

**ESSAIS COMPARATIFS DE FREINAGE
DE VÉHICULES LOURDS ET LÉGERS
SUR PISTES ET SUR DYNAMOMÈTRES
DE FREINS**

V/Dossier: Essais de freinomètres à rouleaux

N/Dossier: P2069

Le 19 janvier 2004

Préparé pour: Monsieur Joseph Bavota, Directeur général
ASMAVERMEQ

Préparé par: Les Expertises TRACK TEST Inc.

SOMMAIRE

Pour faire suite à la demande des membres du conseil d'administration de l'Association des Mandataires en Vérification Mécanique du Québec (ASMAVERMEQ), nous avons réalisé un programme d'essais de freinage de véhicules légers et de véhicules lourds sur pistes et sur dynamomètres de freins de type à rouleaux. Au Québec, les procédures d'utilisation et les normes de conformité liées à l'usage de ces dispositifs, couramment appelés des "freinomètres", sont dictées par le Bulletin Technique #2006 de la Société de l'Assurance Automobile du Québec. Quelques problématiques d'application portant sur certaines normes de conformité proposées dans ce bulletin technique auraient été identifiées par des utilisateurs. Les objectifs du programme d'essais comparatifs que nous avons réalisés étaient donc de tenter de vérifier la validité de certains de ces paramètres techniques, ainsi que d'émettre des recommandations éventuelles.

Suite aux essais réalisés, il apparaît clairement que deux des normes d'efficacité minimale de freinage sur freinomètre proposées dans le BT 2006 s'appliquent mal à certaines configurations de véhicules. En premier lieu, on note que pour de nombreux véhicules légers l'exigence d'efficacité globale de 60% est trop sévère. Suite à notre analyse des résultats des essais et des exigences du règlement américain FMCSR section 393.52, ainsi que des normes techniques canadienne NSVAC 105, nous proposons plutôt l'utilisation d'une valeur minimale d'efficacité globale de freinage de 52%. En second lieu, nous avons observé que, dans le cas de semi-remorques très légères et dotées de nombreux essieux, la charge supportée par chaque essieu lorsque le véhicule est vide peut être suffisamment faible pour empêcher que les freins génèrent l'effort de freinage minimal de 35% exigé, et ce, même si les freins sont en bon état de fonctionnement. Notre analyse indique que pour les semi-remorques de ce type, c'est-à-dire pour les remorques où le poids de l'essieu est inférieur à 1 500 kg, il faudrait permettre une dérogation à la norme.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
DESCRIPTION DES ESSAIS DE FREINAGE SUR PISTES ET SUR DYNAMOMÈTRES	3
RÉSULTATS DES ESSAIS DE FREINAGE DE VÉHICULES LÉGERS	7
RÉSULTATS DES ESSAIS DE FREINAGE DE VÉHICULES LOURDS ..	13
DISCUSSION	18
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	22
PHOTOGRAPHIES	Annexe A
BULLETIN TECHNIQUE #2006 DE LA SAAQ	Annexe B
DESCRIPTION DES VÉHICULES D'ESSAIS	Annexe C
RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE: VÉHICULES LÉGERS SUR FREINOMÈTRE À ROULEAUX	Annexe D
RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE: VÉHICULES LÉGERS SUR PISTE ASPHALTÉE	Annexe E
RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE: VÉHICULES LOURDS SUR FREINOMÈTRE À ROULEAUX ...	Annexe F
RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE: VÉHICULES LOURDS SUR PISTE ASPHALTÉE	Annexe G
FHWA FEDERAL MOTOR CARRIER SAFETY REGULATIONS, ARTICLE 393.52	Annexe H
NORMES TECHNIQUES NSVAC 105	Annexe I

INTRODUCTION

Pour faire suite à la demande des membres du conseil d'administration de l'Association des Mandataires en Vérification Mécanique du Québec (ASMAVERMEQ), nous avons réalisé un programme d'essais de freinage de véhicules légers et de véhicules lourds sur pistes et sur dynamomètres de freins de type à rouleaux. Notons que ces dispositifs sont couramment appelés des "freinomètres". Au Québec, les procédures d'utilisation et les normes de conformité liées à leur usage lors de l'entretien et la vérification mécanique périodique de véhicules sont dictées par le Bulletin Technique #2006 de la SAAQ (BT 2006) intitulé : *Freinomètres à rouleaux ou à plaques : procédures d'utilisation et normes de conformité des freins*. (voir Annexe B du présent rapport). Plusieurs membres de l'ASMAVERMEQ, ainsi que des représentants de manufacturiers de freinomètres auraient identifié des problèmes dans l'application de certaines normes de conformité proposées par le BT 2006 qui semblent mal s'appliquer à certaines configurations de véhicules lourds et légers. Les objectifs du programme d'essais comparatifs que nous avons réalisé étaient donc de tenter de vérifier la validité de certains des paramètres techniques du Bulletin Technique #2006, ainsi que d'émettre des recommandations éventuelles.

Au Québec, une cinquantaine de dynamomètres de freins de diverses marques et modèles sont actuellement utilisés quotidiennement chez des entreprises de transport et chez des mandataires en vérification mécanique de la SAAQ. La plupart de ces appareils, installés dans des garages ou sur des aires de service, sont de type freinomètres à rouleaux. Il existe également des freinomètres à plaques dont le principe de fonctionnement diffère, mais tous ces dispositifs permettent d'obtenir des résultats sous la forme de pourcentages d'efficacité de freinage par

essieux ou groupes d'essieux. En ce moment, le Québec est l'endroit en Amérique du Nord où l'on retrouve la plus grande concentration de ce type d'équipement, dont l'utilisation est surtout répandue en Europe Centrale et dans les pays scandinaves. Pour des raisons principalement de limitations de coûts lors de nos essais, nous avons concentré notre analyse sur les freinomètres de type à rouleaux. Toutefois, les problématiques techniques identifiées s'appliquent également généralement aux freinomètres de type à plaques.

Les essais de freinage de véhicules légers sur piste et sur freinomètre ont été réalisés au Centre de vérification CAA DORVAL, situé au 550, Boulevard des Sources à Dorval, ainsi que sur les terrains de l'aéroport de Dorval le 18 juin 2003. De leur côté, les essais de freinage de véhicules lourds sur piste et sur freinomètre ont été réalisés chez CUMMINS EST DU QUÉBEC, situé au 2 400, rue Watt à Sainte-Foy, ainsi que dans la zone industrielle du Parc technologique de Sainte-Foy les 10 juillet et 9 septembre 2003. Lors de nos travaux, un total de huit véhicules légers et de deux ensembles tracteur routier et semi-remorque ont été mis à l'essai.

DESCRIPTION DES ESSAIS DE FREINAGE SUR PISTES ET SUR DYNAMOMÈTRES

Lors de tous les essais de freinage réalisés sur piste, l'instrumentation utilisée est un système d'enregistrement de données en temps réel par satellites (fréquence GPS de 20 Hertz) de marque RACELOGIC, modèle V-BOX, doté d'une précision d'acquisition de vitesse de 0,1 km/h (photos #21, #22 et #50).

Pour les essais de véhicules légers, le freinomètre utilisé est celui installé chez CAA DORVAL (voir photo #1 à l'Annexe A). Il s'agit d'un équipement de type à rouleaux qui est conçu pour les véhicules légers. Ce freinomètre de marque BEM MULLER, modèle SUN SBA 5000, doté d'un système d'acquisition BILANMATIC 7500, porte le numéro de série #3146 et a été manufacturé en 1997 (photos #2 à #4). Par ailleurs, la piste d'essais de freinage utilisée pour les véhicules légers est une route privée asphaltée d'un chemin d'accès de l'aéroport de Dorval (photos #19 et #20).

Les huit véhicules légers d'essais utilisés sont de divers types, marques et modèles (voir description détaillée des véhicules d'essais à l'Annexe C). Ils s'agit des véhicules suivants : un véhicule sport utilitaire de marque NISSAN, modèle Pathfinder , 1997 (photos #5 à #7), une compacte 4 portes de marque PONTIAC, modèle Sunbird, 1993 (photos #11 à #13), une mini fourgonnette de marque PONTIAC, modèle Montana, 2002 (photos #15 à #17), une camionnette de marque GMC, modèle Sierra, 2002 (photos #23 à #25), un véhicule sport utilitaire de marque LAND ROVER, modèle Freelander, 2002 (photos #27 à #29), une compacte 4 portes de marque MAZDA, modèle Protégé, 2002 (photos #31 à #33), une berline pleine grandeur de marque MERCEDES-BENZ, modèle 190 E, 1990 (photos #35 à #38), ainsi qu'une mini fourgonnette de marque CHEVROLET, modèle Venture, 2000 (photos #39 à #41).

Préalablement aux essais, chacun des véhicules est vérifié visuellement pour s'assurer de

son bon état de marche, ainsi que du gonflement adéquat des pneus et de l'absence d'anomalie au niveau des bandes de roulement et de la carcasse des pneus. Le bon fonctionnement du freinomètre est également vérifié. Lors des essais sur freinomètre, les procédures d'essai exigées dans le BT 2006 sont toujours respectées en tous points. Pour chacun des véhicules, trois essais consécutifs complets sur le freinomètre sont effectués (photos #8, #14, #18, #26, #30, #34, #38 et #42). Lors de ces essais, chacun des essieux est initialement pesé sur les plaques situées directement devant les rouleaux et ensuite la force de freinage de chacun des freins est mesurée sur les rouleaux (photos #9 et #10). Suite à chaque série d'essais sur un véhicule, ce dernier est ensuite conduit jusqu'à la piste d'essais située à moins de 2 kilomètres de distance. À cet endroit, au moins 3 essais consécutifs de freinage d'intensité moyenne sont effectués jusqu'à l'arrêt complet du véhicule, à partir d'une vitesse de 30 km/h et ensuite de 60 km/h. La procédure de freinage utilisée est celle définie dans les normes techniques NSVAC 105 et 121, où le freinage est effectué au maximum de décélération disponible sans bloquer les roues du véhicule d'essais. On note que, le jour de ces essais, la piste asphaltée utilisée était sèche et la température extérieure était de 25°C (photos #19 et #20). Le technicien et pilote d'essai collaborant à nos essais de véhicules légers est Monsieur Daniel Lepage de CAA DORVAL. Nos observations confirment qu'il s'agit d'un technicien d'expérience qui connaît bien les procédures d'opération du freinomètre BEM MULLER et maîtrise bien son fonctionnement.

En ce qui concerne les essais de freinage de véhicules lourds, le freinomètre utilisé est celui installé chez CUMMINS EST DU QUÉBEC (photos #43 et #44). Il s'agit d'un équipement de type à rouleaux qui est conçu pour les véhicules lourds. Ce freinomètre, de marque EWJ TEKNIK A/S, modèle 92635, porte le numéro de série #9617 et a été manufacturé en 2002 (photos #45 à #49). Par ailleurs, la piste d'essais de freinage utilisée pour les véhicules lourds est une route asphaltée

rectiligne située dans la zone industrielle du Parc Technologique de Sainte-Foy (photos #60 et #74).

Les deux combinaisons tracteur semi-remorque utilisées (voir description détaillée des véhicules d'essais à l'Annexe C) sont les suivants : un tracteur routier de marque INTERNATIONAL, modèle 9200i, 2003 et une semi-remorque à plate forme surbaissée de marque TRANSCRAFT, modèle DTL, 2000 (photos #51 à #56), ainsi qu'un tracteur routier de marque INTERNATIONAL, modèle 9100i, 2002 et une semi-remorque à plate forme en alliage d'aluminium de marque MANAC, modèle 16448106, 2003 (photos #61 à #70).

Préalablement aux essais, l'état mécanique et l'ajustement des freins de chacun des véhicules est vérifié visuellement. De même, le bon état des pneus et leur pression de gonflage sont vérifiés. Le bon fonctionnement du freinomètre est également vérifié. Lors des essais sur freinomètre, les procédures d'essais du BT 2006 sont suivies. Pour chacun des véhicules, trois essais consécutifs complets sur le freinomètre sont effectués (photos #57 à #59 et #71 à #73). Lors de ces essais, chacun des essieux est placé à tour de rôle sur les rouleaux, où la charge supportée par l'essieu est pesée et où la force de freinage de chacun des freins est mesurée. Suite aux essais sur le freinomètre, chaque combinaison de véhicules est déplacée jusqu'au site d'essais sur route située à quelques kilomètres de distance. À cet endroit, au moins 3 essais consécutifs de freinage d'intensité moyenne sont effectués jusqu'à l'arrêt complet du véhicule, à partir d'une vitesse de 30 km/h. Les mêmes procédures de freinage que pour les véhicules légers sont alors appliquées. Des essais avec le tracteur seulement, ainsi qu'avec les freins de la semi-remorque uniquement (utilisation du levier BENDIX situé à droite de la colonne de direction) sont également réalisés. Lors des deux journées d'essais, la route asphaltée utilisée était propre et sèche et la température extérieure se situait entre 18°C et 26°C (photos #60 et #74). Le technicien et

pilote d'essai collaborant à nos essais de véhicules lourds est Monsieur Claude Beaudoin de CUMMINS. Nos observations confirment qu'il s'agit d'un technicien expérimenté, qui maîtrise bien l'opération du freinomètre EWJ et qui possède une très bonne expérience de la conduite de combinaisons de véhicules lourds.

RESULTATS DES ESSAIS DE FREINAGE DE VÉHICULES LÉGERS

Le programme d'essais de freinage nous a permis d'enregistrer une grande quantité de données techniques. Le tableau 1 ci-dessous présente un résumé des efficacités de freinage obtenues sur freinomètre lors des essais des huit véhicules légers (les résultats d'essais complets sont présentés à l'Annexe D).

Tableau 1 - Résultats des essais de véhicules légers sur freinomètre

Véhicule d'essai	Essai #1		Essai #2		Essai #3	
	Efficacité globale	Efficacité essieu avant	Efficacité globale	Efficacité essieu avant	Efficacité globale	Efficacité essieu avant
V1 - NISSAN Pathfinder 1995	59%	70%	60%	75%	58%	67%
V2 - PONTIAC Sunbird 1993	67%	66%	70%	70%	68%	68%
V3 - PONTIAC Montana 2002	53%	58%	51%	59%	51%	58%
V4 - GMC Sierra 2002	54%	54%	55%	57%	55%	56%
V5 - LAND ROVER Freelander 2002	63%	68%	60%	67%	62%	69%
V6 - MAZDA Protégé 2002	60%	68%	57%	64%	59%	65%
V7 - MERCEDES-BENZ 190E 1990	56%	65%	58%	63%	56%	67%
V8 - CHEVROLET Venture 2000	54%	50%	54%	57%	56%	58%

Dans le tableau 1, on note que, pour quatre des huit véhicules (V3, V4, V7 et V8), l'efficacité globale de freinage obtenue lors des trois essais est inférieure à 60%. Ces quatre véhicules sont donc considérés en déféctuosité mineure selon les exigences du BT 2006. Pour deux

autres véhicules (V1 et V6), 2 des 3 essais montrent une efficacité globale inférieure à 60%. Dans ce cas-ci, les deux véhicules sont considérés en conformité, car ils répondent à l'exigence de 60% d'efficacité globale lors d'au moins 1 des essais. Par ailleurs, les résultats des essais présentés à l'Annexe D révèlent que la symétrie de freinage des huit véhicules légers ne présente aucune anomalie telle que définie dans BT 2006.

En ce qui concerne les variations de lecture d'efficacité globale de freinage pour chaque série d'essais, on note des écarts maximums de 2 ou 3 %. Ceci représente, dans le pire cas, une marge d'erreur de lecture de moins de 5,3%, ce qui est bien. De plus, notre analyse des résultats bruts de l'Annexe D indique que les variations de mesures de poids total des véhicules n'excèdent jamais 2%. L'erreur de lecture de poids effectuée à partir du freinomètre est donc faible. En ce qui concerne la variation des lectures de force totale de freinage, dans la majorité des cas elle se situe à moins de 5% et n'excède jamais 7.5%. Pour ce qui est des résultats d'efficacité de freinage de l'essieu avant, la répétitivité est moins bonne, avec une variation moyenne de 6% et des écarts maximums de 11,9% et 14% pour V1 et V8 respectivement. Dans ces cas, où une variation plus importante existe, une mauvaise manipulation ou une erreur dans la procédure d'essai est généralement à blâmer et un quatrième essai pourrait alors permettre d'éliminer l'essai dont le résultat diffère le plus des autres, de manière à conserver une marge d'erreur de lecture de force totale de l'ordre de 5% à 6%. La répétitivité des essais est donc généralement bonne, ce qui indique que le freinomètre et les procédures utilisées sont adéquats.

Le tableau 2 de la page suivante présente, pour les vitesses initiales de 30 km/h et 60 km/h, les performances de décélérations moyennes et maximales obtenues lors des essais de freinage des mêmes véhicules légers sur piste.

Tableau 2 - Résultats des essais de freinage de véhicules légers sur piste

Véhicule d'essai	Freinage à partir de 30 km/h		Freinage à partir de 60 km/h	
	d_{moy}	d_{max}	d_{moy}	d_{max}
V1 – NISSAN Pathfinder 1995	0,54 g	0,68 g	0,47 g	0,72 g
V2 – PONTIAC Sunbird 1993	0,46 g	0,65 g	0,47 g	0,73 g
V3 – PONTIAC Montana 2002	0,51 g	0,74 g	0,46 g	0,80 g
V4 – GMC Sierra 2002	0,46 g	0,65 g	0,44 g	0,66 g
V5 – LAND ROVER Freelander 2002	0,41 g	0,64 g	0,47 g	0,68 g
V6 – MAZDA Protégé 2002	0,49 g	0,76 g	0,54 g	0,86 g
V7 – MERCEDES-BENZ 190E 1990	0,52 g	0,73 g	0,52 g	0,81 g
V8 – CHEVROLET Venture 2000	0,49 g	0,68 g	0,47 g	0,74 g

Dans le tableau 2, on note que les résultats de décélération des huit véhicules sont adéquats, avec des taux de décélérations maximales variant de 0,64 g à 0,86 g et des taux moyens variant de 0,41 g à 0,54 g. Il est utile de mentionner ici que la surface d'essais était poussiéreuse et que notre pilote d'essai n'était pas un professionnel, ce qui explique pourquoi les résultats dynamiques de décélérations moyennes ne sont pas aussi élevés que ceux observés lors d'essais effectués pour des manufacturiers. Ces résultats sont toutefois assez élevés pour confirmer le bon fonctionnement des freins de tous les véhicules d'essais. Les graphiques détaillés des résultats de ces essais sur piste sont présentés à l'Annexe E du rapport. De façon générale, les taux de décélération obtenus,

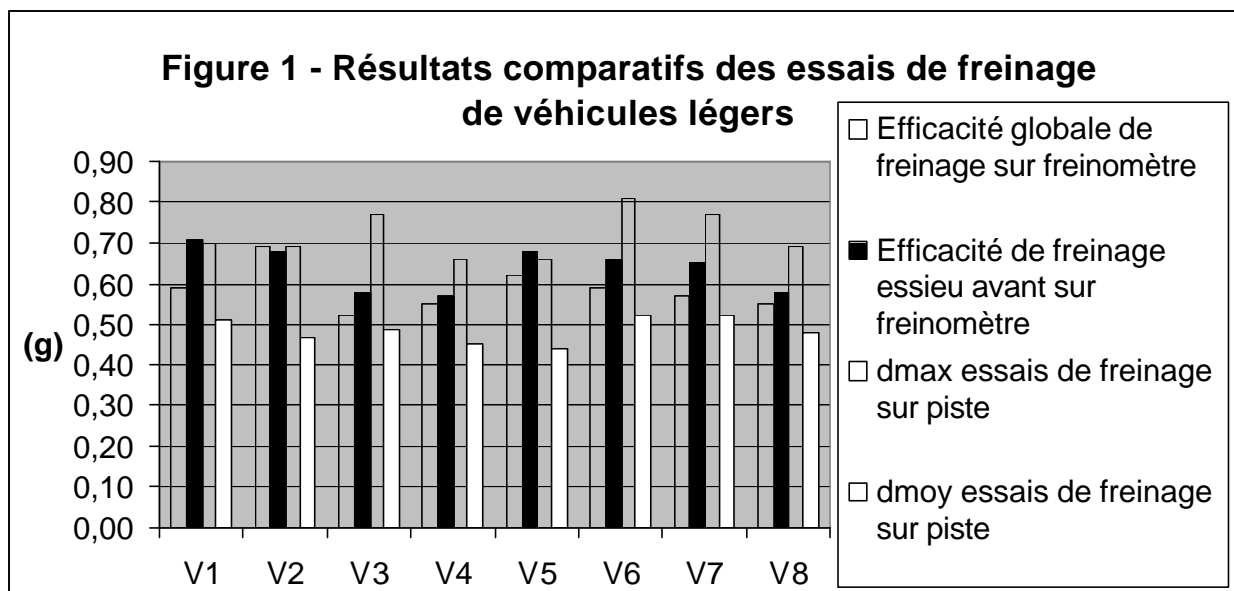
ainsi que les profils des courbes de décélération de l'Annexe E confirment que les système de freinage des huit véhicules fonctionnent bien. Ceci confirme nos observations effectuées lors de la conduite des essais de freinage sur piste, où nous n'avions noté aucun problème de fonctionnement ou de performance en freinage des véhicules. Les résultats obtenus sur freinomètre en utilisant les critères du BT 2006 indiquent par contre que quatre des huit véhicules légers sont en déféctuosité mineure en terme d'efficacité globale de freinage. Il semble donc y avoir une grande différence entre les résultats obtenus sur piste et ceux obtenus sur freinomètre, ce qui est anormal.

Tableau 3 - Résultats comparatifs des essais de freinage de véhicules légers sur freinomètre et sur piste

Véhicule d'essai	Efficacité globale de freinage obtenue sur le freinomètre (moyenne des 3 essais)	Efficacité de freinage essieu avant obtenue sur le freinomètre (moyenne des 3 essais)	Décélération moyenne d_{moy} obtenue en freinage sur piste (moyenne des essais à 30 et 60 km/h)	Décélération maximale d_{max} obtenue en freinage sur piste (moyenne des essais à 30 et 60 km/h)
V1	0,59 g	0,71 g	0,51 g	0,70 g
V2	0,69 g	0,68 g	0,47 g	0,69 g
V3	0,52 g	0,58 g	0,49 g	0,77 g
V4	0,55 g	0,57 g	0,45 g	0,66 g
V5	0,62 g	0,68 g	0,44 g	0,66 g
V6	0,59 g	0,66 g	0,52 g	0,81 g
V7	0,57 g	0,65 g	0,52 g	0,77 g
V8	0,55 g	0,58 g	0,48 g	0,69 g

Il est ici utile de spécifier que les évaluations de freinage statique du freinomètre, données en

pourcentage d'efficacité, peuvent être directement présentées sous la forme de fractions de 1 g (accélération gravitationnelle équivalente à $9,81 \text{ m/s}^2$). Par exemple, une efficacité de 50% équivaudra alors à une capacité de décélération de 0,50 g. Il est ainsi possible de comparer les résultats obtenus à l'aide du freinomètre avec ceux obtenus sur piste. Le tableau 3 et la figure 1 offrent un résumé comparatif de ces données, où la moyenne des résultats obtenus sur piste à 30 km/h et 60 km/h est présentée.



Au tableau 3 et à la figure 1, on note qu'il y a une grande variabilité des résultats sur ce petit échantillonnage d'essais. Toutefois, l'analyse de ces résultats indique clairement que l'exigence d'efficacité globale de freinage de 60% du BT 2006 est trop sévère. La capacité de décélération maximale d_{max} des huit véhicules se situe entre 0,66 g et 0,81 g et la décélération moyenne d_{moy} varie de 0,44 g à 0,52 g. Ces bons résultats confirment que ces véhicules de promenade possèdent un système de freinage fonctionnant tout à fait adéquatement. Il est donc anormal que le

freinomètre semble indiquer la présence de défauts, même mineurs.

Lors d'un freinage dynamique sur route, il y a transfert de poids important du véhicule vers l'avant, ce qui augmente la sollicitation des freins avant du véhicule. Ces derniers étant généralement beaucoup plus puissants et efficaces que les freins arrière, l'effort de freinage obtenu est alors important. Dans le cas d'un essai sur freinomètre, le phénomène de transfert de poids vers l'avant est absent et, ainsi, les puissants freins avant ne sont pas sollicités à pleine capacité. De plus, la calibration des systèmes de freinage étant conçue pour empêcher les freins arrière de bloquer avant les freins avant, la plupart des manufacturiers équipent les véhicules de promenade de dispositifs limitant la pression hydraulique envoyée aux freins arrière ou, encore, installent des freins plus petits à l'arrière. Il est donc normal que les freins arrière de véhicules légers montrent souvent des efficacités médiocres sur freinomètre. L'ensemble de ces facteurs explique pourquoi les résultats obtenus sur freinomètre sont toujours plus faibles que ceux obtenus sur route. Par conséquent, les critères de conformité du BT 2006 doivent refléter ces différences par rapport à la réalité, ce qui ne semble pas être le cas actuellement, le taux minimal de 60% étant visiblement trop élevé.

RESULTATS DES ESSAIS DE FREINAGE DE VÉHICULES LOURDS

En ce qui concerne les essais de freinage effectués avec les deux ensembles de véhicules lourds, nous avons également colligé une grande quantité de données techniques. Le tableau 4 ci-dessous présente un résumé des efficacités globales de freinage obtenues sur freinomètre pour chacune des unités de véhicules, ainsi que pour les deux combinaisons de véhicules. Les résultats d'essais complets sur freinomètre sont présentés à l'Annexe F du rapport.

Tableau 4 - Résultats des essais de véhicules lourds sur freinomètre

Véhicule d'essai	Essai #1	Essai #2	Essai #3
	Efficacité globale de freinage	Efficacité globale de freinage	Efficacité globale de freinage
TRACTEUR ROUTIER 1	56%	59%	58%
SEMI-REMORQUE 1	52%	55%	54%
ENSEMBLE 1 ¹	55%	58%	57%
TRACTEUR ROUTIER 2	62%	52%	56%
SEMI-REMORQUE 2	46%	43%	46%
ENSEMBLE 2	55%	48%	51%

1 : obtenu par calculs à partir des résultats des deux lignes précédentes

Au tableau 4, on note que, pour toutes les configurations de véhicules, l'efficacité globale de freinage varie de 43% à 62%. L'exigence d'efficacité globale minimale de freinage du BT 2006 pour un véhicule lourd étant de 40%, tous les véhicules d'essais sont donc conformes.

En ce qui concerne les variations de lecture d'efficacité globale de freinage pour chaque série d'essais, on note généralement des écarts maximums de 3 points de pourcentage, ce qui représente une marge d'erreur de lecture de moins de 7,0%. Toutefois, dans le cas des véhicules TRACTEUR 2 et ENSEMBLE 2, les écarts sont plus importants, avec un écart de 19,2% et donc une marge d'erreur de 14,6%. Tout comme pour les essais sur freinomètre de véhicules légers, dans ces cas où une variation plus importante existe, une mauvaise manipulation ou une erreur dans la procédure d'essai est généralement à blâmer. Un quatrième essai pourrait alors permettre d'éliminer l'essai dont le résultat diffère le plus des autres, de manière à conserver une marge d'erreur de lecture de force totale de l'ordre de 7%. De plus, notre analyse des résultats bruts de l'Annexe F indique que les variations de mesures de poids total pour chaque unité de véhicule n'excèdent jamais 2%. L'erreur de lecture de poids du freinomètre est donc ici aussi relativement faible. De façon générale, la répétitivité des essais est donc adéquate, mais il faut toutefois que l'opérateur du freinomètre soit attentif à la qualité des résultats en terme de répétitivité.

Par ailleurs, les résultats d'efficacités de freinage obtenues sur le freinomètre pour chacun des freins de la semi-remorque REMORQUE 2 montrent que, selon les exigences du BT 2006, deux des freins sont en déféctuosité. En effet, tel que présenté au tableau 5 de la page suivante, le frein situé du côté droit de l'essieu auto-vireur, ainsi que celui situé du côté droit du second essieu ne génèrent pas l'efficacité de fonctionnement minimale de plus de 35% exigée dans le BT 2006. Des efficacités de freinage de 29% et 34% respectivement sont en effet enregistrées par le freinomètre. Il paraît anormal de déclarer les freins de ce véhicule en non conformité, car la semi-remorque est toute neuve (elle sort de l'usine) et ses freins sont tous bien ajustés et ne présentent aucun défaut apparent de fonctionnement.

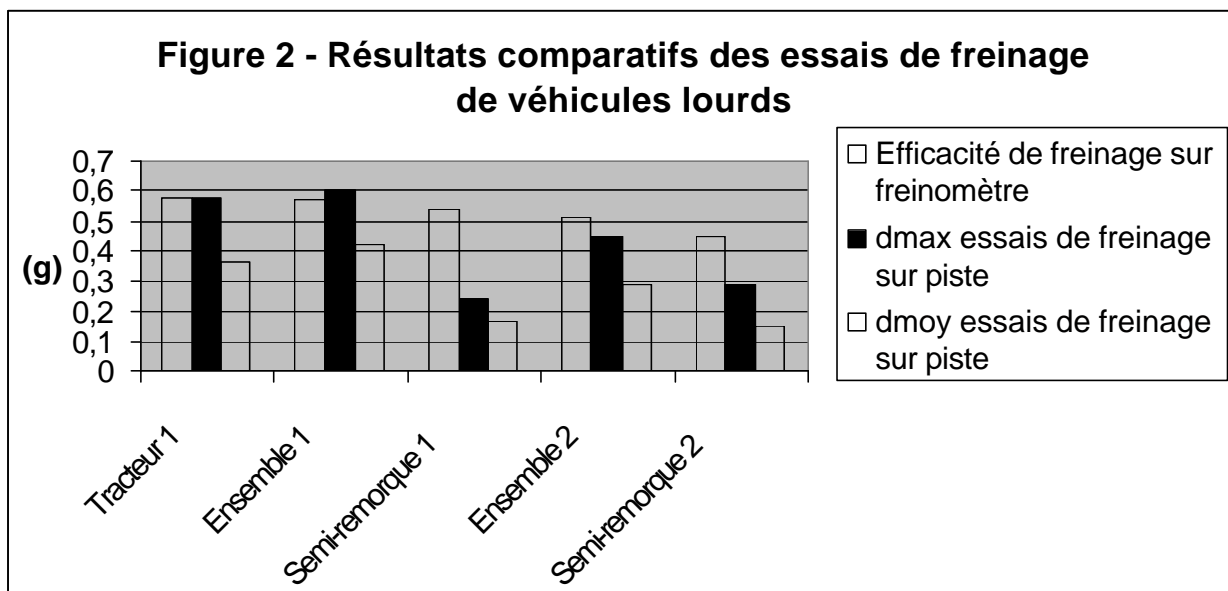
**Tableau 5 - Performances de freinage obtenues sur freinomètre
pour les freins de la semi-remorque 2**

Frein	Essai #1	Essai #2	Essai #3
Côté gauche essieu auto-vireur	48%	43%	53%
Côté droit essieu auto-vireur	28%	29%	29%
Côté gauche essieu #2	43%	39%	38%
Côté droit essieu #2	34%	34%	34%
Côté gauche essieu #3	53%	44%	55%
Côté droit essieu #3	36%	38%	36%
Côté gauche essieu #4	58%	52%	56%
Côté droit essieu #4	60%	59%	55%

Le tableau 6 et la figure 2 des pages suivantes présentent les résultats comparatifs d'efficacité de freinage sur freinomètre et de performance de décélération moyenne et maximale sur piste pour les différentes configuration de véhicules lourds mises à l'essai. Ces résultats confirment que les freins des deux ensembles de véhicules fonctionnent efficacement, avec des capacités de décélération maximale d_{max} de 0,60 g et 0,45 g. En effet, dans les deux cas, ces capacités de décélération répondent à l'exigence minimale de 0,435 g du FHWA (voir Annexe H).

**Tableau 6 - Résultats comparatifs des essais de freinage
de véhicules lourds sur freinomètre et sur piste**

Véhicule d'essai	Efficacité globale de freinage obtenue sur le freinomètre (moyenne des 3 essais)	Décélération moyenne d_{moy} obtenue en freinage sur piste	Décélération maximale d_{max} obtenue en freinage sur piste
TRACTEUR 1	0,58 g	0,36 g	0,58 g
ENSEMBLE 1	0,57 g	0,42 g	0,60 g
REMORQUE 1	0,54 g	0,17 g	0,24 g
ENSEMBLE 2	0,51 g	0,29 g	0,45 g
REMORQUE 2	0,45 g	0,15 g	0,29 g



Par ailleurs, les résultats du tableau 6 et de la figure 2 montrent une capacité de décélération maximale d_{\max} de 0,24 g et 0,29 g, ainsi qu'une capacité de décélération moyenne d_{moy} variant de 0,15 g à 0,17 g pour les 2 semi-remorques, ce qui est relativement faible. Il faut toutefois noter que le poids du tracteur devait alors également être ralenti par les freins de la semi-remorque. Lors des essais sur piste, nous avons observé que les roues des remorques vides se bloquaient très facilement et rapidement au freinage, ce qui limitait grandement la décélération que le chauffeur pouvait obtenir. Le faible poids supporté verticalement par les roues de la remorque explique donc pourquoi les freins étaient si inefficaces. Le même phénomène permet fort probablement d'expliquer les faibles résultats d'au moins deux des freins observés lors des essais sur freinomètre du véhicule REMORQUE 2.

À vide, les semi-remorques de type à plate-forme ou encore de type châssis à conteneur offrent une efficacité de freinage relativement faible. Ceci ne constitue pas un défaut de design du véhicule, mais plutôt l'une de ses caractéristiques de fonctionnement. Ce type de véhicule lourd est appelé à freiner seulement lorsqu'il est attelé derrière un tracteur routier et lors du freinage de la combinaison de véhicules. La performance de décélération est alors adéquate même si la semi-remorque est vide. Les résultats que nous avons obtenus sur piste le confirment bien. Par contre, lorsque l'efficacité de chaque frein est mesurée sur le freinomètre, en utilisant les critères du BT 2006, on semble déceler un mauvais fonctionnement, alors que cela n'est aucunement le cas. Comme il est exigé que les véhicules lourds inspectés chez les mandataires soient toujours non chargés, les exigences de conformité du BT 2006 devraient normalement considérer ce phénomène, ce qui n'est malheureusement pas le cas actuellement.

DISCUSSION

Suite aux essais réalisés, il apparaît clairement que deux des normes d'efficacité minimale de freinage sur freinomètre proposées dans le Bulletin Technique #2006 s'appliquent mal à certaines configurations de véhicules. Dans deux cas spécifiques, le critère proposé semble en effet trop sévère et peut donc entraîner une déclaration de défectuosité du système de freinage du véhicule bien que les freins de ce dernier soient en bon état de fonctionnement.

En premier lieu, on note que pour de nombreux véhicules légers l'exigence d'une efficacité globale de 60% (0,60 g) dont le non respect entraîne une défectuosité mineure semble trop sévère.

En effet, six des huit véhicules légers mis à l'essai ont présenté des efficacités globales de freinage sur freinomètre inférieure à 60%, alors que, lors des essais dynamiques sur piste, leurs performances de freinage étaient tout à fait adéquates. L'analyse des résultats obtenus sur piste et sur dynamomètre tend à indiquer que le taux de décélération globale minimum devrait plutôt être fixé à 0.528 g pour les véhicules légers. Il s'agit en effet de la capacité de décélération minimum exigée par les réglementations fédérales canadienne et américaine pour les véhicules de promenade.

Dans le cas de la réglementation américaine du U.S. Department of Transportation (DOT), Federal Highway Administration (FHWA), on spécifie dans le *Federal Motor Carrier Safety Regulations* (FMCSR) qu'un véhicule de promenade doté d'un PNBV de moins de 8 000 lb doit être en mesure de freiner avec une capacité de décélération d'au moins 17 pi/s^2 , ce qui correspond à une décélération de 0,528 g (voir article 393.52 du FMCSR présenté à l'Annexe H). Le législateur spécifie que ce taux correspond en fait à la capacité maximale de freinage d'urgence au seuil du véhicule, i.e. sans que les roues ne soient bloquées, qui est enregistrée vers la fin du freinage. Ce taux de décélération

correspond donc aux valeurs d_{max} obtenues lors de nos essais sur pistes. En ce qui concerne la réglementation canadienne régissant les équipements de sécurité des véhicules neufs, on note dans la norme de Transport Canada *NSVAC 105 – Systèmes de freinage hydraulique*, que la distance de freinage maximale à partir d'une vitesse initiale de 48,3 km/h (30 mi/h) est de 17,38 mètres (57 pieds), ce qui correspond également avec un taux de décélération moyen minimal de 0,528 g (voir Tableau II, colonne 1a, dans les normes techniques NSVAC 105 présentées à l'Annexe I). Tel que mentionné, il est ici plutôt question du taux de décélération moyen, mais comme il s'agit d'essais de freinage à relativement basse vitesse, ces exigences américaines et canadiennes portant sur la capacité de freinage des véhicules de promenade s'équivalent, ce qui explique que le taux de performance minimal exigé y est identique. Par conséquent, nous proposons l'utilisation d'un critère de performance d'efficacité globale de freinage pour les véhicules légers de 52%, soit le taux minimal de 0,528 g arrondi vers le bas à 0,52 g ou 52%. En effet, les résultats obtenus à l'aide de la très grande majorité des freinomètres à rouleaux et à plaques sont donnés sous forme de pourcentages sans fractions décimales. En appliquant ce critère de 52% aux huit véhicules légers mis à l'essai, on note alors que tous les véhicules auraient été jugés conformes, puisque lors d'au moins l'un des trois essais consécutifs réalisés sur le freinomètre, une capacité globale de 52% et plus a été enregistrée pour chacun des véhicules légers. Ceci semble donc confirmer la validité de cette valeur limite de 52%.

En second lieu, nous avons observé que, dans le cas de semi-remorques très légères et dotées de nombreux essieux (de types châssis pour longs conteneurs et plate-forme en alliage d'aluminium par exemple), la charge supportée par chaque essieu lorsque le véhicule est vide est si faible que, dépendant de la position des suspensions pneumatiques, certains des freins peuvent

avoir de la difficulté à générer un effort de freinage important sur le freinomètre. Ceci survient alors même si les freins de la semi-remorque sont en parfait état de fonctionnement et implique donc la déclaration, non justifiée, d'une défektivité mineure ou majeure (selon le nombre d'essieux du véhicule, voir BT 2006 à l'Annexe B), si un ou plusieurs freins montrent une efficacité de freinage de 35% ou moins. En effet, lors des essais de freinage sur piste que nous avons effectués avec l'ensemble de véhicules #2, nous n'avons noté aucun défaut de fonctionnement des freins de la semi-remorque, même si deux de ses freins enregistraient des efficacités de moins de 35% sur le freinomètre. La capacité maximale de freinage de l'ensemble de la combinaison de véhicule #2 excédait, lors des essais sur piste, le critère de performance minimale de 14 pi/s^2 ou 0,435 g exigé par les normes nord-américaines (voir article 393.52 du *Federal Motor Carrier Safety Regulations* présenté à l'Annexe H). Suite à l'analyse des résultats obtenus, il semble que, dans les cas où le poids de l'essieu est de moins de 1 500 kg, et que les freins sont de capacité standard (réceptacles de type 30/30), les exigences du BT 2006 peuvent être difficilement applicables. Il faudrait alors permettre une dérogation aux normes de conformité et ne pas déclarer de défektivité si un frein ne permet pas de générer un effort de freinage de plus de 35%. Le technicien devra alors principalement se fier à son inspection visuelle du système de freinage pour déterminer si une défektivité mécanique existe bel et bien. La zone de limite de poids de 1 500 kg est techniquement justifiable, du fait qu'un poids d'environ 750 kg (1 653 lb) est alors associé à chacun des freins. En considérant un coefficient de friction initial de 85% pour le caoutchouc très rigide des pneus de véhicules lourds¹, ainsi qu'un coefficient de friction maximal de 75% pour les rouleaux d'un freinomètre en bon état, on obtient alors un coefficient de friction nominal de 63,75%. Le poids de

¹ Heusser, R.B., *Heavy Truck Deceleration Rates as a Function of Brake Adjustment*, Society of Automotive Engineers Paper No. 910126, February 1991.

750 kg supporté par le frein avec ce coefficient de friction nominal nous permet d'obtenir un effort total transmis entre les bandes de roulement des pneus et les rouleaux de 478 kg. Par ailleurs, on sait qu'un frein à tambour à came en S doté d'un réceptacle de frein standard de type 30/30 génère une force de freinage nominale d'environ 1 406 kg (3 100 lb) en conditions normales¹. L'effort total de 478 kg représente ainsi 34% de la capacité de freinage maximale disponible de 1 406 kg. Ceci explique pourquoi il est alors difficile, voire impossible, d'obtenir une efficacité de freinage de 35% et plus, car il n'y a plus assez de poids sur l'essieu pour permettre au frein de fonctionner efficacement. En fait, les roues sont alors bloquées prématurément lors de l'essai, avant même que les freins ne soient complètement serrés.

Par ailleurs, nous avons noté que les variations de mesures de poids et de force de freinage obtenues lors des essais effectués sur freinomètres se situent généralement entre 4% et 7%. Les principales sources de variation et d'erreur observées sont les fautes de manipulations du véhicule ou du freinomètre par le technicien. En ce qui concerne les procédures d'utilisation de freinomètre proposées dans le Bulletin Technique #2006, il serait sans doute utile de proposer de répéter l'essai à 3 reprises, avec des résultats de mesure de poids et de force de freinage possédant un écart maximal de 5% environ (ceci exige normalement que le technicien utilise une calculatrice). Si le véhicule répond aux exigences techniques lors de l'un de ces trois essais, aucune défektivité n'est alors enregistrée. Nous avons noté qu'une procédure non officielle de ce type était souvent utilisée chez plusieurs mandataires de la SAAQ.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Suite aux essais réalisés, il apparaît clairement que deux des normes d'efficacité minimale de freinage sur freinomètre proposées dans le BT 2006 s'appliquent mal à certaines configurations de véhicules.

En premier lieu, on note que pour de nombreux véhicules légers l'exigence d'efficacité globale de 60% est trop sévère. Suite à notre analyse des résultats des essais et des exigences du règlement américain FMCSR section 393.52, ainsi que des normes techniques canadiennes NSVAC 105, nous proposons plutôt l'utilisation d'une valeur minimale d'efficacité globale de freinage de 52%.

En second lieu, nous avons observé que, dans le cas de semi-remorques très légères et dotées de nombreux essieux, la charge supportée par chaque essieu lorsque le véhicule est vide peut être suffisamment faible pour empêcher que les freins génèrent l'effort de freinage minimal de 35% exigé, et ce, même si les freins sont en bon état de fonctionnement. Notre analyse indique que, pour les semi-remorques de ce type, dans les cas où le poids de l'essieu est inférieur à 1 500 kg, il faudrait permettre une dérogation à la norme.

Olivier Bellavigna-Ladoux, ing., M.Ing.

A N N E X E A

PHOTOGRAPHIES

A N N E X E B

BULLETIN TECHNIQUE
#2006 DE LA SAAQ

A N N E X E C

DESCRIPTION DES VÉHICULES D'ESSAIS

Véhicule léger d'essai V1

Type: Utilitaire Sport (VUS)
Marque: NISSAN
Modèle: Pathfinder XE-V6
Année: 1995
NIV: JN8HD17Y7SW047247
Odomètre: 177 762 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: DAYTON TIMBERLINE A/T 31X10.50R15LT M+ S

Véhicule léger d'essai V2

Type: Compacte 4 portes
Marque: PONTIAC
Modèle: Sunbird LE
Année: 1993
NIV: 1G2JC51H4P7558839
Odomètre: 156 238 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: MOTOMASTER SE ALL SEASON P185/75R14 89S (à l'avant)
MARSHAL 791 TOURING A/S P185/75R14 89S (à l'arrière)

Véhicule léger d'essai V3

Type: Mini Fourgonnette
Marque: PONTIAC
Modèle: Montana
Année: 2002
NIV: 1GMDX03E52D324749
Odomètre: 11 851 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: GENERAL XP2000 GT P215/70R15 97S M+ S

Véhicule léger d'essai V4

Type: Camionnette
Marque: GENERAL MOTORS (GMC)
Modèle: Sierra
Année: 2002
NIV: 2GTEK19T321315594
Odomètre: 20 809 kilomètres
Freins: à disques aux quatre roues
Pneus: FIRESTONE 265/75R16 114S M+ S

Véhicule léger d'essai V5

Type: Utilitaire Sport (VUS)
Marque: LAND ROVER
Modèle: Freelander SE
Année: 2002
NIV: SALNY22272A219133
Odomètre: 25 550 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: MICHELIN SYNCHRONE 225/55R17

Véhicule léger d'essai V6

Type: Compacte 4 portes
Marque: MAZDA
Modèle: Protégé LX 2.0
Année: 2002
NIV: JM1BJ225120526778
Odomètre: 71 498 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: BRIDGESTONE POTENZA RE92 P195/55R15 84V

Véhicule léger d'essai V7

Type: Berline pleine grandeur
Marque: MERCEDES-BENZ
Modèle: 190E
Année: 1990
NIV: WDBDA29DKKF650131
Odomètre: 240 088 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: MICHELIN RAINFORCE MX4 185/65R15 88T

Véhicule léger d'essai V8

Type: Mini Fourgonnette
Marque: CHEVROLET
Modèle: Venture
Année: 2000
NIV: 1GN DU03E4YD326618
Odomètre: 62 640 kilomètres
Freins: à disques à l'avant et à tambours à l'arrière
Pneus: FIRESTONE FR680 P215/70R15 97S

Véhicule lourd d'essai TRACTEUR 1

Type: Tracteur routier
Marque: INTERNATIONAL NAVISTAR
Modèle: 9200i
Année: 2003
NIV: 2HSCEAER93C057359
Odomètre: 64 636 kilomètres
Freins: tambours à came en S avec ABS dotés de régleurs automatiques et de récepteurs MGM 20L à l'avant et MGM 30/30LS à l'arrière
Pneus: GOODYEAR 11R22.5

Véhicule lourd d'essai SEMI-REMORQUE 1

Type: Plate-forme 48' surbaissée en alliage d'aluminium dotée de deux essieux
Marque: TRANSCRAFT
Modèle: DTL-2000
Année: 2000
NIV: 1TTE48207Y1064648
Freins: tambours à came en S dotés de régleurs automatiques et de récepteurs MGM 30/30
Suspension: pneumatique de marque HENDRICKSON
Pneus: BRIDGESTONE R254 255/70R22.5
Poids à vide: 5 000 kg

Véhicule lourd d'essai TRACTEUR 2

Type: Tracteur routier
Marque: INTERNATIONAL NAVISTAR
Modèle: 9100i
Année: 2002
NIV: 2HSCBAER12C021642
Odomètre: 365 649 kilomètres
Freins: tambours à came en S avec ABS dotés de régleurs automatiques et de récepteurs MGM 20L à l'avant et MGM 30/30 à l'arrière
Pneus: GOODYEAR 11R22.5

Véhicule lourd d'essai SEMI-REMORQUE 2

Type: Plate-forme 53' en alliage d'aluminium dotée de quatre essieux
Marque: MANAC
Modèle: 16448106
Année: 2003
NIV: 2M514146X31092706
Freins: tambours à came en S avec ABS dotés de régleurs automatiques et de récepteurs TSE OMNIBRAKE 30/30
Suspension: pneumatique de marque HENDRICKSON
Pneus: BRIDGESTONE M844 385/65R22.5 (essieu auto-vireur)
BRIDGESTONE R250 11R24.5 (autres essieux)
Poids à vide: 6 966 kg (selon certificat d'immatriculation SAAQ)

A N N E X E D

RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE:
VÉHICULES LÉGERS
SUR FREINOMÈTRE À ROULEAUX

A N N E X E E

**RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE:
VÉHICULES LÉGERS
SUR PISTE ASPHALTÉE**

A N N E X E F

**RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE:
VÉHICULES LOURDS
SUR FREINOMÈTRE À ROULEAUX**

A N N E X E G

**RÉSULTATS D'ESSAIS DE FREINAGE:
VÉHICULES LOURDS
SUR PISTE ASPHALTÉE**

A N N E X E H

FHWA FEDERAL MOTOR CARRIER SAFETY
REGULATIONS, ARTICLE 393.52

A N N E X E I

NORMES TECHNIQUES NSVAC 105

Photo #01 - Vue générale du centre de vérification mécanique pour véhicules légers du CAA, situé à Dorval où ont été effectués les essais sur freinomètre de huit véhicules de divers modèles.

Photo #02 - Vue générale du freinomètre à rouleaux de marque BEM MULLER utilisé lors des essais de véhicules légers.

Photo #03 - Vue générale de la console de contrôle du freinomètre.

Photo #04 - Vue générale des plaques et des rouleaux du freinomètre.

Photo #05 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche du véhicule d'essai de marque NISSAN, modèle Pathfinder, 1995, identifié dans le rapport sous l'appellation V1.

Photo #06 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai V1.

Photo #07 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai V1.

Photo #08 - Vue générale du véhicule V1 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #09 - Vue rapprochée montrant l'une des roues arrière du véhicule d'essai V1 placée sur la plaque de pesée préalablement à l'essai de freinage dynamométrique de l'essieu arrière sur les rouleaux.

Photo #10 - Autre vue rapprochée montrant la roue de la photo précédente lors de l'essai de freinage sur les rouleaux.

Photo #11 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche du véhicule d'essai de marque PONTIAC, modèle Sunbird, 1993, identifié dans le rapport sous l'appellation V2.

Photo #12 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai V2.

Photo #13 - Vue rapprochée de la plaquette du numéro d'identification du véhicule d'essai V2.

Photo #14 - Vue générale du véhicule V2 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #15 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche du véhicule d'essai de marque PONTIAC, modèle Montana, 2002, identifié dans le rapport sous l'appellation V3.

Photo #16 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai V3.

Photo #17 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai V3.

Photo #18 - Vue générale du véhicule V3 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #19 - Vue générale du véhicule V3 sur la piste d'essai de freinage dynamique. Il s'agit d'une section de route rectiligne pavée en asphalte de l'aéroport de Dorval.

Photo #20 - Idem à la photo précédente.

Photo #21 - Vue générale du système d'acquisition de type GPS de modèle V-BOX et de marque RACELOGIC utilisé lors des essais de freinage dynamique sur piste.

Photo #22 - Idem à la photo précédente.

Photo #23 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche du véhicule d'essai de marque GMC, modèle Sierra, 2002, identifié dans le rapport sous l'appellation V4.

Photo #24 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai V4.

Photo #25 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai V4.

Photo #26 - Vue générale du véhicule V4 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #27 - Vue générale ³/₄ avant droit du véhicule d'essai de marque LAND ROVER, modèle Freelander, 2002, identifié dans le rapport sous l'appellation V5.

Photo #28 - Vue générale ¾ arrière gauche du véhicule d'essai V5.

Photo #29 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai V5.

Photo #30 - Vue générale du véhicule V5 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #31 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche du véhicule d'essai de marque MAZDA, modèle Protégé, 2002, identifié dans le rapport sous l'appellation V6

Photo #32 - Vue générale $\frac{3}{4}$ arrière droit du véhicule d'essai V6.

Photo #33 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai V6.

Photo #34 - Vue générale du véhicule V6 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #35 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche du véhicule d'essai de marque MERCEDES-BENZ, modèle 190E, 1990, identifié dans le rapport sous l'appellation V7.

Photo #36 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai V7.

Photo #37 - Vue rapprochée de la plaquette d'identification du véhicule d'essai V7.

Photo #38 - Vue générale du véhicule V7 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #39 - Vue générale ³/₄ avant gauche du véhicule d'essai de marque CHEVROLET, modèle Venture, 2000, identifié dans le rapport sous l'appellation V8.

Photo #40 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai V8.

Photo #41 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai V8.

Photo #42 - Vue générale du véhicule V8 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

Photo #43 - Vue générale du garage CUMMINS EST DU QUÉBEC situé à Sainte-Foy, où ont été effectués les essais sur freinomètre de divers véhicules lourds.

Photo #44 - Vue générale de l'aire de vérification mécanique de véhicules lourds, où est installé le freinomètre à rouleaux.

Photo #45 - Vue générale du freinomètre pour véhicules lourds de marque EWJ TECHNIK S/A.

Photo #46 - Vue rapprochée montrant les rouleaux du freinomètre de la photo précédente.

Photo #47 - Vue générale de la console de contrôle du freinomètre.

Photo #48 - Vue rapprochée de la plaquette d'identification du freinomètre.

Photo #49 - Vue générale montrant le panneau d'affichage du freinomètre.

Photo #50 - Vue générale du système d'acquisition GPS de marque RACELOGIC utilisé lors des essais de freinage sur piste.

Photo #51 - Vue générale de l'ensemble de véhicules lourds d'essai tracteur et semi-remorque identifié dans le rapport sous l'appellation ENSEMBLE 1.

- Photo #52 - Vue rapprochée des vignettes d'identification du tracteur routier de marque INTERNATIONAL, modèle 9200i, 2003, présenté à la photo précédente. Ce véhicule d'essai est identifié dans le rapport sous l'appellation TRACTEUR 1.
- Photo #53 - Vue générale $\frac{3}{4}$ arrière gauche de la semi-remorque de marque TRANSCRAFT, modèle DTL-20000, 2000, présentée à la photo #51. Ce véhicule d'essai est identifié dans le rapport sous l'appellation REMORQUE 1.

Photo #54 - Vue générale ¾ arrière droit du véhicule d'essai REMORQUE 1.

Photo #55 - Vue générale de l'arrière du véhicule d'essai REMORQUE 1.

Photo #56 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai REMORQUE 1.

Photo #57 - Vue générale du véhicule TRACTEUR 1 lors de l'un des essais sur le freinomètre.

- Photo #58 - Vue générale montrant l'essieu moteur du véhicule TRACTEUR 1 lors de la vérification du fonctionnement de son système de freinage sur le dynamomètre à rouleaux.
- Photo #59 - Vue générale montrant le premier essieu du véhicule REMORQUE 1 lors de la vérification du fonctionnement de son système de freinage sur le dynamomètre à rouleaux.

- Photo #60 - Vue générale du tracteur semi-remorque ENSEMBLE 1 lors des essais de freinage sur piste. Il s'agit d'une route rectiligne pavée en asphalte, située dans la zone industrielle

de Sainte-Foy.
Photo #61 - Vue générale ¾ avant gauche du tracteur routier de marque INTERNATIONAL, modèle 9100i, 2002. Ce véhicule d'essai fait partie de l'ensemble de véhicules lourds tracteur semi-remorque identifié dans le rapport sous l'appellation ENSEMBLE 2.

Photo #62 - Vue générale ¾ arrière droit du tracteur routier de la photo précédente.

Photo #63 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai présenté à la photo #61.

Photo #64 - Vue générale de l'ensemble de véhicules lourds d'essai tracteur et semi-remorque identifié dans le rapport sous l'appellation ENSEMBLE 2.

Photo #65 - Vue générale $\frac{3}{4}$ avant gauche de la semi-remorque de marque MANAC, modèle 16448106, 2003, présentée à la photo précédente. Ce véhicule d'essai est identifié dans le rapport sous l'appellation REMORQUE 2.

Photo #66 - Vue générale $\frac{3}{4}$ arrière droit du véhicule d'essai REMORQUE 2.

Photo #67 - Vue rapprochée de la vignette d'identification du véhicule d'essai REMORQUE 2.

Photo #68 - Vue générale du premier essieu du véhicule d'essai REMORQUE 2, montrant qu'il s'agit d'un essieu de type auto-vireur.

Photo #69 - Vue générale des trois autres essieux du véhicule d'essai REMORQUE 2.

Photo #70 - Vue rapprochée montrant l'un des freins à tambour à came en S du véhicule d'essai REMORQUE 2.

Photo #71 - Vue générale montrant le premier essieu du véhicule REMORQUE 2 lors de la vérification du fonctionnement de son système de freinage sur le dynamomètre à rouleaux.

Photo #72 - Vue rapprochée montrant les roues de l'essieu auto-vireur du véhicule REMORQUE 2 sur les rouleaux du freinomètre lors de l'un des essais.

Photo #73 - Vue rapprochée montrant les roues du quatrième essieu du véhicule REMORQUE 2 sur les rouleaux du freinomètre lors de l'un des essais.

Photo #74 - Vue générale du tracteur semi-remorque ENSEMBLE 2 lors des essais de freinage sur piste dans la zone industrielle de Sainte-Foy.