

Université du Québec à Rimouski

Département de Mathématiques, d'informatique et de génie.

Impacts sécuritaires liés au transport d'un second passager à l'arrière d'une motoneige préalablement conçue pour un seul conducteur

À l'attention de madame

Stéphanie Cashman-Pelletier

Chef de service de la sécurité en Transport

Service des politiques de sécurité

Par

Boumédiène Falah, ing., PhD., prof.

24 mars 2011

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement la direction de la fédération des clubs de motoneigistes du Québec (FCMQ) pour avoir mis à notre disposition les motoneiges d'essai ainsi que pour la participation de leurs membres aux essais.

Nous tenons à remercier également Monsieur Eddy Vallières, directeur du Centre de Formation des Transports de Charlebourg, pour avoir mis à notre disposition un local d'essai au sein de son établissement.



Table des matières

1	Mandat.....	2
2	Introduction	2
3	Objectifs	3
4	Méthodologie.....	3
5	Montage expérimental d'évaluation des positions longitudinale et verticale du centre de gravité de différentes configurations de motoneiges.....	5
5.1	Résultats des seuils de renversement évalués à l'aide du modèle rigide.....	8
5.1.1	Répartition de la charge des différents configurations de motoneiges.	8
5.1.2	Position longitudinale du centre de gravité	8
5.1.3	Hauteur du centre de gravité	9
6	Essais sur table de renversement	12
6.1	Conception de la table de renversement	12
6.2	Renversement latéral	15
6.3	Renversement longitudinal	16
6.4	Renversement longitudinal vers l'avant.....	17
6.5	Renversement longitudinal vers l'arrière	20
7	Essais dynamiques sur piste.....	23
7.1	Essais de freinage.....	25
7.2	Essais de manœuvrabilité	26
8	Conclusion.....	27
9	Recommandations	28

Liste des figures

Figure 1 : Modèle rigide de renversement	6
Figure 2 :Montage expérimental de détermination de la position du centre de gravité d'une motoneige avec un passager.....	7
Figure 3: Masses des différentes configurations d'essai.	8
Figure 4: Position longitudinale du centre de gravité en fonction de la charge et du type de motoneige.	9
Figure 5: Hauteur du centre de gravité en fonction de la charge et du type de motoneige.....	10
Figure 6 : Seuils de renversement latéral et longitudinal évalués à l'aide d'un modèle rigide.....	12
Figure 7 : Table de renversement des motoneiges.....	13
Figure 8 : Essai de renversement latéral gauche.	14
Figure 9: Essai de renversement longitudinal arrière.	14
Figure 10 : Seuils de renversement latéral exprimés en degrés.....	16
Figure 11 : Renversement longitudinal vers l'avant	19
Figure 12 : Renversement longitudinal vers l'arrière.....	22
Figure 13 :Montage d'essais dynamiques.....	24
Figure 14 : Accélérations et décélérations maximales enregistrées durant les essais en ligne droite	25
Figure 15 :Vitesse angulaire verticale de la motoneige d'essai en fonction de sa vitesse	26

Définitions:

Motoneige monoplace ou à une place: motoneige conçue pour un conducteur sans passager.

Motoneige à deux places : Motoneige conçue pour un conducteur et un passager.

Motoneige modifiée : motoneige conçue pour un conducteur et modifiée par l'utilisateur par l'ajout d'un siège d'appoint fixé à l'arrière et destiné à transporter un passager.

A1 : Motoneige à une place du constructeur A.

A2 : Motoneige à deux places du constructeur A.

B1 : Motoneige à une place du constructeur B.

B2 : Motoneige à deux places du constructeur B.

a_x : Accélération longitudinale d'une motoneige [m/s^2].

g : Accélération de la pesanteur ($9.81 m/s^2$).

x_{cg} : Position longitudinale du centre de gravité d'une motoneige. [m].

h_{cg} : Hauteur du centre de gravité d'une motoneige [m].

L1M1 : Conducteur de masse L1 et passager de masse M1.

Les différentes masses des conducteurs /passagers sont indiquées sur les tableaux 1, 2 et 3.



1 Mandat

Nous avons reçu un mandat du Ministère des Transport du Québec d'analyser les impacts sécuritaires liés à l'ajout d'un siège d'appoint fixé à l'arrière d' une motoneige monoplace et destiné à transporter un passager. Le but de cette analyse est d'aboutir à des recommandations pertinentes quant à l'acceptation éventuelle d'une telle configuration de motoneige.

2 Introduction

Les motoneiges avec passager qui circulent dans les sentiers québécois sont de deux types : motoneiges conçues pour un conducteur et un passager (motoneige à deux places) et des motoneiges conçues pour un conducteur et modifiées par leur utilisateur par l'ajout d'un siège d'appoint destiné à transporter un passager. Par ailleurs, au Québec, un constructeur de motoneiges offre déjà cette possibilité en commercialisant son propre siège d'appoint. De plus, d'autres fabricants de sièges proposent des modèles pouvant être installés sur différentes motoneiges disponibles dans la province.

L'ajout d'un siège d'appoint sur une motoneige monoplace implique une répartition de charge qui contribue à :

- Une augmentation de la charge totale ;
- Un recul vers l'arrière de la position longitudinale du centre de gravité ;
- Une élévation de la hauteur du centre de gravité.

L'impact de ces modifications peut être formulé par deux principales interrogations :



Quelle influence l'augmentation de la charge va-t-elle avoir sur les performances d'une motoneige munie d'un siège d'appoint et transportant un passager ?

Comment la motoneige équipée d'un siège d'appoint et transportant un passager se compare-t-elle, en terme de stabilité, par rapport à une motoneige conçue pour deux places ?.

3 Objectifs

- Analyser le comportement, en terme de stabilité, d'une motoneige monoplace dont la charge est modifiée par la présence d'un passager.
- Proposer au MTQ les recommandations pertinentes associées à l'usage sécuritaire de motoneiges monoplaces munies d'un siège d'appoint et transportant un passager.

4 Méthodologie

L'approche méthodologique adoptée dans cette étude repose sur la mise en œuvre de trois montages expérimentaux destinés à :

1. Estimer la position du centre de gravité de différentes configurations de motoneiges.
2. Estimer des seuils de renversement latéral et longitudinal.
3. Observer le comportement dynamique sur piste, sous différentes charges, d'une motoneige monoplace équipée d'un siège d'appoint.

Les tableau 1, 2 et 3 ci-dessous résument les principales caractéristiques des motoneiges d'essai utilisées dans le cadre cette étude. Les motoneiges impliquées dans les deux premiers montages sont associées à des masses différentes. Ces différences de masses sont essentiellement liées à des difficultés de disponibilité des machines et des conducteurs aux différentes dates d'essai.

Tableau 1 : Motoneiges d'essai pour la table du centre de gravité

Constructeur	Type de motoneige	Moteur	Masse (kg)	Longueur de la chenille (po)
A	A1 (1 place)	2 temps	248.0 ¹	120
	A2 (2 places)	2 temps	314.0	137
B	B1 (1 place)	4 temps	268.0	121
	B2 (2 places)	4 temps	340.0	144
Conducteur/passager		M1	75.0	
Conducteur/passager		L1	104.0	

Tableau 2 : Motoneiges d'essai pour la table de renversement

Constructeur	Type de motoneige	Moteur	Masse (kg)	Longueur de la chenille po
A	A1 (1 place)	2 temps	207.0	121
	A2 (2 places)	2 temps	228.0	127
B	B1 (1 place)	4 temps	294.0	121
	B2 (2 places)	4 temps	310.0	144
Conducteur/passager			M2	84.0
Conducteur/passager			L2	126.0

Tableau 3 : Motoneige pour essais dynamiques

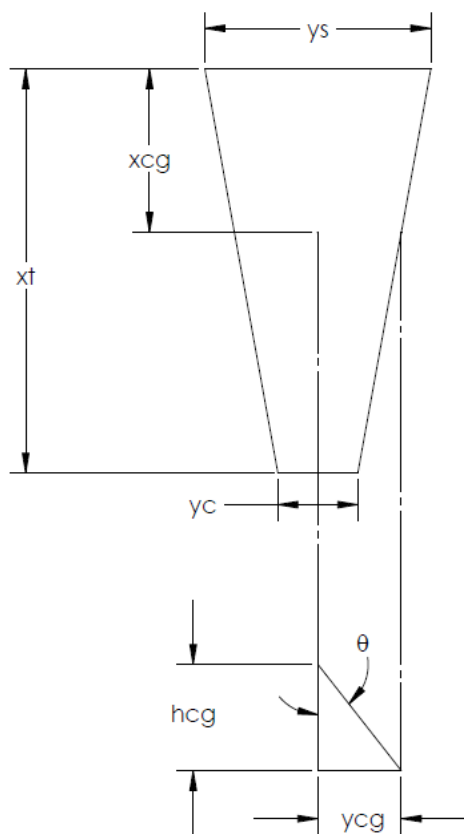
Constructeur	Type de motoneige	Moteur	Masse (kg)	Longueur de la chenille po
A	A1 (1 place)	2 temps	248.0	121
Conducteur/passager			M3	68.0
Conducteur/passager			L3	84.0

¹ Les valeurs des masses sont arrondies.

5 Montage expérimental d'évaluation des positions longitudinale et verticale du centre de gravité de différentes configurations de motoneiges.

Les seuils de renversement latéral et longitudinal d'un véhicule peuvent être estimés par un modèle rigide simple tel qu'illustré par la figure 1. Ce modèle suppose que la motoneige est un corps rigide et néglige l'effet des suspensions et des déformations dues à la charge. Ainsi, pour utiliser les formules fournies par les équations 1 et 2 (figure 1), il est nécessaire d'évaluer préalablement les positions longitudinale et verticale du centre de gravité (x_{cg} , h_{cg}). Dans le but d'estimer ces deux distances, un montage expérimental a été conçu et réalisé. L'annexe A montre un schéma de principe de fonctionnement du montage mis au point. Le montage est un pendule dont on mesure l'angle sous deux conditions d'équilibre. Le premier angle θ_1 , est associé à l'angle du pendule alors que la motoneige est simplement posée sur la table. Le second angle θ_2 est l'angle du pendule lorsque celui-ci est soumis à un moment perturbateur provoqué par l'ajout d'une masse à une des extrémités de la table (Voir annexe A). La figure 2 montre une photo du montage tel que réalisé.



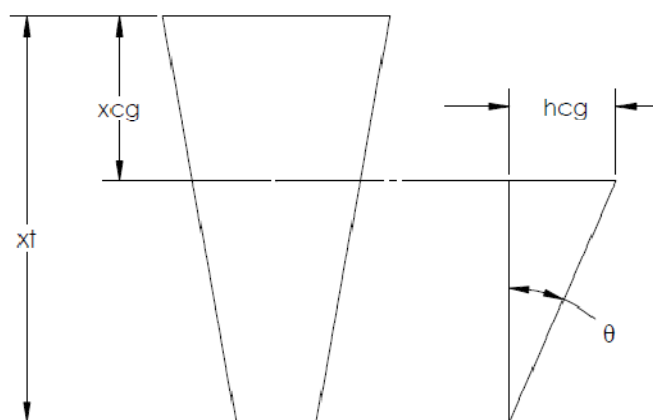


	ys (mm)	yc (mm)	xt (mm)
A1	1077	381	1930
A2	1077	381	2184
B1	1085	381	1880
B2	1085	381	2184

$$y_{cg} = y_s + \frac{x_{cg}(y_c - y_s)}{x_t}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_{cg}}{h_{cg}} \right) \quad \text{(equation 1)}$$

a-Renversement latéral



$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{x_t - x_{cg}}{h_{cg}} \right) \quad \text{(equation 2)}$$

b-Renversement arrière

Figure 1 : Modèle rigide de renversement



Figure 2 :Montage expérimental de détermination de la position du centre de gravité d'une motoneige avec un passager.

5.1 Résultats des seuils de renversement évalués à l'aide du modèle rigide.

5.1.1 Répartition de la charge des différentes configurations de motoneiges.

La figure 3 montre les masses enregistrées pour les différentes configurations de motoneiges d'essai impliquées dans le montage d'évaluation des positions longitudinales et verticales du centre de gravité.

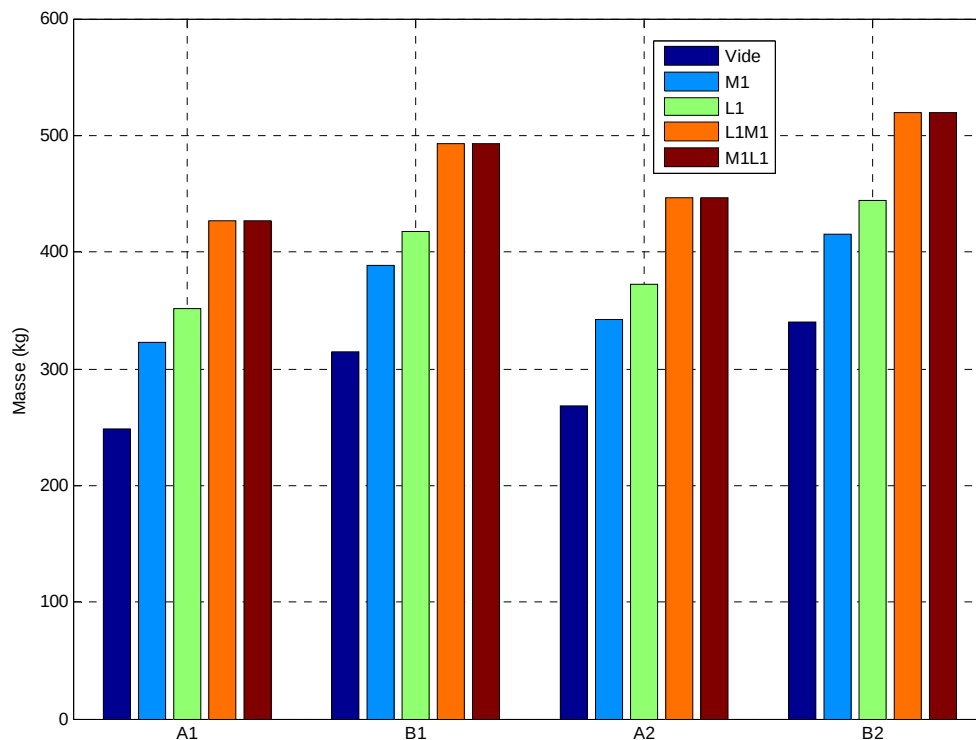


Figure 3: Masses des différentes configurations d'essai.

5.1.2 Position longitudinale du centre de gravité

La figure 4 illustre l'évolution de la position longitudinale du centre de gravité en fonction de la motoneige (une ou deux places) et des passagers. L'observation de la figure 4 montre que plus le passager est lourd plus le centre de gravité se déplace vers l'arrière et contribue donc à diminuer le seuil de renversement arrière.

5.1.3 Hauteur du centre de gravité

La figure 5 montre les résultats d'évaluation de la hauteur du centre de gravité en fonction du type de motoneige et du chargement appliqué. L'observation de la figure 5 montre que les motoneiges du constructeur B sont caractérisées par des hauteurs du centre de gravité plus faibles que celles obtenues dans le cas des motoneiges du constructeur A. La raison est liée au fait que les motoneiges du constructeur B ont des masses à vide plus élevées que celles du constructeur A. Par ailleurs, les motoneiges des deux constructeurs conçues pour deux places (A2, B2) se caractérisent par des hauteurs de centre de gravité plus élevées que dans le cas des motoneiges à une place et transportant un passager (A1,B1). Ces différences entre les hauteurs du centre de gravité sont dues à la plus grande rigidité des ressorts des suspensions des motoneiges à deux places (A2,B2) comparée à celles observées dans le cas des motoneiges monoplaces (A1,B1).

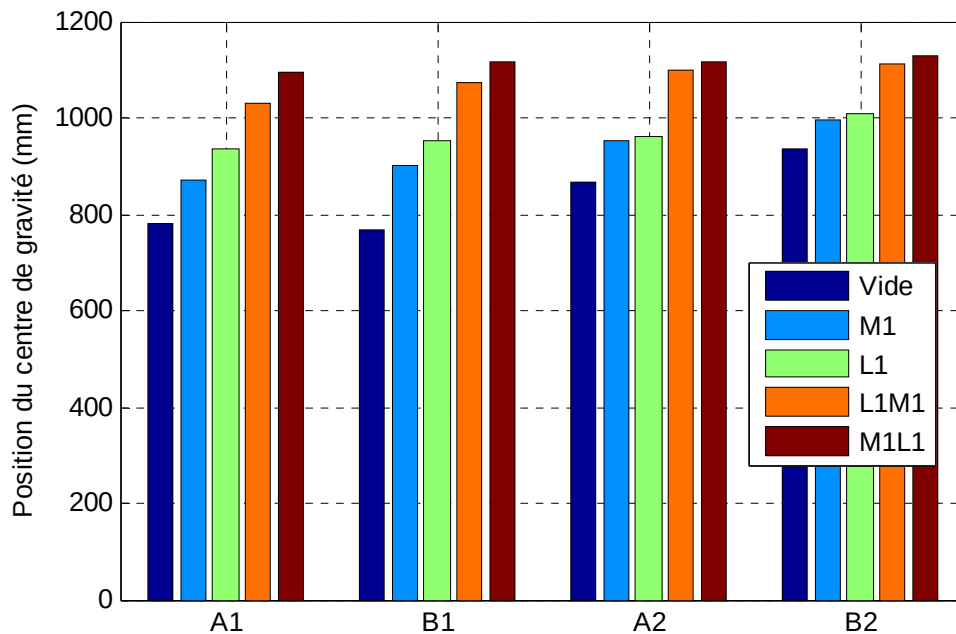


Figure 4: Position longitudinale du centre de gravité en fonction de la charge et du type de motoneige.

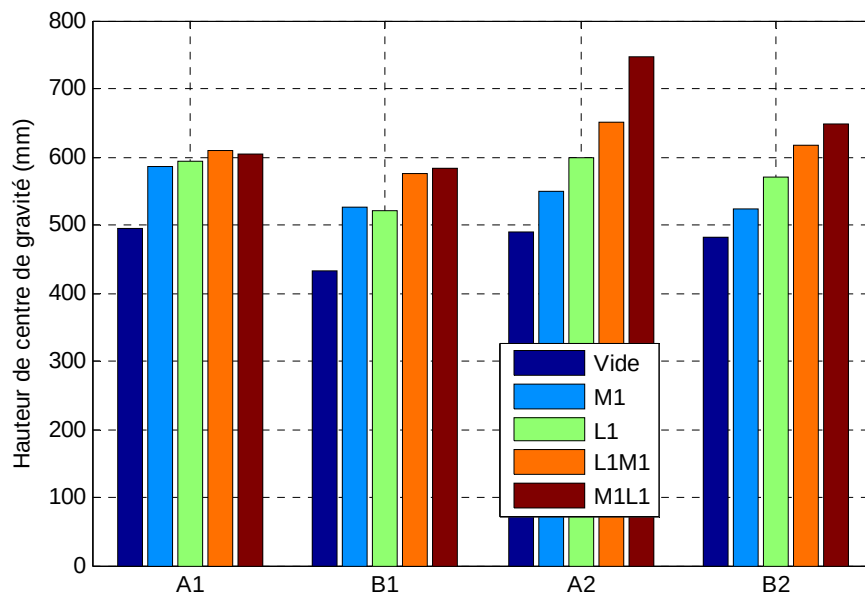


Figure 5: Hauteur du centre de gravité en fonction de la charge et du type de motoneige.

En introduisant les valeurs mesurées, de la position longitudinale (x_{cg}) et de la hauteur du centre de gravité (h_{cg}) des différentes motoneiges dans les équations 1 et 2 de la figure 1, il est possible d'évaluer les seuils de renversement latéral et longitudinal tels que fournis par un modèle rigide des motoneiges. La figure 6 regroupe les seuils de renversement, exprimés en degrés, en fonction du type de motoneige et du chargement appliqué.

Seuil de renversement latéral

Le seuil de renversement latéral est fonction de la charge transportée. Plus cette charge croît, plus le seuil diminue. Cette diminution s'explique par une hauteur du centre de gravité qui croît avec la charge (figure 5). Il faut cependant noter que le seuil de renversement latéral, pour une motoneige munie d'un siège d'appoint, est relativement peu altéré par la présence d'un passager. Les valeurs des seuils enregistrées pour ce type de motoneige sont comparables et parfois plus élevés que celles associées aux motoneiges conçues pour deux places. Cette réalité est plutôt le

résultat, sous les charges appliquées, d'un écrasement des suspensions des motoneiges monoplaces (A1,B1). .

Seuil de renversement longitudinal

Ces seuils sont, comme le montre l'équation 2 de la figure 1, fonction principalement des deux distances mesurées x_{cg} et h_{cg} . Plus la position longitudinale du centre de gravité se déplace vers l'arrière plus le seuil de renversement diminue. Les résultats montrés à la figure 6 mettent en évidence cette réalité. Les motoneiges monoplaces équipées de sièges d'appoint démontrent des seuils de renversement comparables à ceux enregistrés, dans les mêmes conditions de charge, par les motoneiges conçues pour deux places.

D'une manière générale, les seuils de renversement latéral et longitudinal démontrés par les motoneiges monoplace avec siège d'appoint sont comparables à ceux associés aux motoneiges conçues pour deux places. Peut-on conclure pour autant que les performances, en terme de stabilité et de sécurité, des motoneiges avec siège d'appoint sont identiques à celles liées aux motoneiges conçues pour deux places ? Avant de répondre à cette question, il importe de rappeler que les seuils de renversement obtenus jusqu'à maintenant sont tributaires de l'hypothèse de rigidité des motoneiges analysées. Il est donc nécessaire, pour répondre à la question précédente, de pousser cette investigation par la mise en œuvre d'une méthode d'évaluation des seuils de renversement qui tient compte de l'ensemble des déformations des motoneiges sous charge. Par ailleurs, le modèle rigide, d'évaluation des seuils précédents, est limité dans la mesure où il ne permet pas de tenir compte d'aucune compensation introduite par le conducteur et le passager. Une investigation expérimentale est élaborée, dans ce qui suit, permettant de contourner les limitations du modèle rigide.

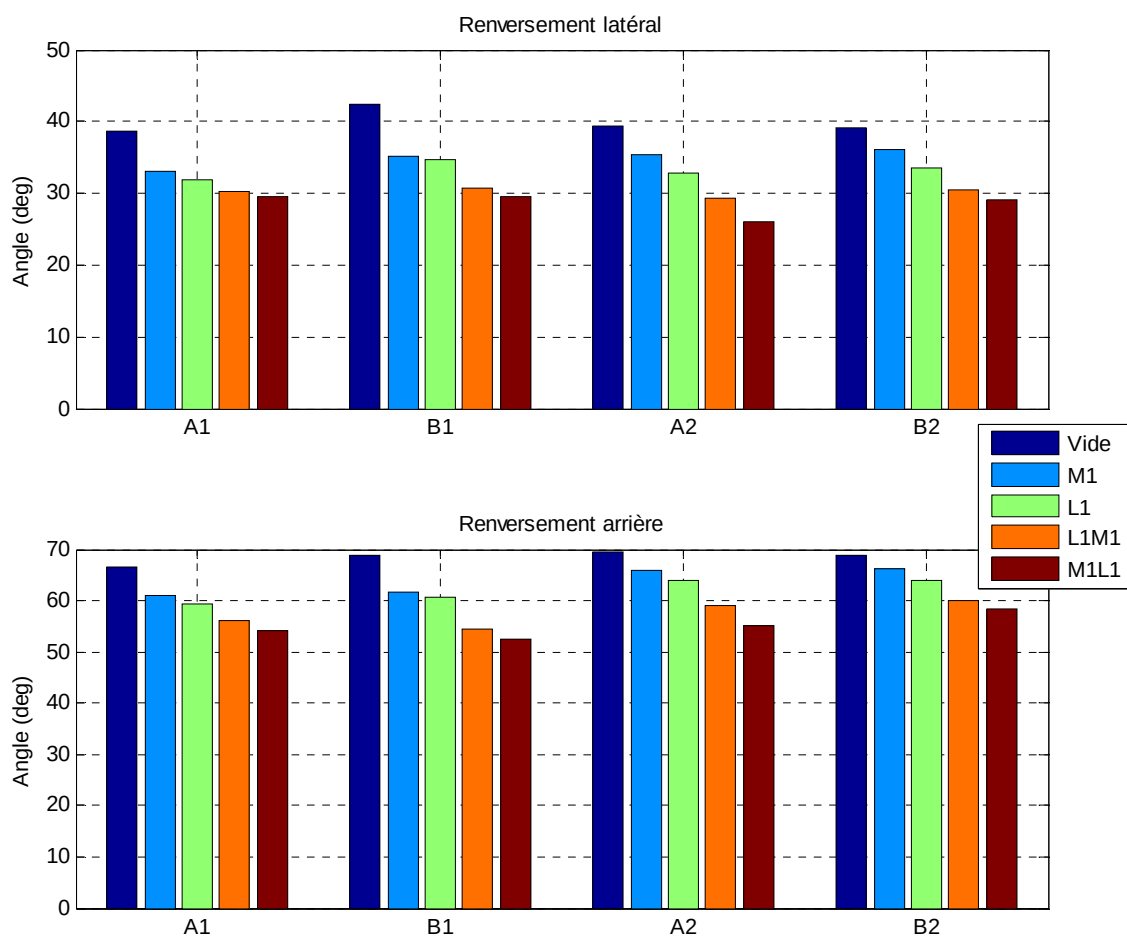


Figure 6 : Seuils de renversement latéral et longitudinal évalués à l'aide d'un modèle rigide.

6 Essais sur table de renversement

6.1 Conception de la table de renversement

Dans le but de mesurer les seuils de renversement latéral et longitudinal, nous avons conçu une table de renversement telle que montrée par la figure 7. Cette table en bois de dimensions 8 pieds par 12 pieds, est équipée de quatre capteurs de force. A l'avant, chaque ski repose sur une cellule de charge alors qu'à l'arrière la chenille s'appuie sur deux cellules de charge. Un capteur d'angle à deux axes est fixé sur la table permettant de mesurer l'angle d'inclinaison selon les deux axes

de rotation de la table. Un portique permet de supporter la table alors qu'un palan permet de la soulever d'une manière graduelle. Les signaux des différents capteurs sont acquis à l'aide d'un système d'acquisition CRIO de National Instruments. Les signaux acquis sont traités afin d'extraire les seuils de renversement longitudinaux et latéraux. La figure 8 montre la table de renversement exécutant un essai de renversement latéral alors que la figure 9 montre un exemple d'essai de renversement longitudinal.



Figure 7 : Table de renversement des motoneiges.



Figure 8 : Essai de renversement latéral gauche.



Figure 9: Essai de renversement longitudinal arrière.

6.2 Renversement latéral

Le tableau 4 et la figure 10 résument les résultats associés aux essais de renversement latéral des motoneiges d'essai. La figure 10 est un tracé, sous forme de barres, des données provenant du tableau 4. En outre, le tableau 4 fournit aussi le seuil de renversement exprimé en g (accélération de la pesanteur). L'essai avec compensation consiste, pour le conducteur et le passager, de pencher le corps à gauche en vue de limiter la baisse du seuil de renversement de la motoneige. L'observation de la figure 10 permet de faire les commentaires suivants :

1. Plus la masse transportée par une motoneige croît plus le seuil de renversement latéral décroît ;
2. Les seuils de renversement des motoneiges munies d'un siège d'appoint sont du même ordre que celles enregistrés par les motoneiges conçues pour deux places ;
3. Une motoneige à une place, conduite par une personne ayant un poids élevé comme le conducteur L2, en absence de compensation, est caractérisée par un seuil de renversement latéral comparable aux motoneiges conçues pour deux places.
4. Les compensations produites par les mouvements adéquats des corps du conducteur et du passager permettent d'améliorer le seuil de renversement.

Tableau 4 : seuil de renversement latéral

Constructeur	Conducteur	Compensation	Angle de renversement (degrés)			Accélération latérale de renversement (g)		
			1 place	1 place. & passager	2 places	1 place	1 place & passager	2 places
A	M	Non	28.9	16.9	17.1	0.55	0.30	0.31
A	M	Oui	32.7	21.7	22.6	0.64	0.40	0.42
A	L	Non	23.9	18.2	20.3	0.44	0.33	0.37
A	L	Oui	29.8	24.7	25.2	0.57	0.46	0.47
B	M	Non	31.1	18.9	19.7	0.60	0.34	0.36
B	M	Oui	32.7	23.4	23.5	0.64	0.43	0.44
B	L	Non	26.2	20.3	21.5	0.49	0.37	0.39
B	L	Oui	28.8	26.1	23.6	0.55	0.49	0.44

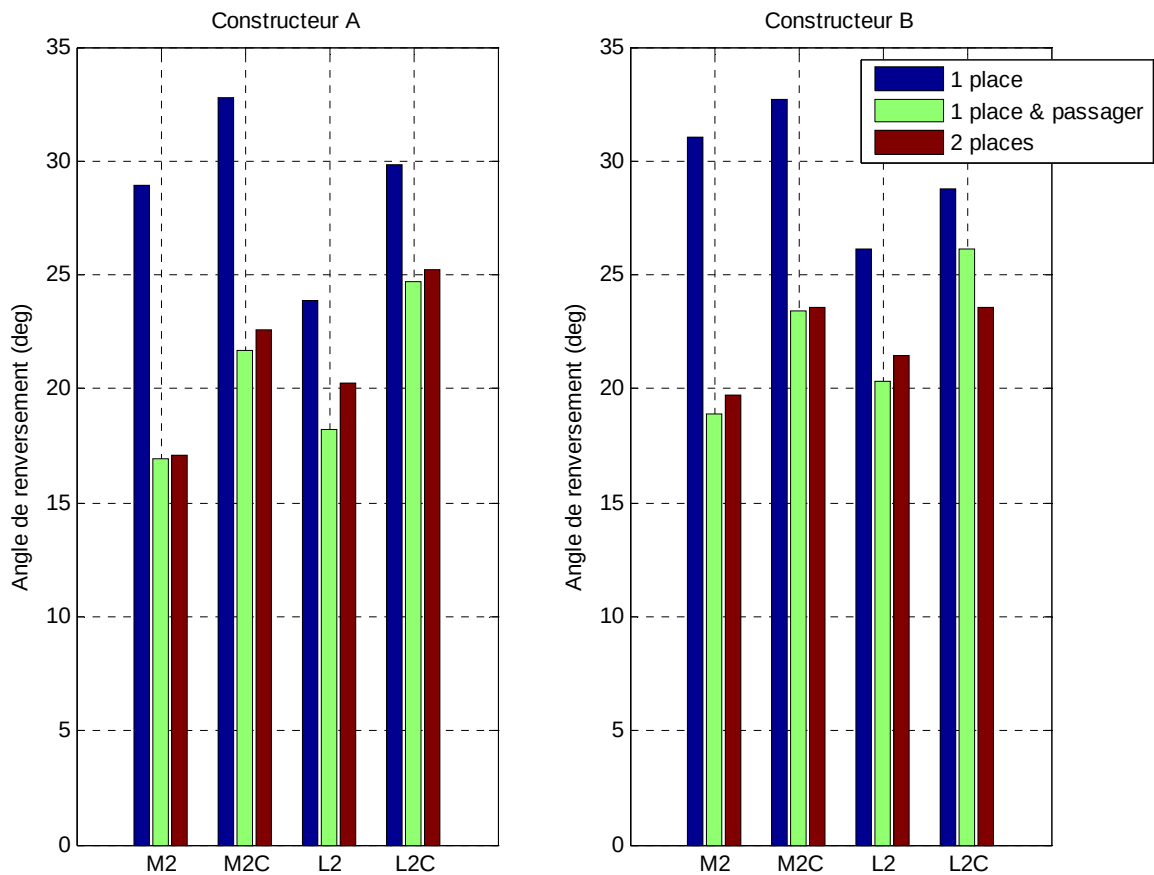


Figure 10 : Seuils de renversement latéral exprimés en degrés

6.3 Renversement longitudinal

Les figures 11 et 12 montrent respectivement l'évolution, durant des essais de renversements longitudinaux vers l'avant et l'arrière, les niveaux des seuils de renversement. L'abscisse des courbes des figures 11 et 12 représentent la tangente de l'angle (accélération en g) de la table de renversement alors que l'ordonnée est associée à la charge transférée rapportée à la charge totale de la motoneige. Chaque courbe tracée sur les figures 11 et 12 regroupe l'évolution de la charge durant un aller-retour de la table de renversement. Le seuil de renversement est atteint lorsque la valeur de la courbe s'annule.

6.4 Renversement longitudinal vers l'avant

L'ordonnée des courbes tracées sur la figure 11 ne passe jamais par zéro. Autrement dit, aucune motoneige n'a fait l'objet d'un renversement vers l'avant. Cette observation est liée au fait que chaque motoneige est équipée d'un système de limitation de transfert de charge vers l'avant. Les courbes de la figure 11 peuvent être exploitées pour analyser le transfert de charge durant un freinage en ligne droite ou sur une pente. En effet, ces courbes mettent en évidence le transfert de charge en fonction du niveau de décélération imposé à la motoneige. Nous allons décrire dans ce qui suit les résultats, associés au renversement vers l'avant, montrés par la figure 11.

Constructeur A :

Les motoneiges avec conducteur et passager ont une charge initiale à l'arrière sensiblement identique et supérieure à 70% de la charge totale. Pour la motoneige à une place, cette charge chute à moins de 60% de la charge totale. Tout au long de l'intervalle de décélération explorée, les courbes associées aux motoneiges à deux places demeurent au dessus de celle liée à la motoneige à une place. Ce résultat implique que lorsque la motoneige est équipée d'un siège d'appoint avec passager, la charge arrière diminue moins rapidement que lorsque la motoneige transporte uniquement un conducteur. À titre d'exemple, prenons une décélération de 0.5 g et en présence du conducteur M2, la charge arrière de la motoneige à une place est à 40% de la charge totale alors que la motoneige à deux places est supérieure à 50% de la charge totale. Il importe de noter, par ailleurs, que la motoneige modifiée par l'ajout d'un siège démontre des caractéristiques similaires à celle conçue avec passager jusqu'à une décélération de l'ordre de 0.5 g. Au delà cette décélération, la pente de la courbe, associée à la motoneige avec ajout de siège d'appoint, chute légèrement par rapport à celle conçue pour un conducteur et un passager.

Constructeur B

La charge initiale de la motoneige conçue pour un conducteur et un passager est supérieure à 70% de la charge totale. Alors que celle associée à la motoneige avec un siège d'appoint est approximativement à 75% de la charge totale. Jusqu'à 0.2 g, la charge arrière de la motoneige avec un siège d'appoint, et en présence du conducteur M2, est supérieure à celle observée dans le cas de la motoneige conçue pour deux places. À partir de 0.4 g, la baisse de la charge arrière de la motoneige avec siège d'appoint est plus prononcé que la motoneige conçue pour deux places. Cependant, la charge arrière, à partir de 0.4 g, de la motoneige avec siège d'appoint est plus élevée que celle associée à la motoneige sans passager. Globalement, le même comportement est observé que dans le cas des motoneiges du constructeur A. L'ajout d'un passager a tendance à améliorer la charge résiduelle à l'arrière de la motoneige à siège d'appoint et contribuer ainsi à limiter le blocage de la chenille en cas de freinage.

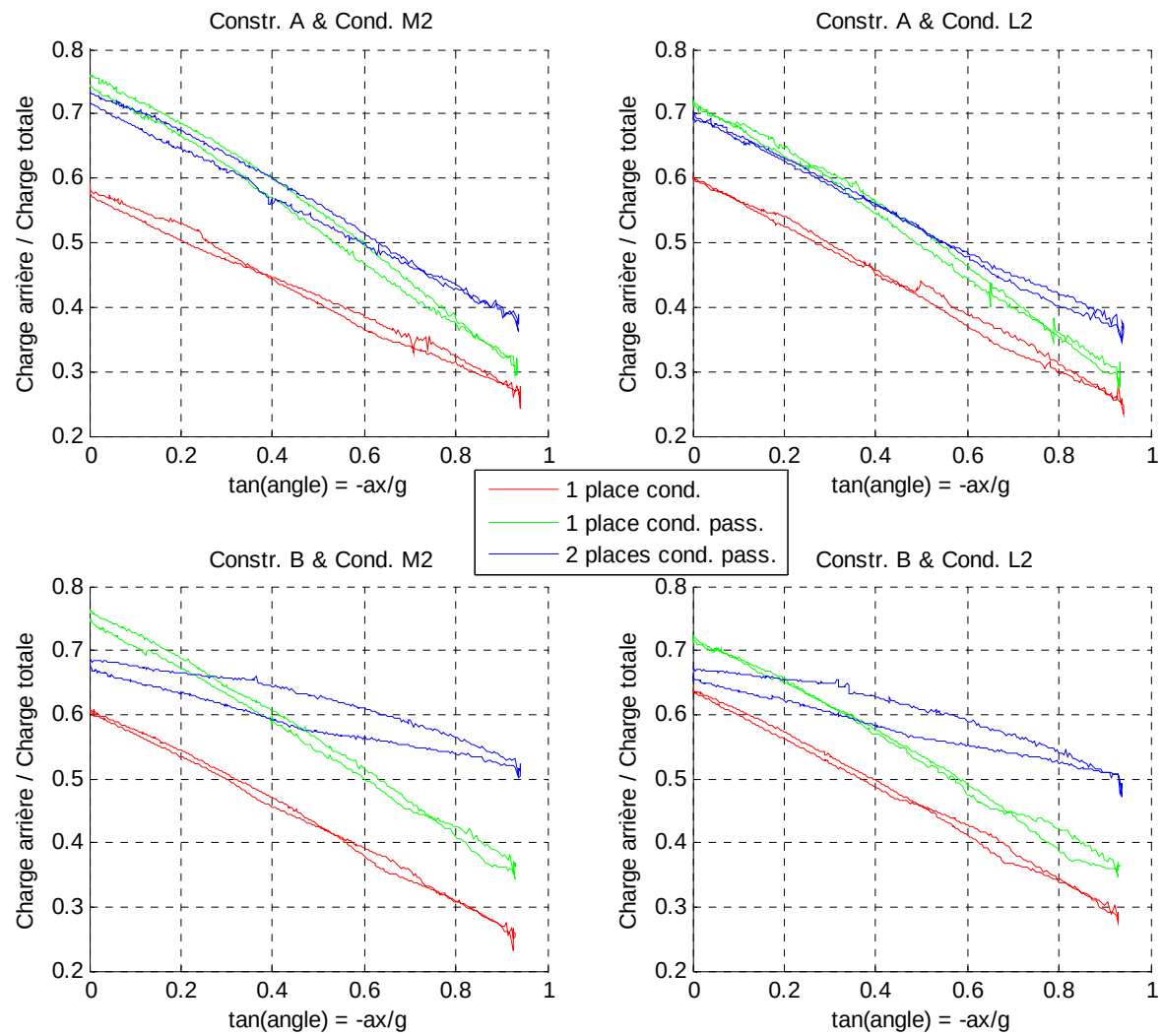


Figure 11 : Renversement longitudinal vers l'avant

6.5 Renversement longitudinal vers l'arrière

L'abscisse de la figure 12 représente une accélération longitudinale exprimée en g alors que l'ordonnée représente le rapport entre la charge sur les patins et la charge totale. Les courbes de la figure 12 illustrent le comportement des motoneiges d'essai sous différentes conditions de charge.

Constructeur A, conducteur M2

La charge initiale à l'avant de la motoneige avec un conducteur seulement est de l'ordre de 40% de la charge totale. Les charges initiales des motoneiges avec passager sont approximativement identiques et représentent 25% environ. Cette valeur de la charge initiale à l'avant (25%) est faible relativement à celle observée pour la motoneige avec un seul conducteur (40%). Les courbes décrivant la baisse de la charge à l'avant des motoneiges avec passager sont presque identiques et atteignent le seuil de renversement à 0.6 g et 0.65 g respectivement pour la motoneige à siège d'appoint et la motoneige conçue pour deux places. Un comportement analogue est observé dans le cas où le conducteur L2 est analysé.

Constructeur B, conducteur M2

La charge initiale à l'avant de la motoneige avec un conducteur seulement est proche de 40% alors que celle associée à la motoneige conçue pour deux places est voisine de 35%. Par contre la charge initiale à l'avant de la motoneige avec siège d'appoint est limitée uniquement à 23%. Contrairement au constructeur A, la motoneige conçue pour deux places démontre une courbe qui suit plus celle correspondant à la motoneige avec un conducteur seulement. Ainsi, la motoneige conçue pour deux places et la motoneige avec un conducteur seulement ne renversent pas. Par contre la motoneige avec un siège d'appoint renverse autour de 0.7 g. Des observations similaires sont à faire lorsque le conducteur M2 est remplacé par le conducteur L2.

Il importe de noter, pour l'ensemble des motoneiges analysées, les observations suivantes :

1. Une motoneige avec un conducteur seulement n'est pas sujette à un renversement vers l'arrière ;
2. Le passage d'une motoneige à un seul conducteur à une motoneige avec passager grâce à l'ajout d'un siège d'appoint se traduit par un seuil de renversement autour de 0.6 g à 0.7 g environ.
3. Une motoneige conçue pour deux places du constructeur A a un comportement similaire à la motoneige avec siège d'appoint et renverse sensiblement dans un intervalle comparable que la motoneige à siège d'appoint (0.65-0.75 g).
4. La motoneige conçue pour un conducteur et un passager provenant du constructeur B n'est pas sujette au renversement vers l'arrière. Cette motoneige est plutôt comparable à la motoneige de base à un seul conducteur seulement.
5. L'effet de la compensation, introduit par les mouvements du corps du conducteur et du passager, est relativement marginal pour l'ensemble des motoneiges.

Le tableau 3 résume l'ensemble des résultats tirés de la figure 12.

Tableau 3 : Seuils de renversement longitudinal arrière , exprimés en g

Configuration	Constructeur A		Constructeur B	
	Conducteur A	Conducteur B	Conducteur A	Conducteur B
1 place	Non	> 0.9	Non	Non
1 place & passager	0.6	0.7	0.7	0.8
2 places	0.65	0.75	Non	Non

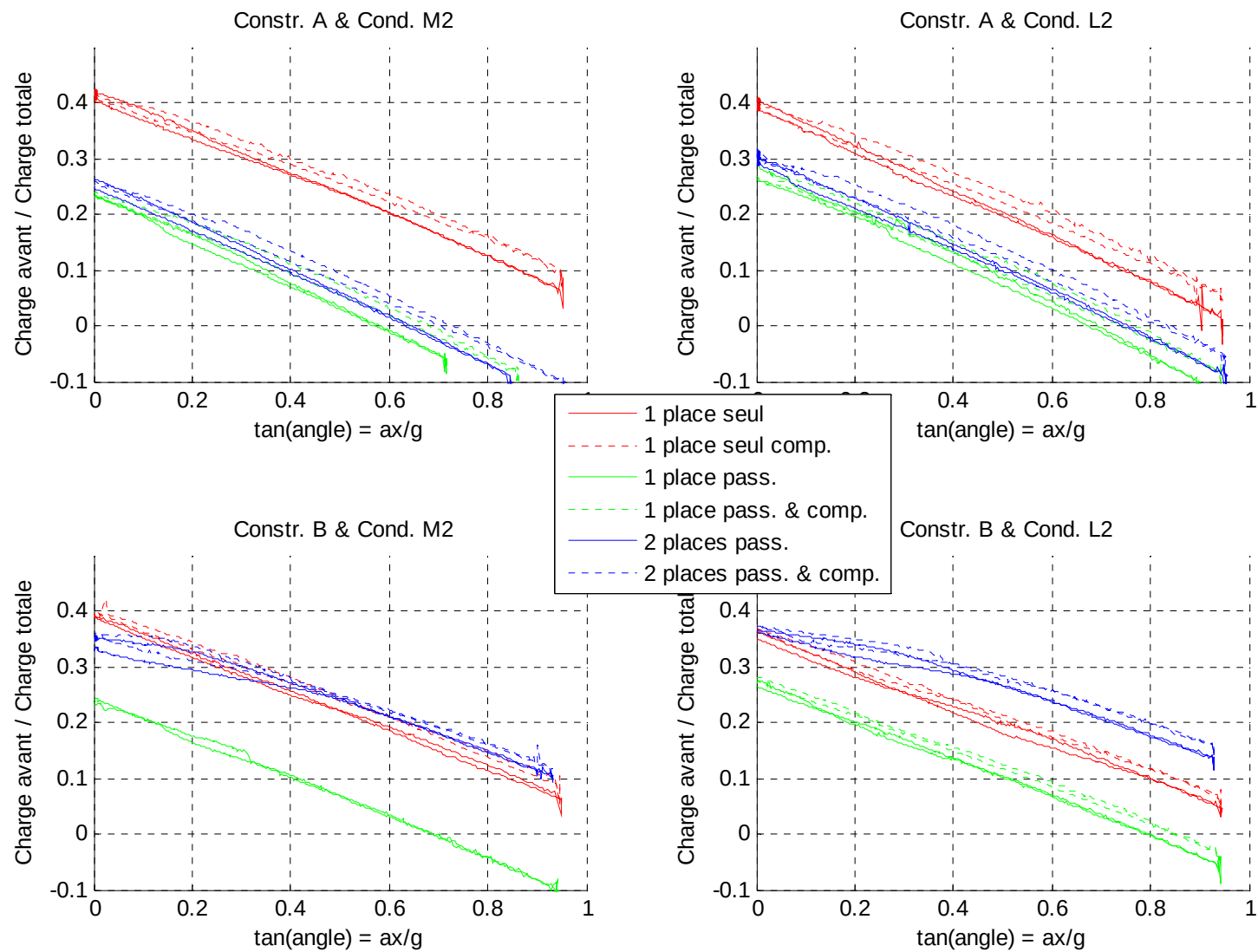


Figure 12 : Renversement longitudinal vers l'arrière

7 Essais dynamiques sur piste

La figure 13 montre une motoneige avec un siège d'appoint instrumentée à l'aide de capteurs réunis dans une boîte fixée à l'arrière de la motoneige. Les capteurs utilisés sont indiqués sur la même figure 13.

Les essais ont eu lieu dans une section du sentier pour motoneiges de Beauport à Québec. Deux types d'essai ont été exécutés :

- Essais de freinage
- Essais de manœuvrabilité

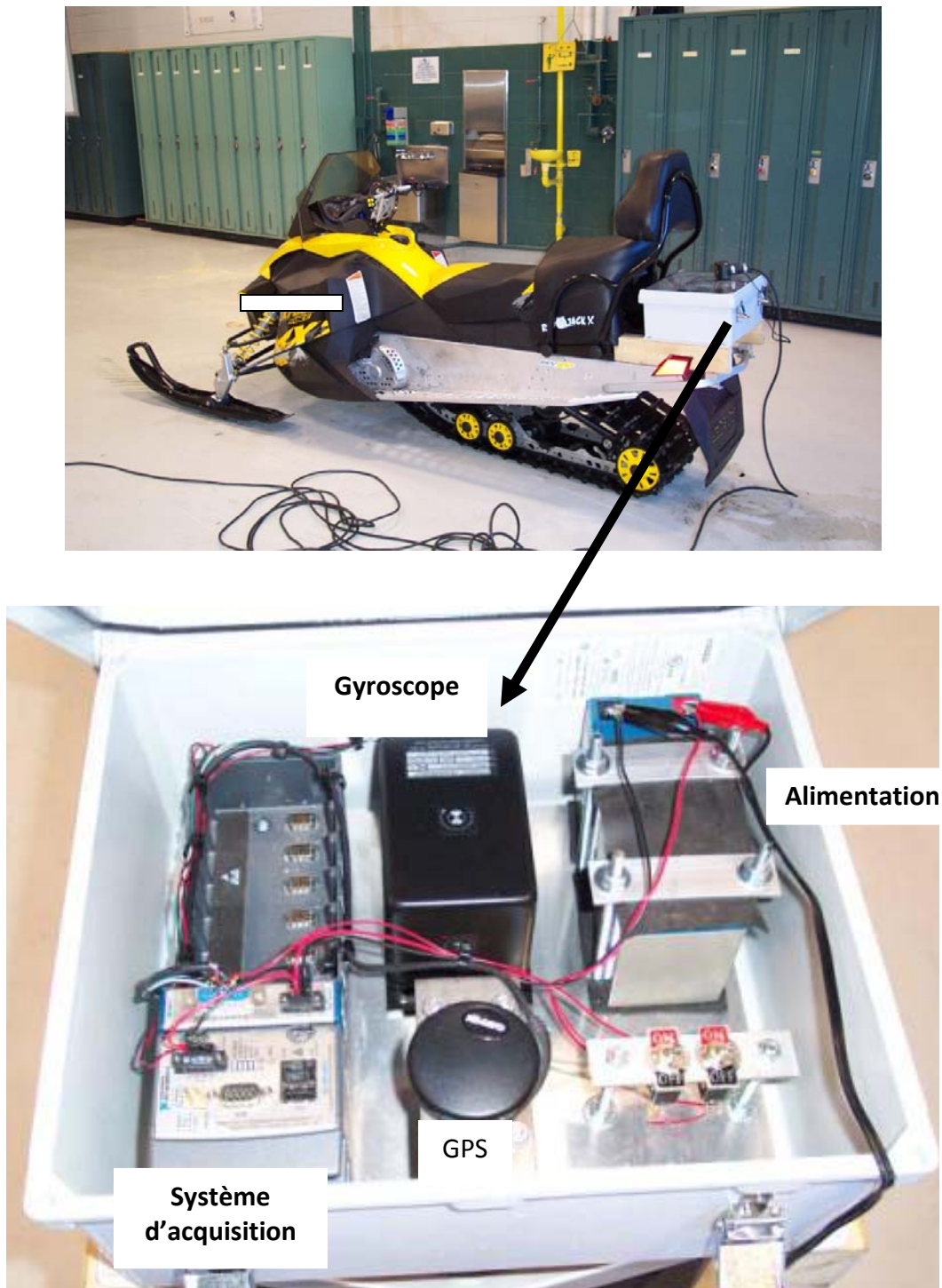


Figure 13 :Montage d'essais dynamiques.

7.1 Essais de freinage

La figure 14 montre les résultats d'essai de freinage et d'accélération pour la motoneige montrée sur la figure 13. On observe sur la figure 14 que les niveaux d'accélération dépendent du chauffeur. Pour le chauffeur M3, les niveaux d'accélération et de freinage sont plus élevés. La présence du passager sur le siège d'appoint ne dégrade pas les capacités de freinage de la motoneige avec siège d'appoint. Ce résultat ne fait que confirmer les résultats observés sur la table de renversement vers l'avant. En effet, la figure 11 montre que la présence d'un passager a pour effet d'augmenter la charge arrière ce qui diminue la probabilité de blocage de la chenille.

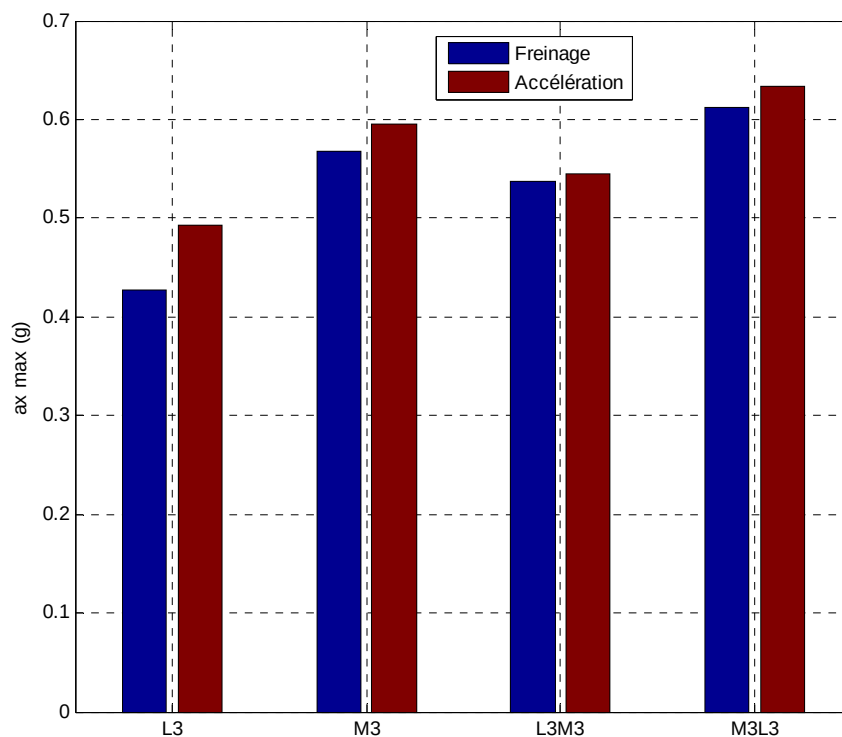


Figure 14 : Accélérations et décélérations maximales enregistrées durant les essais en ligne droite

7.2 Essais de manœuvrabilité

Les essais de manœuvrabilité consistent à imposer un angle maximal au volant (jusqu'à la butée) et d'accélérer graduellement le véhicule jusqu'à l'apparition d'un début de renversement. Les essais sont effectués dans les deux sens de rotation : horaire et antihoraire. La figure 15 illustre les résultats enregistrés durant ces essais. Notons que durant l'essai effectué par le conducteur L3 (ligne rouge, antihoraire), celui-ci s'est repris en constatant qu'il effectuait son essai dans le mauvais sens (horaire), d'où le changement de direction de la seconde courbe en trait rouge. L'évolution des courbes, exprimant la variation de la vitesse angulaire en fonction de la vitesse du véhicule, démontre à faibles vitesses un comportement neutre qui évolue, à 13 km/h environ, vers un comportement sous-vireur. L'ajout du passager, dans les conditions d'essai, n'accentue pas davantage ce comportement.

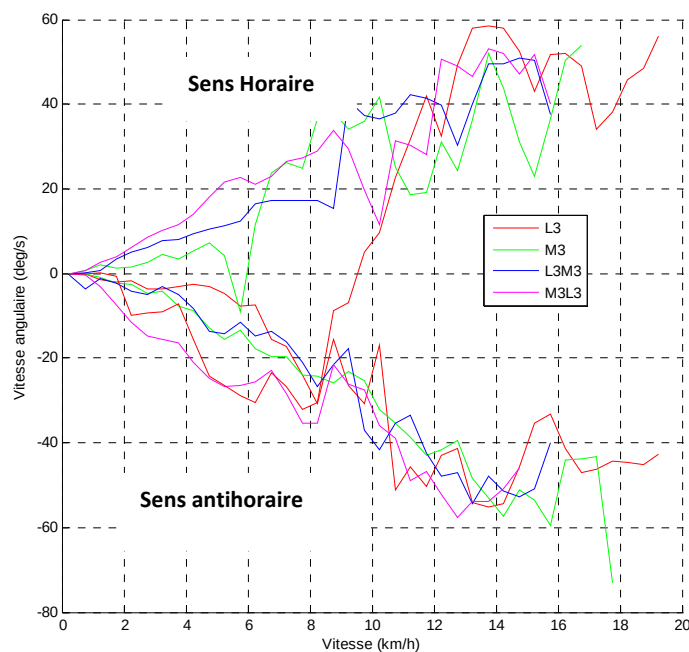


Figure 15 :Vitesse angulaire verticale de la motoneige d'essai en fonction de sa vitesse

8 Conclusion

Trois montages expérimentaux ont été mis au point pour analyser l'influence de la présence d'un passager sur le comportement d'une motoneige conçue pour un conducteur seulement. Ces montages avaient pour but principal de caractériser l'évolution des seuils de renversement latéral et longitudinal alors que la charge transportée par la motoneige monoplace avec siège d'appoint est sensiblement augmentée par la masse du passager. Les résultats obtenus de ces investigations se résument comme suit :

Renversement latéral

- Les seuils enregistrés sont fonction de la charge transportée. Plus celle-ci augmente, plus le seuil diminue.
- Les niveaux des seuils observés sont comparables à ceux obtenus pour des motoneiges à deux places. Néanmoins, cette performance est à relativiser dans la mesure où les rigidités des ressorts de suspension de la motoneige à une place sont plus faibles que celles qui caractérisent les motoneiges à deux places. Ces faibles rigidités des ressorts de suspension de la motoneige à une place se traduisent, en présence d'un passager, par une augmentation limitée de la hauteur du centre de gravité.
- Les compensations produites par les mouvements du conducteur et du passager contribuent à augmenter les seuils de renversement.

Renversement longitudinal vers l'arrière

- La présence d'un passager contribue à faire reculer la position longitudinale vers l'arrière ce qui se traduit par une baisse des seuils de renversement.
- Les seuils de renversement de ces motoneiges se situent autour de 0.65 g. Ce niveau d'accélération implique que la conduite de ces motoneiges sur des pentes peut compromettre la sécurité du conducteur et du passager.

Renversement longitudinal vers l'avant

Grâce au mécanisme de limitation de transfert de la charge vers l'avant, aucune configuration de motoneige n'a fait l'objet d'un renversement.

Manœuvrabilité

La présence d'un passager implique une répartition de la charge vers l'arrière qui se traduit durant un virage en un comportement de type sous-vireur. Plus la charge vers l'arrière augmente, plus le comportement sous-vireur de la motoneige s'accroît d'où une nécessaire adaptation de conduite de la part du conducteur.

9 Recommandations

Les résultats d'essais effectués sur plusieurs motoneiges les plus utilisées au Québec démontrent que le comportement d'une motoneige à une place, modifiée par l'ajout d'un siège d'appoint pour transporter un passager, est intimement liée à la charge transportée. Nous recommandons que :

1. Une motoneige conçue à deux places doit être le choix privilégié pour transporter un passager.
2. Une motoneige monoplace peut être modifiée, par l'ajout d'un siège d'appoint adéquat, pour transporter un passager à la condition que la charge transportée ne dépasse pas la charge maximale permise par le constructeur.
3. Les constructeurs de motoneiges fournissent l'information technique nécessaire quant à l'ajustement des précharges des ressorts de la suspension arrière en fonction de la charge maximale permise.
4. Les utilisateurs des motoneiges transportant un passager se réfèrent aux précautions et conseils de conduite suggérés par les constructeurs dans leur manuel d'utilisation dédiés aux motoneiges à deux places.

Annexe

Montage de mesure de la position du centre de gravité

$$\tan \theta_1 = \frac{x_{cg}}{h_p - h_{cg}}$$

$$m_{cg} d_{cg} = m_m d_m$$

$$m_{cg} (\cos \theta_2 x_{cg} + \sin \theta_2 (h_p - h_{cg})) = m_m (\cos \theta_2 x_m - \sin \theta_2 (h_p + h_m))$$

