question E2)	Ouvverte
Points faibles de ce siège? (annexe A; p. 14; question E3)	Ouvverte
Globalement, avec cet aménagement de loge et ce siège, avez-vous éprouvé des difficultés à effectuer vos tâches habituelles? Expliquez. (annexe A; p. 16; question G1)	Ouvverte
Avez-vous éprouvé des difficultés particulières lors de la conduite en CM? (annexe A; p. 16; question G2)	Ouvverte

ANNEXE E : PERCEPTION DES OPÉRATEURS QUANT AUX VIBRATIONS ET À LA SUSPENSION

- Tableau E1 : Nombre d'opérateurs ayant ressenti des inconforts liés aux vibrations durant le parcours en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension et de l'évaluation globale de la suspension.
- Tableau E2 : Distribution des opérateurs ayant été incommodés par les vibrations durant le parcours, selon leur poids

Tableau E1: Nombre d'opérateurs ayant été incommodés par les vibrations durant le parcours en fonction de la hauteur d'ajustement de la suspension et de l'évaluation globale de la suspension

Hauteur de la suspension		limite inf.		bas		centré			haut		limite sup.	Total
Évaluation globale de la suspension : -2, -1 trop souple ; 0 juste parfaite ; 1, 2 trop ferme.		-1	0	-2	-1	-1	0	1	-1	0	0	
Opérateurs Incommodés par les vibrations, % approx des interstations	0%	1	1		1	1	4	1	1	1	3	14
	15%						1					1
	35%		3									3
	55%			1								1
Total		1	4	1	1	1	5	1	1	1	3	19

Tableau E2 : Distribution des opérateurs ayant été incommodés par les vibrations durant le parcours, selon leur poids

		Opérateurs Incommodés par les vibrations, % approx des interstations				Total
		0%	15%	35%	55%	
Catégorie de poids (kg) de l'opérateur	60 et moins	1				1
	60-70	2		1		3
	70-80	3			1	4
	80-90	3				3
	90-100	4	1	1		6
	100-110	1				1
	plus de 110			1		1
Total		14	1	3	1	19

ANNEXE F : DÉTAIL DES RÉSULTATS VIBRATOIRES OBTENUS EN SITUATION RÉELLE

Légende par rapport aux tableaux

Berri : Station Berri-Uqam

Île : Station Jean-Drapeau

Long : Station Longueuil Université de Sherbrooke

T : Mesures effectuées en tête de train

Q : Mesures effectuées en queue de train

Tableau F1 : Résultats détaillés pour l'opérateur 1

Opérateur 1 (68kg)										
Essai	Direction		CoussinX a _w (m/s ²)	CoussinY a _w (m/s ²)	CoussinZ a _w (m/s ²)	PlancherX a _w (m/s ²)	PlancherY a _w (m/s ²)	PlancherZ a _w (m/s ²)	SEATz	Durée (s)
1	Berri→île	T	0,157	0,242	0,476	0,057	0,218	0,476	1,000	164,3
2	île→Long	T	0,178	0,200	0,500	0,060	0,185	0,494	1,012	132,5
3	Long→île	Q	0,132	0,249	0,466	0,065	0,178	0,458	1,017	112,8
4	île→Berri	Q	0,121	0,191	0,406	0,062	0,156	0,421	0,964	180,0
5	Berri→île	T	0,166	0,251	0,492	0,060	0,218	0,499	0,986	152,8
6	île→Long	T	0,208	0,225	0,506	0,065	0,198	0,505	1,002	115,8
7	Long→île	Q	0,130	0,255	0,427	0,062	0,189	0,439	0,973	118,5
8	île→Berri	Q	0,116	0,212	0,423	0,079	0,162	0,434	0,975	162,3
Moyenne			0,151	0,228	0,462	0,064	0,188	0,466	0,991	

Tableau F2 : Résultats détaillés pour l'opérateur 2

Opérateur 2 (64kg)										
Essai	Direction		CoussinX a _w (m/s ²)	CoussinY a _w (m/s ²)	CoussinZ a _w (m/s ²)	PlancherX a _w (m/s ²)	PlancherY a _w (m/s ²)	PlancherZ a _w (m/s ²)	SEATz	Durée (s)
1	Berri→île	T	0,187	0,231	0,454	0,059	0,216	0,510	0,890	153,0
2	île→Long	T	0,124	0,228	0,507	0,063	0,185	0,506	1,002	126,3
3	Long→île	Q	0,126	0,270	0,434	0,070	0,182	0,461	0,941	115,3
4	île→Berri	Q	0,102	0,221	0,420	0,065	0,155	0,418	1,005	176,8
5	Berri→île	T	0,138	0,227	0,493	0,063	0,213	0,512	0,963	150,8
6	île→Long	T	0,141	0,214	0,493	0,064	0,184	0,509	0,969	130,8
7	Long→île	Q	0,117	0,253	0,434	0,057	0,178	0,433	1,002	122,8
8	île→Berri	Q	0,096	0,212	0,422	0,063	0,150	0,418	1,010	191,5
Moyenne			0,129	0,232	0,457	0,063	0,183	0,471	0,973	

Tableau F3. Résultats détaillés pour l'opérateur 3

Opérateur 3 (86kg)										
Essai	Direction		CoussinX a_w (m/s ²)	CoussinY a_w (m/s ²)	CoussinZ a_w (m/s ²)	PlancherX a_w (m/s ²)	PlancherY a_w (m/s ²)	PlancherZ a_w (m/s ²)	SEATz	Durée (s)
1	Berri→île	T	0,096	0,263	0,523	0,060	0,222	0,512	1,021	156,5
2	île→Long	T	0,097	0,211	0,430	0,066	0,169	0,455	0,945	138,5
3	Long→île	Q	0,129	0,230	0,451	0,064	0,169	0,466	0,968	114,5
4	île→Berri	Q	0,097	0,199	0,414	0,062	0,149	0,437	0,947	177,5
5	Berri→île	T	0,095	0,274	0,432	0,062	0,218	0,477	0,906	171,5
6	île→Long	T	0,095	0,223	0,425	0,059	0,170	0,458	0,928	145,8
7	Long→île	Q	0,103	0,247	0,439	0,070	0,187	0,484	0,907	109,3
8	île→Berri	Q	0,091	0,197	0,433	0,066	0,151	0,458	0,945	184,0
Moyenne			0,101	0,231	0,443	0,064	0,179	0,468	0,946	

Tableau F4. Résultats détaillés pour l'opérateur 4

Opérateur 4 (100kg)										
Essai	Direction		CoussinX a_w (m/s ²)	CoussinY a_w (m/s ²)	CoussinZ a_w (m/s ²)	PlancherX a_w (m/s ²)	PlancherY a_w (m/s ²)	PlancherZ a_w (m/s ²)	SEATz	Durée (s)
1	Berri→île	T	0,125	0,260	0,417	0,058	0,221	0,495	0,842	151,5
2	île→Long	T	0,141	0,217	0,429	0,072	0,187	0,501	0,856	123,5
3	Long→île	Q	0,100	0,255	0,394	0,069	0,208	0,465	0,847	115,3
4	île→Berri	Q	0,099	0,201	0,366	0,066	0,160	0,421	0,869	192,3
5	Berri→île	T	0,139	0,250	0,429	0,069	0,225	0,499	0,860	151,8
6	île→Long	T	0,119	0,201	0,423	0,066	0,185	0,506	0,836	133,0
7	Long→île	Q	0,099	0,239	0,385	0,059	0,197	0,436	0,883	113,8
8	île→Berri	Q	0,090	0,181	0,371	0,059	0,148	0,419	0,885	194,5
Moyenne			0,114	0,226	0,402	0,065	0,191	0,468	0,860	

Tableau F5. Résultats détaillés pour l'opérateur 5

Opérateur 5 (98kg)										
Essai	Direction		CoussinX a_w (m/s ²)	CoussinY a_w (m/s ²)	CoussinZ a_w (m/s ²)	PlancherX a_w (m/s ²)	PlancherY a_w (m/s ²)	PlancherZ a_w (m/s ²)	SEATz	Durée (s)
1	Berri→île	T	0,147	0,253	0,451	0,060	0,223	0,524	0,861	135,8
2	île→Long	T	0,155	0,183	0,424	0,066	0,180	0,467	0,908	134,0
3	Long→île	Q	0,113	0,224	0,395	0,067	0,187	0,452	0,874	112,5
4	île→Berri	Q	0,093	0,188	0,365	0,067	0,187	0,416	0,877	179,0
5	Berri→île	T	0,134	0,239	0,432	0,062	0,219	0,505	0,855	155,8
6	île→Long	T	0,132	0,191	0,416	0,059	0,174	0,463	0,898	138,5
7	Long→île	Q	0,098	0,229	0,399	0,063	0,196	0,456	0,875	106,3
8	île→Berri	Q	0,0882	0,186	0,388	0,062	0,154	0,437	0,888	179,8
Moyenne			0,124	0,212	0,409	0,063	0,190	0,465	0,880	

Tableau F6. Résultats détaillés pour l'opérateur 6

Opérateur 6 (77kg)										
Essai	Direction		CoussinX a_w (m/s ²)	CoussinY a_w (m/s ²)	CoussinZ a_w (m/s ²)	PlancherX a_w (m/s ²)	PlancherY a_w (m/s ²)	PlancherZ a_w (m/s ²)	SEATz	Durée (s)
1	Berri→île	T	0,110	0,270	0,472	0,060	0,223	0,501	0,942	155,5
2	île→Long	T	0,132	0,222	0,497	0,066	0,182	0,502	0,990	129,5
Moyenne			0,121	0,246	0,485	0,063	0,203	0,502	0,966	
3	Long→île	Q	0,109	0,255	0,487	0,067	0,181	0,462	1,054	113,5
4	île→Berri	Q	0,103	0,226	0,477	0,063	0,157	0,449	1,062	178,8
5	Berri→île	T	0,111	0,266	0,563	0,066	0,219	0,493	1,142	155,0
6	île→Long	T	0,112	0,219	0,562	0,066	0,178	0,500	1,124	133,0
Moyenne			0,112	0,243	0,563	0,066	0,199	0,497	1,096	
7	Long→île	Q	0,122	0,250	0,426	0,066	0,180	0,459	0,928	110,8
8	île→Berri	Q	0,112	0,202	0,394	0,066	0,156	0,428	0,921	180,3
Moyenne			0,117	0,226	0,410	0,066	0,168	0,444	0,924	
9	Bloquée	T	0,161	0,286	0,640	0,063	0,231	0,505	1,267	
10	Bloquée	T	0,141	0,237	0,608	0,066	0,185	0,488	1,246	
Moyenne			0,151	0,262	0,624	0,065	0,208	0,497	1,257	

Essai 1- 2 : Position initiale de l'assise

Essai 3-6 : Élévation de la position de l'assise (gonfle la suspension)

Essai 7-8 : Abaissement la position de l'assise (dégonfle la suspension)

Essai 9-10 : Suspension bloquée

**ANNEXE G : SPECTRES VIBRATOIRES AU PLANCHER ET À
L'ASSISE POUR CHACUNE DES INTERSTATIONS**

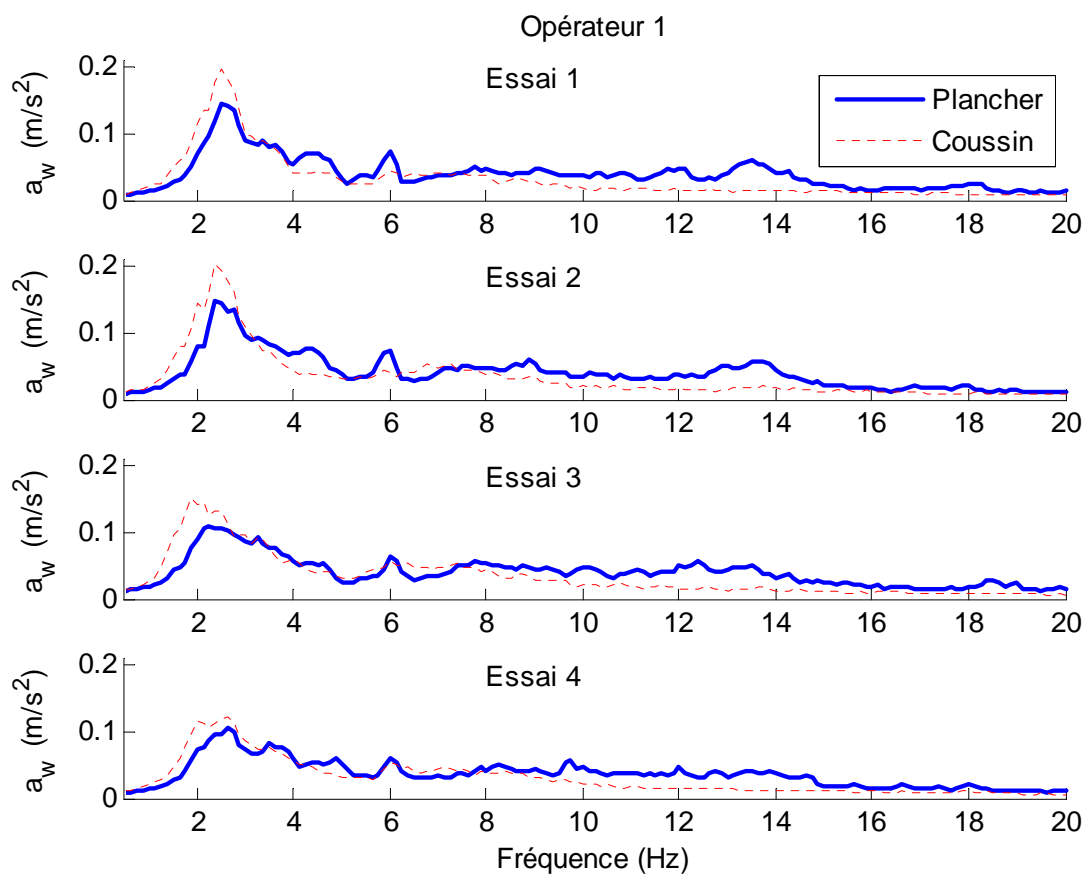


Figure G1. Opérateur 1, essais 1 à 4

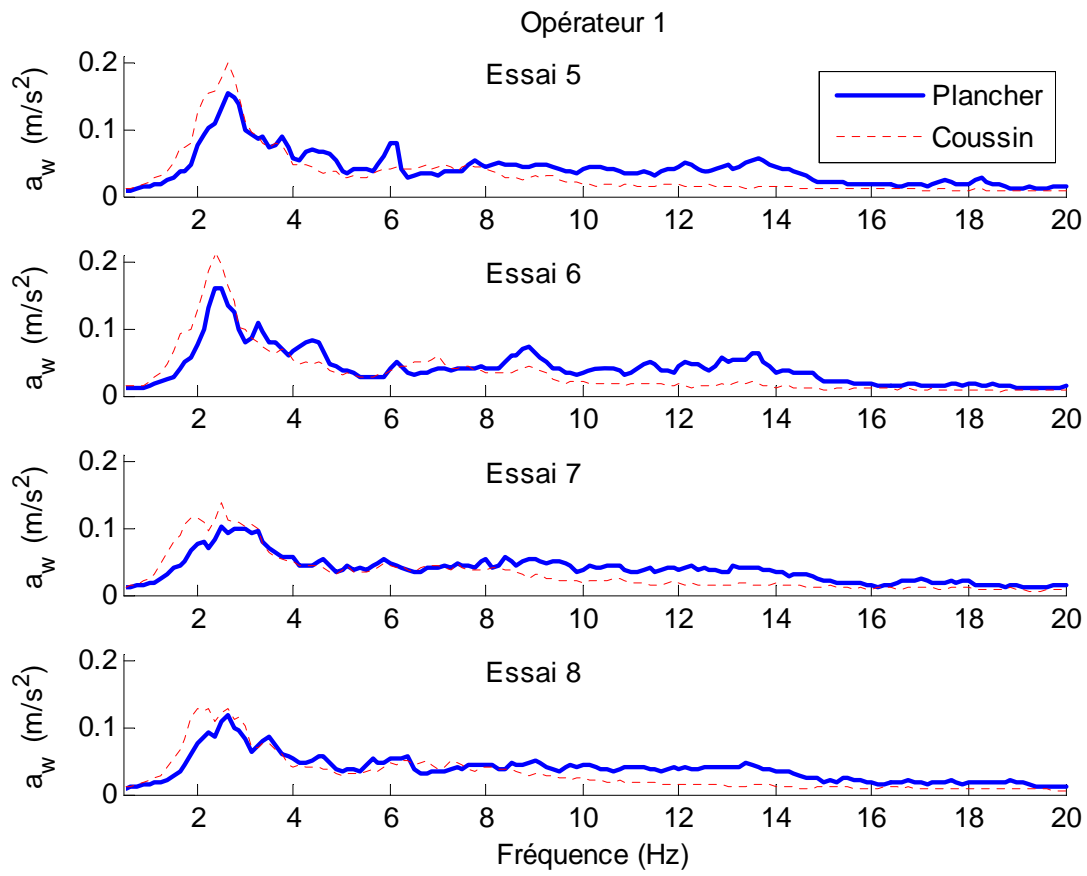


Figure G2. Opérateur 1, essais 5 à 8

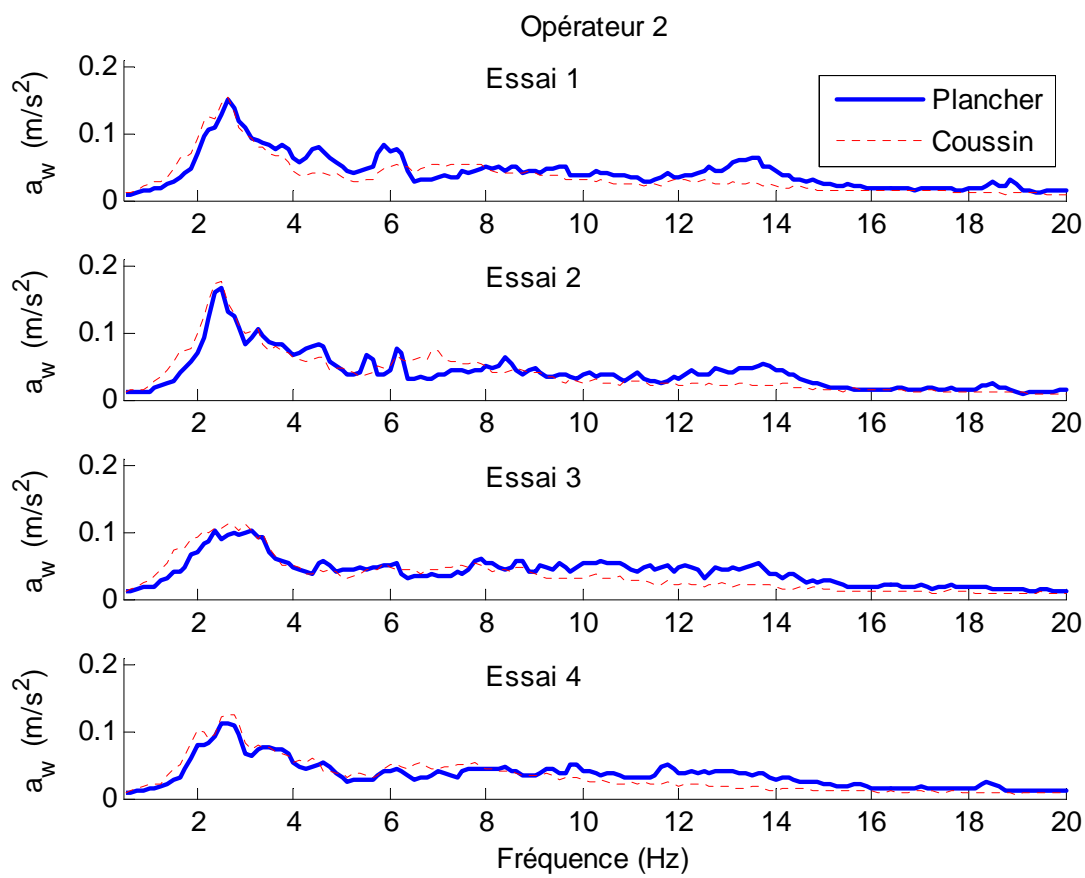


Figure G3. Opérateur 2, essais 1 à 4

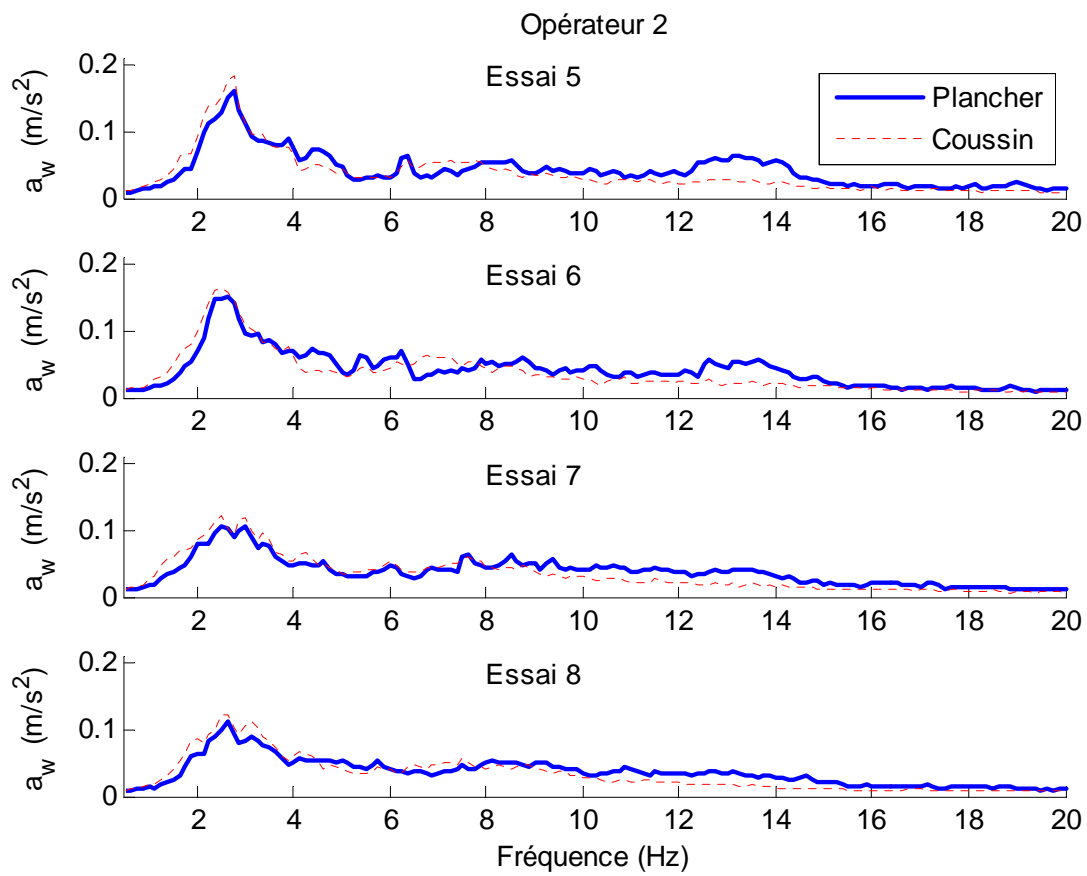


Figure G4. Opérateur 2, essais 5 à 8

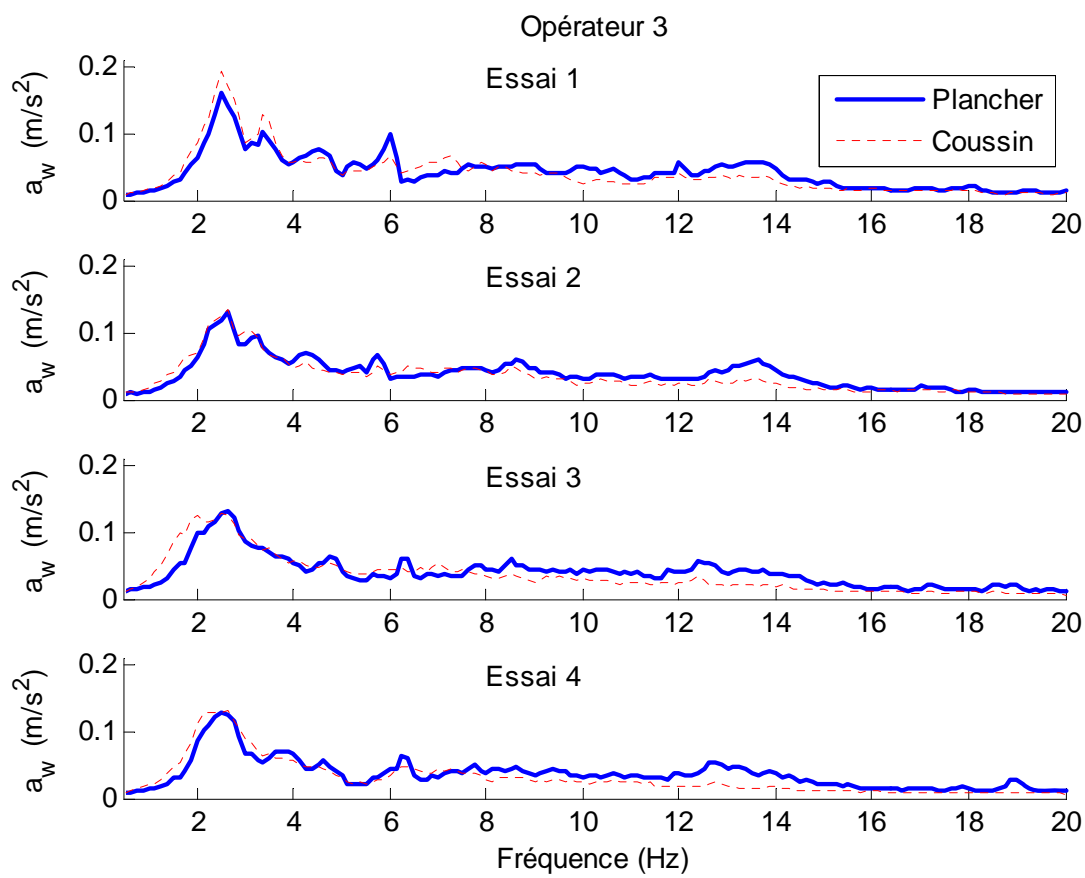


Figure G5. Opérateur 3, essais 1 à 4

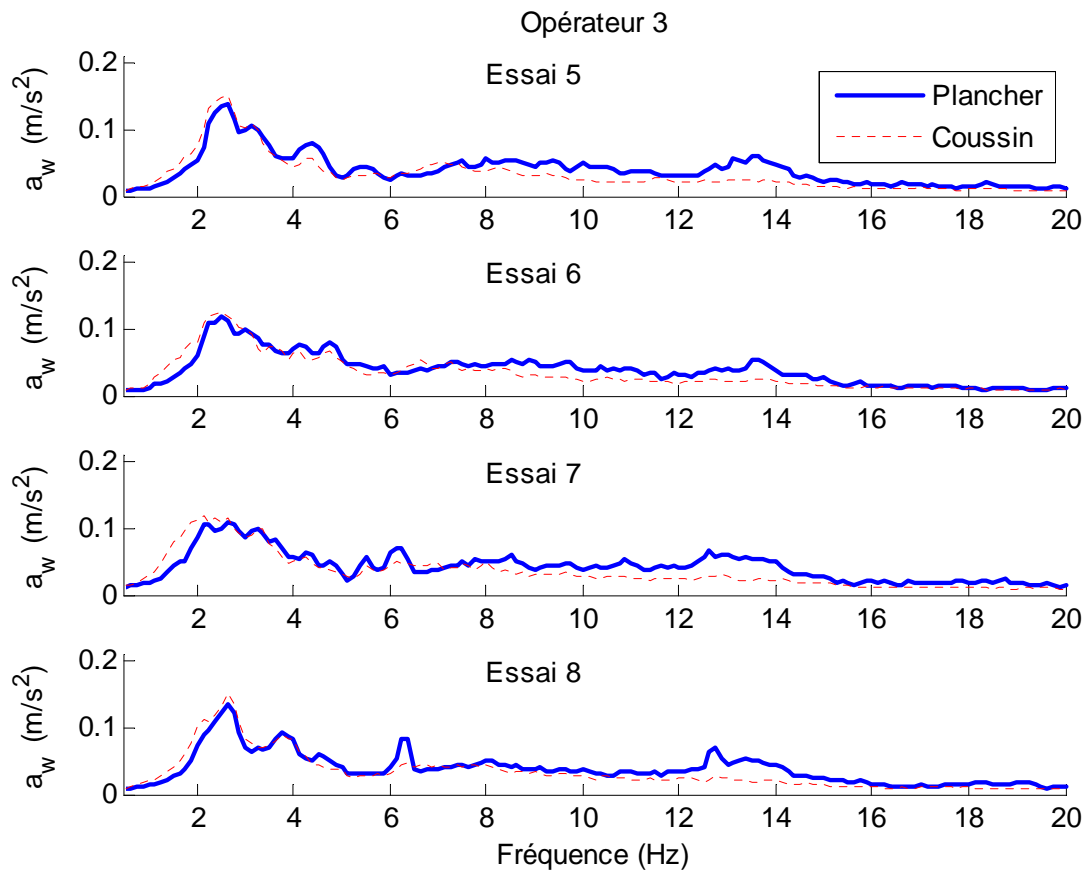


Figure G6. Opérateur 3, essais 5 à 8

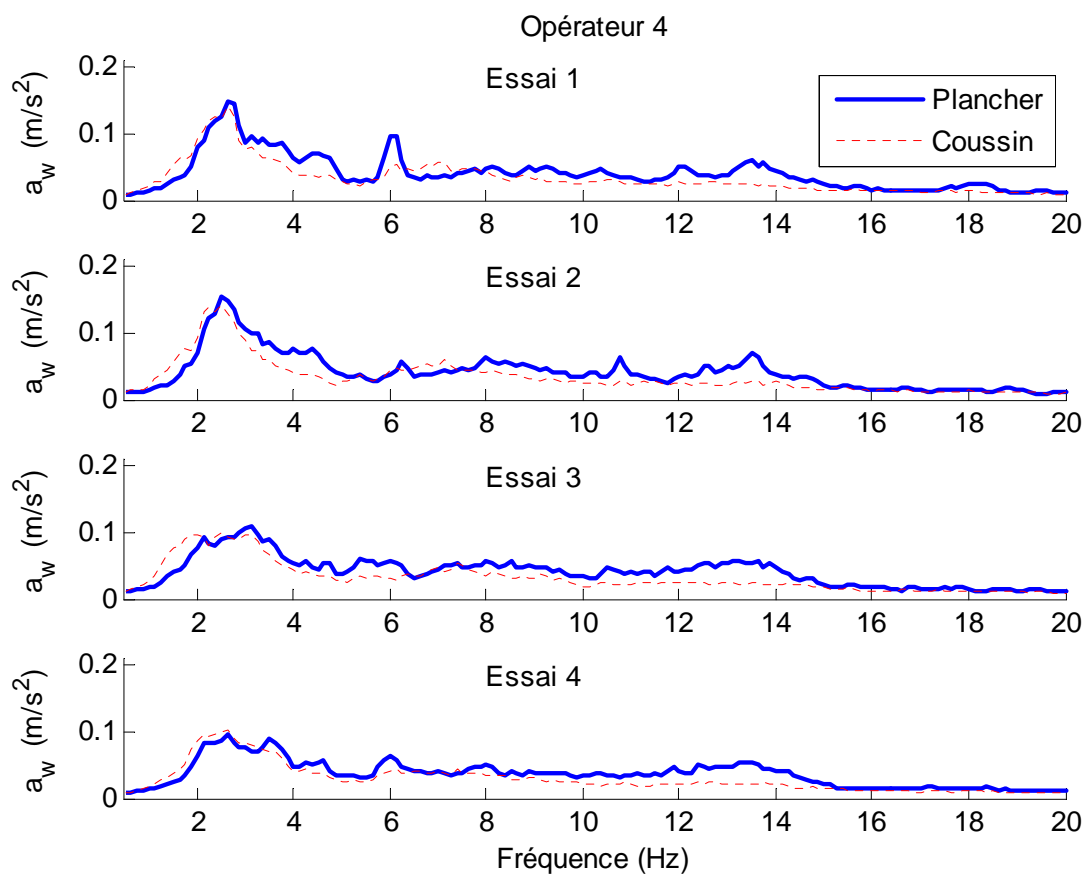


Figure G7. Opérateur 4, essais 1 à 4

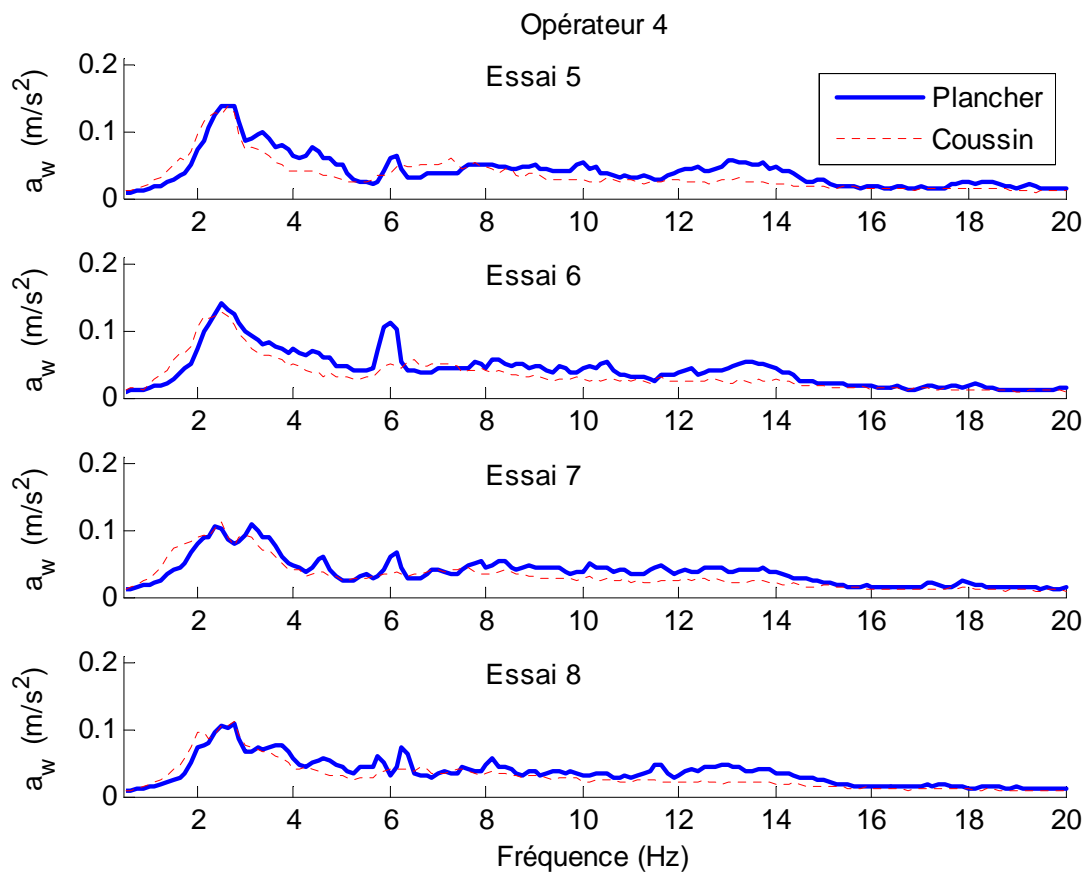


Figure G8. Opérateur 4, essais 5 à 8

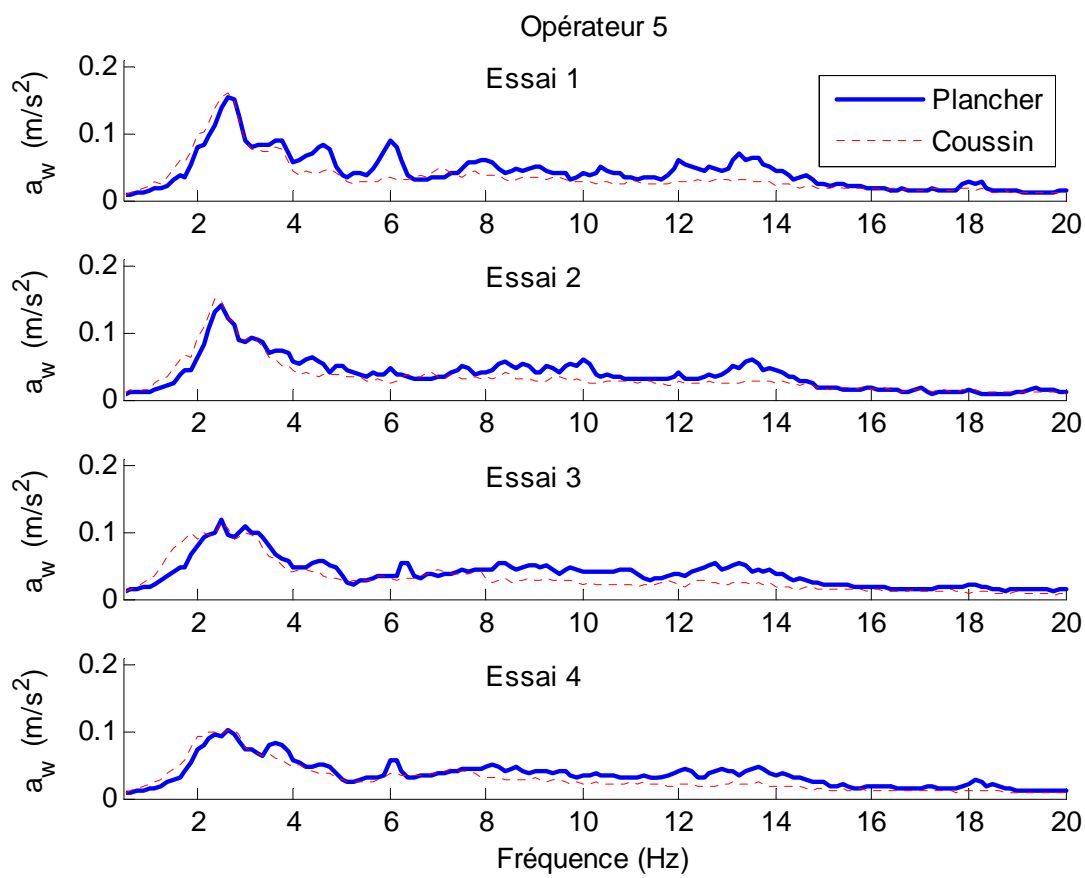


Figure G9. Opérateur 5, essais 1 à 4

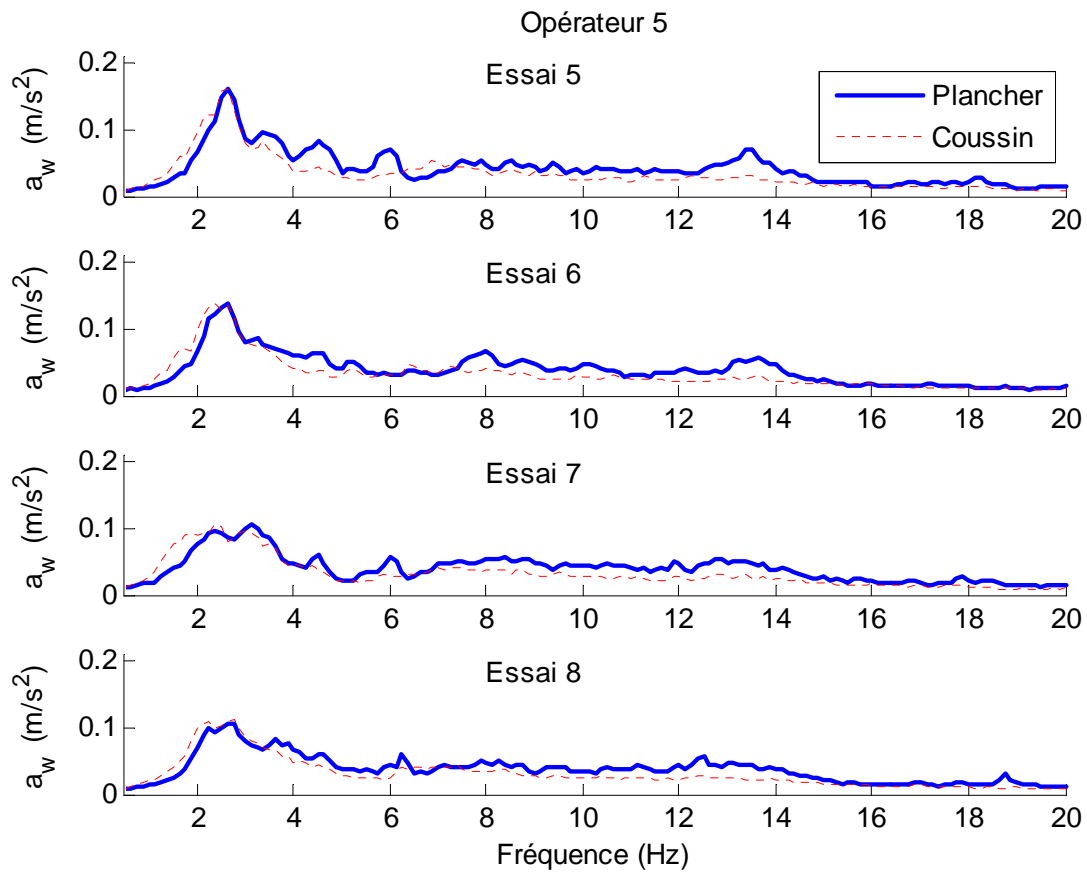


Figure G10. Opérateur 5, essais 5 à 8

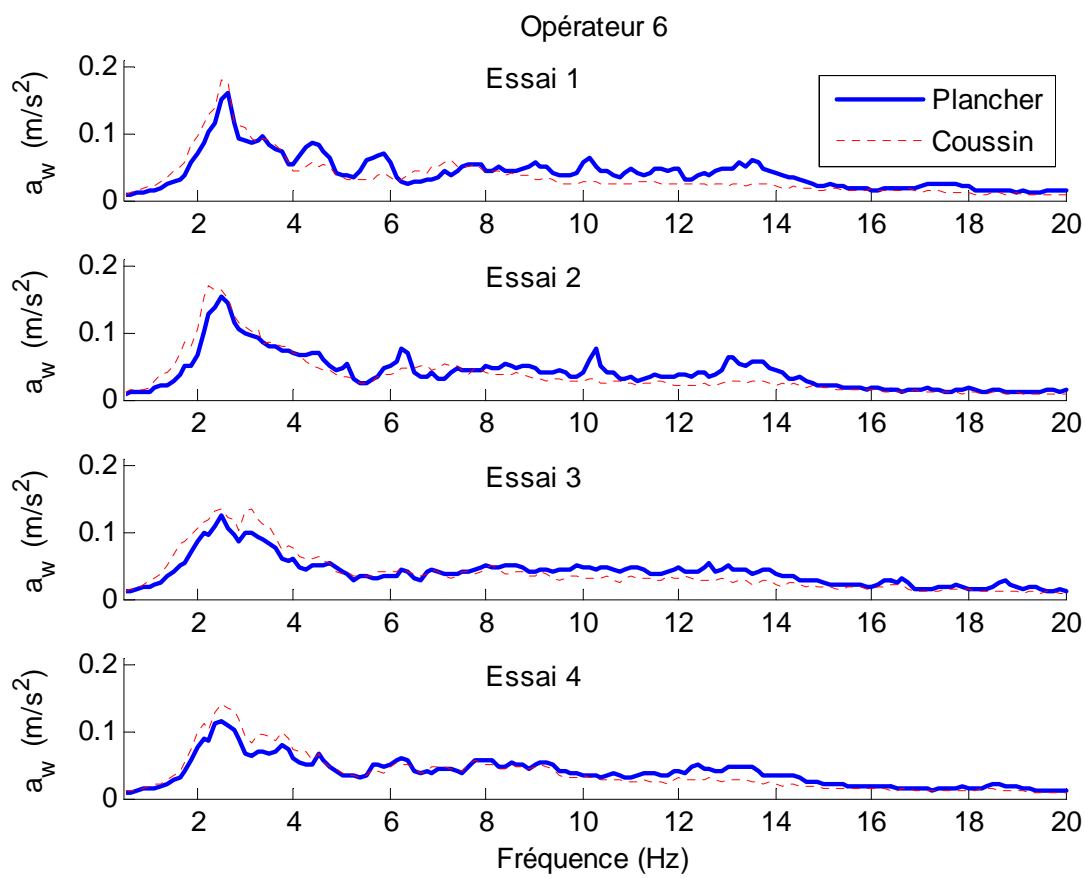


Figure G11. Opérateur 6, essais 1 à 4

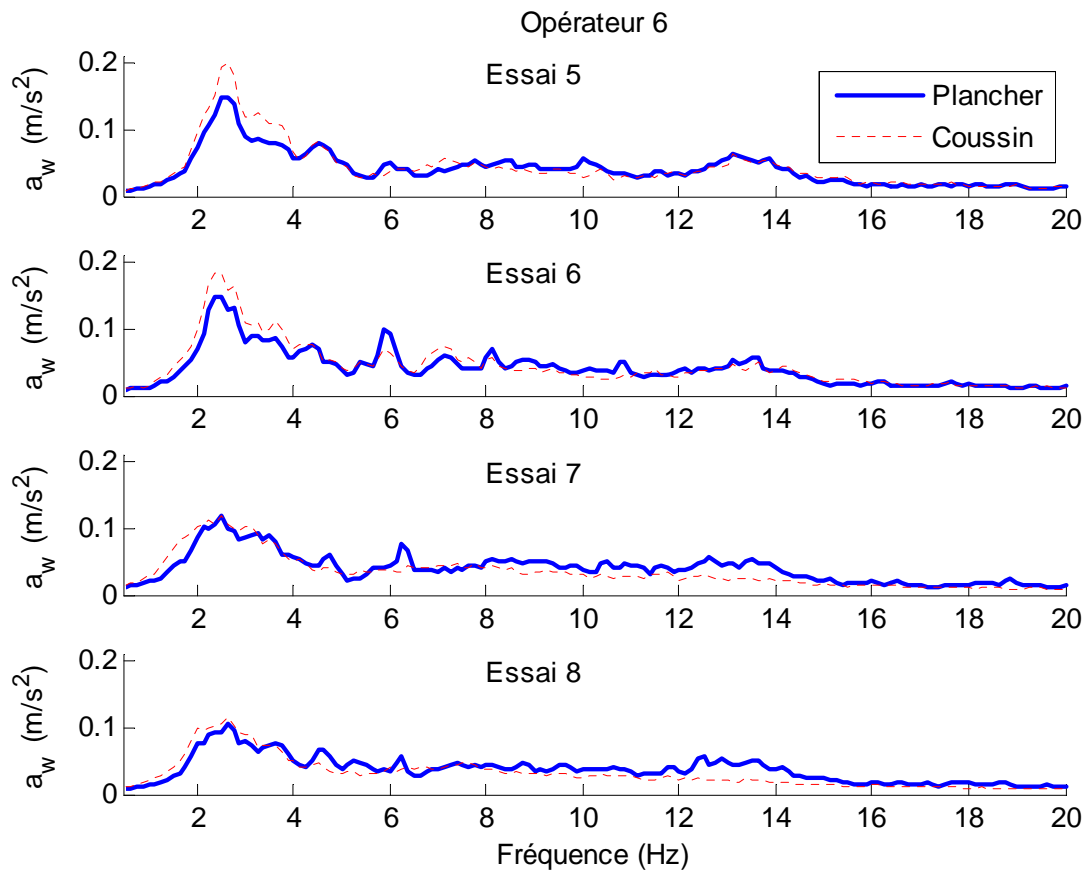


Figure G12. Opérateur 6, essais 5 à 8

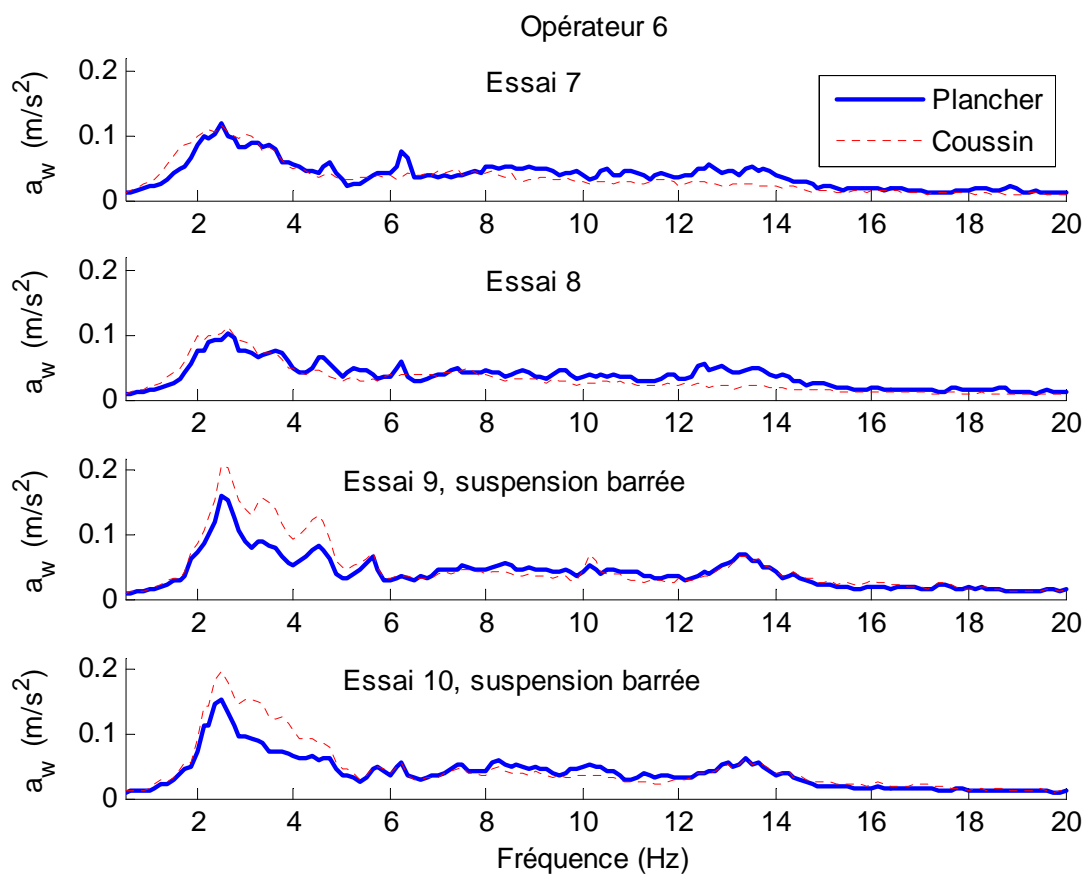


Figure G13. Opérateur 6, essais 7 à 10

ANNEXE H : POSITIONS DU PROTOTYPE DE SIÈGE LORS DES ESSAIS EN SITUATION RÉELLE DE TRAVAIL

- Définition des catégories utilisées dans les tableaux croisés.
- Tableau H1 : Appréciation de l'étendue des plages d'ajustement de la position du siège selon la taille et le poids des opérateurs.
- Tableau H2 : PA : hauteur du siège selon la taille des opérateurs
- Tableau H3 : CM : hauteur du siège selon la taille des opérateurs
- Tableau H4 : PA : position du siège avant-arrière, en rotation et latéralement
- Tableau H5 : CM : position du siège avant-arrière, en rotation et latéralement

Définition des catégories utilisées dans les tableaux croisés

		Centimètres ou unités	Catégorie
Ajustement du prototype de siège	Latéral	0 1 à 3 cm 4 à 6 cm 7 à 11 cm 12 à 14 cm 15 à 17 cm 18 cm	extrême gauche gauche1 gauche2 milieu; droite2; droite1; extrême droite
	Avant/arrière	0 à 2 cm 3 à 6 cm 7 à 12 ccm 13 à 16 cm 17 cm	Extrême arrière Arrière Milieu Avant Extrême avant
	Rotation	5 coches à gauche 3 ou 4 coches à gauche 1 ou 2 coches à gauche 0 (droit devant) 1 ou 2 coches à droite 3 ou 4 coches à droite 5 coches à droite	Gauche 40deg Gauche 24-32 deg Gauche 8-16 deg Devant (0 deg) Droite 8-16 deg Droite 24-32 deg Droite 40 deg
	Hauteur	Plage d'ajustement adéquate disponible (mesure entre le sol et le dessus de l'assise moins 1 cm) : 43 à 52 cm. H ≤44 44 < H <46 46 ≤ H ≤ 49 49 < H <51 51 ≤	Limite inférieure Bas Centré Haut Limite supérieure
	Angle du dossier	En degrés par rapport à la verticale. Les résultats ont été arrondis au multiple de 5 degrés le plus près. 21 indique plus de 20 degrés	0 5 10 15 20 21

	Ajustement en hauteur (mesure entre le sol et le dessus de l'assise moins 1 cm) :	Catégorie
Hauteur du strapontin MR-73	41 cm 46 cm 49 cm	Bas Intermédiaire Haut

	Catégorie de taille des opérateurs (cm)	Catégorie de poids des opérateurs (kg)
Caractéristiques des opérateurs	≤163 163 < ≤168 168 < ≤173 173 < ≤178 178 < ≤183 183 <	≤60 60 < ≤70 70 < ≤80 80 < ≤90 90 < ≤100 100 < ≤110 110 <

Note : PA = pilotage automatique; CM = conduite manuelle

Tableau H1 : Appréciation de l'étendue des plages d'ajustement de la position du siège selon la taille et le poids des opérateurs.

Ajust étendue gauche/ droite		Insuffisant -3	Insuffisant -1		Juste parfait 0						Total	
			Juste parfait 0	Insuffisant -1	Juste parfait 0	Insuffisant -3	Insuffisant -2	Insuffisant -1	Juste parfait 0			
Ajust étendue rotation		Insuffisant -3	Juste parfait 0	Juste parfait 0	Juste parfait 0	Juste parfait 0	Juste parfait 0	Insuffisant -2	Insuffisant -1	Juste parfait 0		
Catégorie de taille (cm)	Catégorie de poids (kg)											
163 et moins	60-70		1				1					2
163-168	60 et moins				1							1
	60-70									1		1
	70-80				1							1
	90-100					1						1
168-173	70-80									1		1
	80-90							1				1
173-178	70-80									1		1
	80-90									1		1
	90-100			1						1		2
178-183	100-110									1		1
	70-80							1				1
	90-100							1		1		2
	plus de 110	1										1
plus de 183	80-90							1				1
	90-100								1			1
Total		1	1	1	2	1	1	1	4	7		19

Tableau H2 : PA : Hauteur du siège selon la taille des opérateurs

		Hauteur de la suspension				Total
		limite inf.	bas	centré	limite sup.	
Catégorie de taille des opérateurs	163 et moins	1		1		2
	163-168	1	1	2		4
	168-173		1		1	2
	173-178		1	3		4
	178-183	2	1	2		5
	plus de 183	1			1	2
	Total	5	4	8	2	19

Tableau H3 : CM : Hauteur du siège selon la taille des opérateurs

		Hauteur de la suspension					Total
		limite inf.	bas	centré	haut	limite sup.	
Catégorie de taille des opérateurs	163 et moins	1			1		2
	163-168			2	1	1	4
	168-173			1		1	2
	173-178			2	1	1	4
	178-183	1		3	1		5
	plus de 183		1		1		2
	Total	2	1	8	5	3	19

Tableau H4 : PA : Position du siège avant-arrière, en rotation et latéralement

Avant/ arrière	Rotation (degrès)	Ajustement latéral				Total
		extr gauche	gauche1	milieu	droite2	
extr arrière	Devant 0		1			1
arrière	Devant 0			1		1
milieu	ga 8 à 16				1	1
	Devant 0	1	1	3		5
	dr 40			1		1
avant	ga 8 à 16			1		1
	Devant 0			2		2
	dr 8 à 16	1				1
	dr 40	2	1	1		4
extr avant	dr 40	2				2
Total		6	3	9	1	19