

Evaluation Of Self-Steering Axles For Semi-Trailers

Evaluation De L'essies Autovireur Utilisé Sous Une Semi-Remorque

Gervais Corbin,

Ministère des Transports du Québec, Canada

Jean Grandbois, and Marc J. Richard

Université Laval, Canada

SOMMAIRE

L'essieu autovireur est composé d'un essieu comprenant deux pivots qui permettent aux roues de s'aligner dans le sens de la trajectoire réelle du véhicule sous l'action de la friction des pneus sur le sol. Ce type d'essieu est peu utilisé en Amérique du nord. Une étude sur l'utilisation de tracteurs semi-remorques équipées d'un essieu autovireur a été réalisée dans l'est du Canada. Cette étude a été effectuée dans le but d'évaluer la possibilité de remplacer l'essieu relevable conventionnel par l'essieu autovireur. L'utilisation d'un essieu relevable installé au centre de l'empattement des semi-remorques est problématique sur certains aspects. La maniabilité du véhicule ainsi équipé est affectée lorsque l'essieu est au sol, tandis que la charge sous cet essieu n'est pas toujours adéquate, ce qui entraîne des dommages supplémentaires aux infrastructures routières ainsi qu'une diminution possible du niveau de sécurité.

L'étude comporte trois volets. Le premier volet avait pour but de s'assurer de la compatibilité et de la fiabilité des essieux autovireurs sur différentes semi-remorques. Huit essieux autovireurs fabriqués par quatre compagnies différentes ont été installés sur six semi-remorques existantes et sur deux semi-remorques neuves ayant des caractéristiques différentes à l'égard du nombre d'essieux, de leur espacement et de leur position. Dans certains cas, des modifications aux semi-remorques ont été nécessaires. Un suivi d'une durée de trois ans a été effectué sur les huit semi-remorques munies d'un essieu autovireur ainsi que sur huit autres semi-remorques ayant les mêmes caractéristiques mais dont l'essieu autovireur est remplacé par un essieu relevable conventionnel afin de comparer les coûts d'exploitation et d'entretien.

Le deuxième volet consistait à réaliser une évaluation du comportement statique et dynamique de ces véhicules à l'aide de tests sur une table de renversement ainsi que des essais sur pistes en conditions estivales et hivernales. Ces essais ont été réalisés sur huit des seize semi-remorques afin d'évaluer, dans chacun des cas, le seuil de renversement,

l'amplification arrière et l'efficacité du freinage lors de différentes manoeuvres. Ces essais ont permis de confirmer que l'utilisation d'un essieu autovireur ne compromet pas le comportement routier des véhicules et l'améliore même dans certains cas.

Finalement, un projet visant à harmoniser les normes de charges et de dimensions des véhicules lourds dans les provinces de l'est du Canada, tient compte des résultats de cette étude. Ce projet défavorise l'essieu relevable conventionnel et prévoit l'utilisation d'un essieu autovireur sur les nouvelles semi-remorques à quatre essieux. L'essieu autovireur doit être situé à l'avant du groupe d'essieux de la semi-remorque et le système de suspension de la semi-remorque doit être équipé d'un mécanisme automatique permettant de répartir uniformément la charge sous chacun des essieux.

INTRODUCTION

L'essieu autovireur est composé d'un essieu comprenant deux pivots verticaux à ses extrémités de manière à permettre aux roues de s'aligner dans le sens de la trajectoire réelle sous l'action de la force latérale de friction des pneus sur le sol. L'essieu autovireur, couramment utilisé en Europe depuis plus de 25 ans, est peu connu au Canada et aux États-Unis où la réglementation, les caractéristiques techniques des véhicules et la géométrie routière sont différentes. Dans certaines administrations nord-américaines, il est utilisé comme essieu central supplémentaire sur les camions porteurs.

Les recherches et le travail effectués au Québec sur les essieux autovireurs ont pour objet de vérifier la viabilité de ce principe dans les conditions nord-américaines d'opération et les possibilités d'améliorer les équipements existants à l'aide de cette technologie. Il s'agit d'un programme de démonstration en service d'une durée de trois ans ainsi que d'un programme d'essais statiques et dynamiques pour vérifier le comportement routier des véhicules équipés de ce type d'essieu.

Au Québec, le transport routier des marchandises est effectué par différents types de semi-remorques, dont plusieurs milliers équipées de 3 essieux ou plus afin de

transporter légalement de lourdes charges. Les essieux de ces remorques sont espacés de manière à répartir la charge transmise à la chaussée et sur le tablier des structures. La réglementation autorise des charges plus élevées pour les groupes d'essieux qui possèdent de grands écartements. Les semi-remorques avec un grand écartement d'essieux sont presque toujours équipées d'un essieu relevable et parfois de deux, afin de rendre l'ensemble de véhicules plus manoeuvrable dans les virages tout en réduisant les efforts transversaux sur le châssis, la suspension et les pneus. Malheureusement, l'expérience a démontré que les essieux relevables sont souvent mal utilisés par les conducteurs et supportent rarement la charge prévue. Lorsque les essieux sont relevés ou les suspensions mal réglées, des surcharges se produisent sur les autres essieux. Il faut rappeler que le dommage aux chaussées croît exponentiellement avec l'augmentation de la charge aux essieux. De plus, lorsque les essieux sont relevés, la stabilité latérale du véhicule est affectée et le seuil de renversement du véhicule est diminué.

Pour des raisons économiques, l'industrie serait grandement pénalisée si l'utilisation de l'essieu relevable conventionnel était complètement interdite sans qu'une alternative lui soit proposée et validée. Le programme de démonstration des essieux autovireurs et le programme d'essais poursuivaient donc cet objectif. Le ministère des Transports du Québec projette de modifier sa réglementation sur les charges et dimensions des véhicules pour favoriser l'essieu autovireur au détriment de l'essieu relevable conventionnel.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES ESSIEUX RELEVABLES ET DES ESSIEUX AUTOVIREURS

L'essieu relevable conventionnel a une conception assez simple. L'essieu lui-même ne comporte aucune caractéristique spéciale. Il est droit et constitué d'une seule pièce sur laquelle sont installés les roulements et les fusées. Il doit cependant être monté sur une suspension qui lui permet d'être relevé. La suspension est généralement à air mais pas obligatoirement. Celle-ci est dotée d'un système de contrôle pneumatique et d'un mécanisme de levée par bras de levier constitué d'un ou de deux ballons. Au signal pour lever l'essieu, les ballons de la suspension se vident tandis que ceux pour la levée se gonflent. Certains modèles (conventionnel ou autovireur) sont disponibles avec un essieu incurvé vers le bas au centre (drop axle) de façon à obtenir le dégagement nécessaire par rapport à l'arbre de transmission sur les camions porteurs. Ces modèles n'ont pas été évalués lors de cette étude.

La conception de l'essieu autovireur ou autosuiveur repose sur des principes mécaniques qui ne sont pas tous de qualité comparable. Ce pourrait être un essieu fixe monté sur une table tournante ou encore un essieu directeur avec pivot de fusée incliné qui est installé comme essieu supplémentaire sans être relié au système de direction.

Un consensus s'est établi au Canada au sujet des caractéristiques mécaniques de base nécessaires pour qu'un essieu autovireur soit reconnu explicitement comme tel.

L'essieu (figure 1) doit répondre aux deux caractéristiques suivantes: tout d'abord, son mécanisme d'alignement doit avoir un pivot de fusée droit avec une chasse positive de 12,7 cm ou plus (king pin droite et avancée de cinq pouces minimum), afin que les roues suivent la trajectoire du véhicule (caster effect) et qu'elles offrent un moment de rappel à la position centrale. L'angle de 90° entre le pivot de fusée et le sol assure un point de contact constant et uniforme entre le sol et le pneu. Deuxièmement, l'essieu doit être doté d'un mécanisme d'autocentrage produisant une certaine force afin d'assurer la stabilité de l'essieu lorsqu'on applique des forces différentes sur les deux côtés de l'essieu (obstacles sur la route, freinage sur surfaces différentes ou freins mal réglés), d'assurer un retour de l'essieu à la position centrale de façon souple et enfin de donner une certaine force de virage. L'analyse des forces en jeu a déjà été décrite précédemment [Leblanc et al. (1989)] et ne sera pas commentée dans ce document.

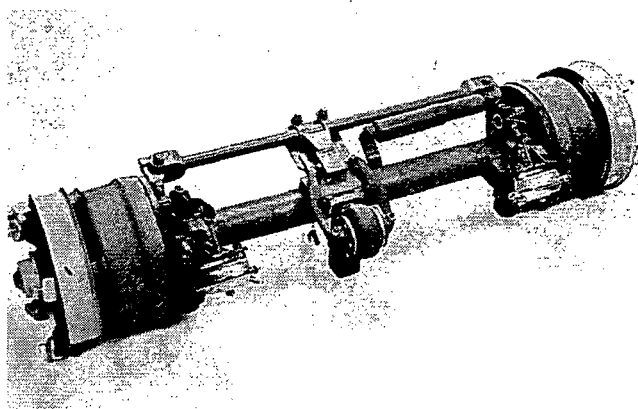


Figure 1 Principales composantes d'un essieu autovireur

UTILISATION DE L'ESSIEU AUTOVIREUR

L'essieu autovireur est utilisé de façon différente en Europe et en Amérique du Nord. Si l'idée première de réduire le glissement latéral (et conséquemment l'usure) des pneus est la même des deux côtés de l'Atlantique, l'application du principe résulte en une utilisation de l'autovireur qui est loin d'être identique, quand elle n'est pas à l'opposé. En Europe, l'essieu autovireur est souvent placé complètement à l'arrière du véhicule. Il sert à réduire l'empattement du véhicule pour diminuer son rayon de braquage afin de rencontrer la norme européenne. Cette norme exige que les véhicules puissent tourner à l'intérieur d'un anneau ayant un rayon intérieur de 5,30 m et un rayon extérieur de 12,5 m [OJEC (1985)]. En Amérique du Nord, cette norme n'existe pas et il n'y a pas d'incitation législative à utiliser un essieu autovireur pour les transporteurs. Au contraire, il y a plutôt des normes limitant le porte-à-faux. Les réglementations nord-américaines cher-

chent plutôt à limiter le balayage arrière des véhicules aux dépens de la dérive des véhicules, ce qui est contraire à l'effet recherché en Europe. Une géométrie routière et des habitudes de conduites différentes expliquent ce phénomène. En fait, certaines administrations interdisent ou limitent son utilisation à certaines positions sur le véhicule. En Ontario, où le mécanisme est autorisé sans contrainte, il est utilisé comme essieu arrière relevable sur les bétonnières, au centre de camions de 10 roues à benne basculante, à l'avant d'une remorque courte ou encore en remplacement de l'essieu relevable conventionnel sur un tracteur semi-remorque.

Au Québec, il est autorisé seulement à l'avant d'un groupe d'essieux pour remorque ou semi-remorque. Les raisons de cette limitation sont multiples. Tout d'abord, il faut se rappeler que le premier objectif du ministère des Transports du Québec en favorisant l'essieu autovireur est de remplacer l'essieu relevable conventionnel par celui-ci. L'essieu relevable étant favorisé seulement à l'avant d'un groupe d'essieux, il est logique qu'il en soit de même pour l'essieu autovireur. Dans l'éventualité selon laquelle un essieu autovireur serait installé à l'avant et à l'arrière d'un groupe de 3 ou 4 essieux, la force latérale fournie par les essieux fixes ne serait pas suffisante pour assurer sécuritairement la stabilité du véhicule. Deuxièmement, dans le cas de semi-remorque, la réglementation limite le porte-à-faux effectif à 35 % de l'empattement effectif. L'utilisation d'un essieu autovireur à l'arrière d'une semi-remorque augmente le porte-à-faux et diminue l'empattement, certaines configurations ne rencontreraient plus cette norme. Il serait également possible de permettre son installation à l'arrière d'un tridem (sans essieu relevable) ayant un espacement, par exemple de 1,52 m -1,52 m, si le ratio porte-à-faux / empattement est respecté. Cette configuration permettrait d'augmenter la maniabilité de cette configuration pour certaines applications en milieu urbain notamment.

Plusieurs raisons expliquent ces différences de vue entre la réglementation européenne et les réglementations nord-américaines. La principale raison est que l'essieu autovireur, de par sa conception, produit peu ou pas de force latérale en virage. Il est donc nécessaire de s'assurer que les autres essieux conventionnels du véhicule produisent assez de force de virage pour la masse totale du véhicule. Pour respecter ce principe, il faut s'assurer que l'essieu autovireur ne porte pas plus qu'un certain pourcentage de la charge totale. Ce pourcentage varie en fonction de la masse totale, du nombre d'essieux et de la disposition de ceux-ci. En Europe, un mécanisme répartissant automatiquement la charge est obligatoire. Ainsi, sur un camion porteur trois essieux sur lequel l'essieu arrière du tandem est autovireur, celui-ci ne peut pas porter plus de 40 % de la charge du tandem. Au Canada, il n'existe pas de dispositions semblables. De plus, la majorité des autovireurs étant relevable, le contrôle de la charge portée par l'essieu autovireur est très problématique et critique. Rappelons le cas connu de la bétonnière à quatre essieux dont le dernier essieu à l'arrière est auto-

vireur et monté sur une suspension indépendante à air [Winkler, C.B. (1989)]. Si la répartition de la charge entre le tandem à suspension mécanique et l'essieu simple autovireur est bonne lorsque le véhicule est en charge, l'essieu autovireur doit absolument être relevé après le déchargement sans quoi il supportera la majorité de la masse portant sur les trois essieux arrière. Dans cette situation, le tandem ne fournirait plus la force de virage nécessaire à la stabilité du véhicule et le véhicule aurait un comportement dangereusement survireur (dérapage de l'arrière vers l'extérieur du virage), pouvant occasionner la perte de contrôle du véhicule. Des situations semblables peuvent se reproduire dans plusieurs cas, surtout avec des camions porteurs [El-Gindy, M. *et al.* (1989)] [Grandbois, J. (1989)].

Cependant, utilisé correctement, l'essieu autovireur présente aussi des caractéristiques et des avantages intéressants. Sa capacité de s'aligner dans le sens de la trajectoire devrait réduire l'usure des pneus et les bris à la chaussée. Utilisé à la place de l'essieu relevable sur une semi-remorque, il permet de garder cet essieu au sol en permanence tant que le véhicule est en marche avant. À reculons, il faut relever l'essieu ou le bloquer en position droite sans quoi il s'alignera toujours à contre sens, vu sa conception avec chasse positive. La position centrale de l'essieu autovireur, moins courante en Europe, pourrait permettre de régler plusieurs problèmes pour les administrations canadiennes, tels le Québec et l'Ontario qui sont aux prises avec le problème des essieux relevables conventionnels sur des semi-remorques.

PROGRAMME DE DÉMONSTRATION DES ESSIEUX AUTOVIREURS

Ce programme de démonstration avait pour objet d'évaluer en service des essieux autovireurs pour en vérifier les caractéristiques fonctionnelles suivantes: installation, comportement et performance, fiabilité, entretien, consommation et coût. C'est le ministère des Transports du Québec qui était le maître d'oeuvre de ce programme pour lequel le Centre de développement des transports de Transports Canada (CDT) a contribué financièrement. Ce programme de démonstration fait partie d'une plus large recherche sur les essieux relevables, dirigée par le CDT et à laquelle participe aussi le ministère des Transports de l'Ontario.

DESCRIPTION DU PROGRAMME DE DÉMONSTRATION

Le programme consiste à installer des essieux autovireurs sur quatre configurations différentes de semi-remorques. Pour chacune des configurations, deux véhicules ont été équipés d'essieux autovireurs tandis que deux autres ont conservé leurs essieux relevables conventionnels. Ces 16 véhicules (huit avec essieux autovireurs et huit avec essieux relevables) ont été évalués en service pour une période de trois ans (1991 à 1994), par le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), afin de vérifier leurs qualités en opération. Les quatre véhicules de la

même configuration effectuaient en autant que possible le même parcours avec le même chargement et les mêmes chauffeurs réguliers. Les firmes Transport Besner, Air Liquide Canada, Alcan et Soquip font partie du programme de démonstration (figure 2). Le département du service de la compagnie Manac, à Boucherville, a installé six des huit essieux autovireurs, les deux autres ayant été installés chez Fiba Canning. Les installations se sont faites de mai à août 1991.

Il faut souligner la grande collaboration des transporteurs québécois dans ce programme. Toutes les compagnies contactées ont accepté de participer à la démonstration et de nous faire profiter de leur expérience.

Afin d'obtenir les résultats les plus représentatifs possibles du parc de véhicules canadiens et des conditions extrêmes d'utilisation qui peuvent facilement être rencontrées, les configurations et les parcours présentés au tableau 1 ont été retenus.

SÉLECTION DES PNEUS, DES ESSIEUX ET DES SUSPENSIONS

Des pneus simples sont très souvent montés sur des essieux autovireurs. Plusieurs raisons expliquent ce fait. Tout d'abord, un essieu autovireur avec pneus simples est beaucoup plus simple à installer considérant le dégagement nécessaire et disponible. Lorsque l'essieu est tourné au maximum, le pneu empiète beaucoup moins vers l'intérieur en simple puisqu'il est moins large. Considérant les largeurs de voie et de châssis, ce facteur peut être très important. Deuxièmement, un essieu en pneus simples, s'il est conçu pour cela, a une voie effective plus large qu'un essieu en pneus jumelés, ce qui est avantageux pour la stabilité du véhicule.

Enfin, le montage en simple permet d'éviter le moment de force produit par les pneus jumelés qui affecte légèrement la stabilité de l'autovireur [Woodrooffe, J.H.F. *et al.* (1989)].

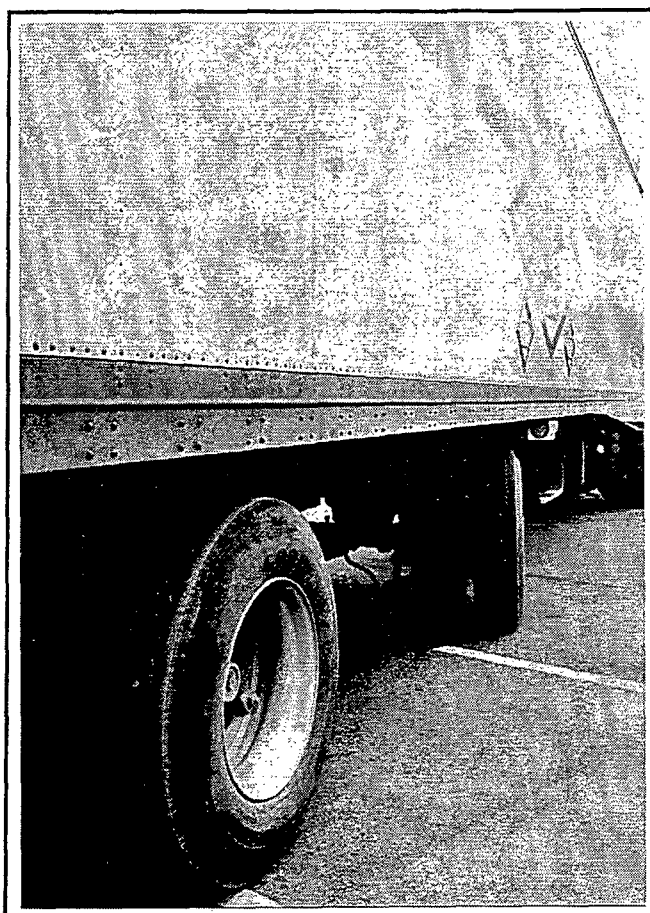


Figure 2 Essieu autovireur installé sous une semi-remorque

| TYPES | CONFIGURATIONS | COMPAGNIES | PARCOURS | ROUTES | REMARQUES |
|-------|--|-----------------------|---|--|---|
| A | Semi-remorque 3 essieux Écartement : 3.04 m - 1.83 m Tandem : suspension pneumatique égalisante Longueur : 14.65 m (48 pieds) | Air Liquide Canada | Montréal-Toronto Nouvelle-Écosse et Nouveau- Brunswick | Autoroute Route secondaire | Égalisation favorisée et écartement défavorisé |
| B | Semi-remorque 3 essieux Écartement : 3.04 m - 1.83 m Tandem : suspension à ressort à lames Longueur : 14.65 m (48 pieds) | Transport Besner | Québec, Ontario, Maritimes | Autoroute Route secondaire | Écartement défavorisé par les nouvelles réglementations |
| C | Semi-remorque 3 essieux Écartement : 2.42 m - 2.42 m Tandem : suspension à ressort à lames Longueur : 12.2 m (40 pieds) | SOQUIP | Région de Québec | Route secondaire | Solution intéressante au problème de surcharge et d'usure des pneus |
| D | Semi-remorque 4 essieux Écartement : 2.42 - 1.52 - 1.52 m Tridem : suspension à ressort à lames Longueur : 14.65 m (48 pieds) | Alcan | Lac Saint-Jean- Toronto | Routes secondaires montagneuses et hivernales | 4 essieux selon la nouvelle régle- mentation |

Tableau 1 Semi-remorque avec essieu autovireur : configurations et routes

Cependant, il y a aussi des désavantages majeurs aux pneus simples. Tout d'abord, étant donné leur utilisation restreinte, les firmes de transport ne peuvent pas avoir les mêmes rabais que sur les pneus normaux. C'est aussi des pièces supplémentaires à garder en magasin.

En cas de crevaison sur la route, la semi-remorque a besoin de deux types de pneus de secours, ce qui représente des coûts additionnels et une charge payante diminuée. De plus, il peut être assez difficile de trouver de tels pneus dans les petits garages de certaines régions du pays. Enfin, lors d'une crevaison, les risques d'incendie sont plus élevés, ce qui limite leur utilisation dans le cas des matières dangereuses.

On doit préciser qu'au Québec, une pénalité de 1 000 kg par essieu équipé de pneus simples est applicable, afin de limiter le dommage aux chaussées. Ces différentes raisons font que les transporteurs préfèrent utiliser des pneus jumelés.

Rappelons les caractéristiques de base que les essieux autovireurs doivent posséder pour être acceptés :

- chasse positive de 12,7 cm ou plus tout en ayant un pivot de fusée droit (king pin droite et avancée de 5 pouces);
- mécanisme d'autocentrage produisant une certaine force;
- capacité de 10 000 kg à 100 km/h.

En 1991, il y avait cinq marques d'essieux autovireurs connues qui répondaient à ces spécifications, telles que présentées au tableau 2.

Le choix des essieux autovireurs s'est fait par nécessité économique, technique et afin d'augmenter l'intérêt des transporteurs. L'essieu fabriqué par BPW, bien qu'ayant une excellente réputation technique, a été écarté du programme puisqu'il n'est pas distribué au Canada et que son coût devenait très élevé. Peu de transporteurs pourraient être intéressés à des équipements non distribués au pays. Les quatre configurations de semi-remorques ont une largeur de 2,60 m (102 pouces), ce qui correspond normalement à une voie de 1,96 m (77 pouces). Bizarrement, deux de celles-ci ont une voie de 1,80 m (71 pouces), correspondant à une largeur de 2,44 m (96 pouces).

Cela s'expliquerait par la demande de transporteurs qui veulent garder des essieux identiques sur toute leur flotte. Cela cause des problèmes de dégagement au niveau de l'installation d'essieu autovireur. Ce point est abordé en détail à la prochaine section. Cependant, la remorque de 2,60 m étant devenue le standard dans le transport au Québec, ce type de combinaison devrait être de plus en plus rare.

Le choix des suspensions a été assez compliqué. Au départ du projet, il était prévu d'utiliser les suspensions déjà montées sur les semi-remorques, afin de sauver des coûts. La publicité et les discussions préliminaires avec les fabricants laissaient croire que les essieux pouvaient être installés sur presque n'importe quelle suspension. Au moment des vérifications plus poussées, le contraire a été constaté dans la majorité des cas. Les choix ont donc été faits en fonction des caractéristiques techniques, de la prolifération des suspensions ainsi que de la participation financière des différents fabricants.

Après de nombreuses discussions et démarches auprès des fabricants et distributeurs d'essieux autovireurs, les constatations suivantes sont ressorties en 1991. Les essieux de types Ceschi et KGI étaient les plus polyvalents. Le KGI est disponible avec des voies de 1,80 m (71 pouces) à 2,64 m (104 pouces). Il peut être installé sur différentes marques de suspension assez facilement et il peut être fourni tout monté sur une suspension de Knight-Trailer à un prix particulièrement compétitif. Enfin, c'est l'essieu qui demande le minimum de modifications au châssis pour son installation sur une semi-remorque, ce qui s'explique par sa conception pour cette utilisation. Le Ceschi est disponible avec une voie de 1,80 m ou 1,96 m avec la suspension Turner HT-230, et de 1,96 m seulement avec la Neway AR-90 ou AR-95.

L'essieu Steffan est disponible avec une voie de 1,96 m seulement et il se monte principalement sur une suspension Neway AR-90 avec bras de suspension court. L'essieu SAF est disponible en 1,80 ou 1,96 m. Dans ce cas, il est avantageux de le commander monté sur une suspension Sauer afin d'obtenir un prix compétitif.

Dans la majorité des cas, les suspensions sélectionnées doivent avoir une hauteur de fonctionnement (ride height) de 0,43 m (17 pouces) afin de dégager les mécanismes supplémentaires des essieux autovireurs.

| MODÈLE | PAYS | DISTRIBUTEUR | LOCALISATION | VOIE | SUSPENSION |
|---------|-----------|--|---------------------------------|-------------------------|--|
| Ceschi | Italie | Ingersoll Machine and Tool Company (IMT) | Ingersoll, Ontario | 1.80 - 1.96 m 1.96 m | Hendrickson Turner HT-230 Neway Ar-90 ou 95 |
| Steffan | Italie | Whelan Ltd | Ottawa, Ontario | 1.96 m | Neway AR-90 |
| SAF | Allemagne | Sauer | Concord, Ontario | 1.80 - 1.96 m | Sauer |
| K.G.I. | Canada | Knight Trailer of Canada | Langley Colombie-Britannique | 1.80 - 2.64 m | Modèles variés ou Knight Trailer |
| BPW | Allemagne | | | 1.80 - 1.96 m | Modèles variés |

Tableau 2 Modèles d'essieux autovireurs

On doit aussi porter attention à la dimension des roues pour la hauteur de suspension et pour la largeur de châssis acceptable. Enfin, au point de vue entretien et bris, il est préférable d'utiliser le même type et la même marque de jantes sur cet essieu que sur les autres de la semi-remorque.

On doit souligner que le marché s'est modifié substantiellement depuis ce temps et que les choix seraient peut-être différents en 1995. Les changements sont les suivants:

- Pour l'essieu Ceschi, seuls le service et les pièces sont encore fournis par IMT. Les essieux ne sont plus vendus.
- La distribution et le service pour l'essieu Steffan sont très aléatoires à la suite de difficultés de distribution du produit au Canada depuis 1994.
- IMT fabrique maintenant au Canada une gamme très complète d'essieux autovireurs qui acceptent différentes suspensions. Leur service de distribution et après-vente est excellent. Ces essieux sont disponibles chez différents distributeurs en Amérique du Nord.

MODIFICATIONS AUX VÉHICULES

L'installation des essieux autovireurs sur des remorques existantes peut demander certaines modifications aux véhicules. Les principales concernent la largeur du châssis et la hauteur libre sous celui-ci. En effet, on doit s'assurer qu'il y ait l'espace nécessaire au pivotement des roues vers l'intérieur sans que les pneus accrochent. Le dégagement nécessaire dépend de la dimension des pneus et de l'angle de braquage maximum de l'essieu autovireur. Celui-ci peut varier entre 15 et 25°, en fonction de la marque. On doit aussi s'assurer de garder l'espacement minimal entre les points d'appui de la suspension sur l'essieu de manière à ne pas diminuer la capacité axiale de l'essieu. C'est pourquoi il peut être nécessaire de diminuer la hauteur de la poutre du châssis plutôt que de rétrécir sa largeur.

Une semi-remorque ayant une largeur de 2,60 m (102 pouces) a normalement un châssis de 1,07 m (42 pouces) extérieur à extérieur, une hauteur de 0,91 m (36 pouces) du sol au-dessous du châssis, des points d'appui de la suspension sur l'essieu écarté de 0,81 m (32 pouces) centre à centre et un essieu ayant une voie de 1,96 m (77 pouces). Chaussée avec des pneus de grandeur normale (10-00R20 ou 1180R22.5 qui donnent 1,04 m (41 pouces) de diamètre dans les deux cas), une remorque de ce type n'a habituellement pas besoin de modification au châssis pour l'installation d'un essieu autovireur.

Cependant, plusieurs remorques n'ont pas ces dimensions pour différentes raisons et nécessitent des modifications (tableau 3). Dans le cas du programme de démonstration, ce fut le cas pour trois des quatre semi-remorques. Les deux remorques avec des voies de 1,80 m (71 pouces) avaient des châssis de 1,07 m (42 pouces) allant avec leur largeur de boîte de 2,60 m. Il a donc fallu réduire la largeur et la hauteur du châssis dans ces cas. Pour la semi-remorque à quatre essieux de l'Alcan, le châssis a une largeur de 1,23 m (48 pouces) qui ne permet pas le dégagement nécessaire. Il a donc dû être rétréci lui aussi. Enfin dans le cas des semi-remorques de Soquip, l'essieu KGI a pu être installé directement malgré le châssis de 1,18 m (44 pouces).

Il y a deux modifications au système pneumatique de la semi-remorque. La première concerne l'alimentation en air comprimé pour le système d'autocentrage ainsi que le manomètre servant à contrôler la force de celui-ci. Il y a aussi le contrôle pneumatique pour enclencher automatiquement le mécanisme pour bloquer l'essieu autovireur en position droite lorsque celui-ci est levé. Ceci a pour effet d'assurer une direction stable à reculons si l'essieu autovireur venait à toucher au sol sur un dos-d'âne et supportait ainsi la majorité du poids.

Une troisième modification pourrait être apportée pour installer un système d'égalisation de la charge dont nous parlons dans le suivi des véhicules.

| TYPE | MASSE TOTALE EN CHARGE | ÉCARTEMENT | ESSIEU AUTOVIREUR | VOIE | SUSPENSION | CHÂSSIS EXT. À EXT. | MODIFICATION AU CHÂSSIS | SUSPENSION ARRIÈRE |
|------|---|-------------------------|-------------------|--------|---------------------------|---------------------|-------------------------|--|
| A | semi-remorque 3 essieux long.: 14.65 m 52 500 kg | 3.04 m-1.83 m | SAF | 1.81 m | Sauer | 1.07 m | oui | suspension pneumatique égalisante pour les 3 essieux |
| B | semi-remorque 3 essieux long.: 14.65 m 52 500 kg | 3.04 m-1.83 m | Ceschi | 1.81 m | Hendrickson-Turner Ht-230 | 1.07 m | oui | tandem avec suspension à ressort à lames |
| C | semi-remorque 3 essieux long.: 12.2 m 55 500 kg | 2.43 m-2.43 m | Knight-Trailer | 1.96 m | Knight-Trailer | 1.12 m | non | tandem avec suspension à ressort à lames |
| D | semi-remorque 4 essieux long.: 14.65 m 55 500 kg | 2.42 m-1.52 m 1.52 m | Steffan | 1.96 m | Neway AR-90 | 1.12 m | oui | tridem avec suspension à ressort à lames |

Tableau 3 Configurations et spécifications techniques

COÛTS ET PROBLÈMES RENCONTRÉS

Le coût de l'installation d'un essieu autovireur sur une semi-remorque conventionnelle est assez élevé. L'essieu autovireur lui-même coûte aux environs de 4 000 \$ aux installateurs. Il s'agit d'un facteur de 10 environ par rapport à un essieu conventionnel. Une suspension et son mécanisme de levée de l'essieu coûtent environ 2 500 \$ s'il faut les changer. Le travail complet (modifications au châssis, installation de la suspension et de l'essieu, réseau pneumatique, etc.) représente environ 30 heures, en fonction des remorques. Dans le cas d'une remorque neuve, le coût serait beaucoup moindre pour une production en série. Par contre, s'il ne s'agit que de quelques unités, il serait préférable d'effectuer la pose du dernier essieu dans un garage spécialisé.

Deux problèmes techniques concernant la conception des essieux autovireurs ont été relevés lors de la pose de ceux-ci. Le premier concerne les mécanismes de levée des essieux autovireurs. La garde au sol est réduite considérablement avec ce type d'essieux par rapport à un essieu conventionnel lorsque l'essieu est levé. Cela cause un problème dans les cours de déchargement, principalement à reculons. Le deuxième problème est causé par la disposition des relais à freins (booster). Étant donné qu'ils doivent tourner avec le pneu, ils sont placés très près de ceux-ci afin de diminuer le dégagement nécessaire. Cependant, cette position a causé plusieurs problèmes. Dans le cas de l'essieu Ceschi, il a fallu déplacer les relais puisqu'ils touchaient aux pneus. De plus, ils étaient trop près du sol. Pour l'essieu KGI, les relais à freins sont très près des pneus mais ils n'interfèrent pas avec leur roulement. Les relais de l'essieu SAF entraînent en interférence légère avec une pièce de la suspension qui a dû être entaillée d'environ 2 cm. Enfin, les relais de l'essieu Steffan sont eux aussi assez près du sol.

Lors de la modification du châssis, il est important de ne pas surévaluer l'espace nécessaire pour l'essieu autovireur, ce qui pourrait affaiblir inutilement le châssis de la semi-remorque ainsi que la capacité axiale de l'essieu. L'espace nécessaire doit être calculé en fonction de la grosseur du pneu à la hauteur du châssis lorsque la semi-remorque est chargée. En d'autres mots, il n'est pas nécessaire de libérer l'espace pour le diamètre du pneu puisque celui-ci est rond.

SUIVI DES VÉHICULES

Le suivi des seize véhicules (huit essieux autovireurs et huit conventionnels) a été effectué par le Centre de recherche industriel du Québec (CRIQ). Des prises de données sur l'usure des pneus ont été effectuées régulièrement tout au long de ce suivi. Ces relevés n'ont pas permis de démontrer de différence appréciable entre les semi-remorques munies d'un essieu autovireur et celles munies d'un essieu relevable conventionnel. L'absence de mécanisme permettant de bien répartir la charge entre les essieux a certainement contribué à cette situation. Les données sur la consommation d'essence

sont très difficiles à obtenir pour trois des quatre compagnies puisque ce n'est pas toujours le même tracteur qui tire la semi-remorque ni le même chauffeur qui conduit. Ainsi, il n'a pas été possible de tirer des conclusions importantes pour ces deux points. Cependant, les données recueillies sont des améliorations ou encore aucun changement.

Au plan opérationnel, une certaine période de formation est nécessaire pour que les chauffeurs apprennent le fonctionnement des essieux autovireurs. Après ce court temps, les systèmes sont très appréciés par les conducteurs. Les semi-remorques de Soquip, qui ont un tridem huit pieds – huit pieds, ont vu leur comportement amélioré considérablement au point que le directeur de cette flotte voudrait voir tous ses véhicules ainsi équipés. Les semi-remorques à quatre essieux de l'Alcan sont aussi très appréciées par les chauffeurs. Les commentaires des conducteurs de la compagnie travaillant avec les semi-remorques trois essieux avec suspension à lames sur le tandem sont plus partagés. Certains aiment le système tandis que d'autres préfèrent les semi-remorques conventionnelles. Cela s'explique en partie par le type d'utilisation de ces semi-remorques qui varie beaucoup plus que pour les trois autres compagnies. Étant donné les charges très variées transportées dans ce cas, il est plus difficile et aussi plus important de bien régler la pression dans la suspension de l'essieu autovireur. De plus, plusieurs nouveaux chauffeurs se sont joints à cette compagnie depuis le début du projet, ce qui a allongé la période d'adaptation au système. Un mécanisme automatique d'égalisation de la charge installée sur ces deux semi-remorques permettrait de corriger ce problème. Enfin, le conducteur de la semi-remorque d'Air Liquide ne voit pas vraiment de différence. Il faut préciser qu'il roule toujours sur des autoroutes.

Différents bris plus ou moins majeurs ont affecté les remorques équipées d'essieux autovireurs depuis le début du programme. Sur une des semi-remorques d'Alcan, un des bouchons de pivot de fusée s'est fissuré à cause d'un couple de serrage trop élevé au montage. Étant donné que ça n'affecte pas le fonctionnement de l'essieu, il a été décidé de ne pas remplacer cette petite pièce et de voir les effets à plus long terme. Sur les deux semi-remorques de Soquip, deux relais de frein sur les autovireurs étaient fissurés après un mois d'utilisation. Ils ont été remplacés et il n'y a plus de problème depuis ce temps. On peut donc conclure à une défektivité des relais. Les deux semi-remorques d'Air Liquide ont dû passer plusieurs inspections avant de régler un problème de légères fuites d'air. Il y a peut-être un lien avec la suspension entièrement pneumatique de ce véhicule. Il y a eu une réparation majeure sur une remorque de Transport Besner à la suite d'un bris de la suspension de l'essieu autovireur. Ce bris a été causé par une surcharge répétée à l'essieu autovireur. Cette surcharge est en bonne partie due à une mauvaise hauteur de fonctionnement de la suspension qui, combinée avec la construction plus légère de la nouvelle suspension, a entraîné une fissuration sur la plaque supérieure du ballon. La nouvelle suspension avait été posée à la même hauteur que la précédente. Cependant, à cause de leurs types de

suspension qui présentait une faiblesse qui a été corrigée depuis, a provoqué le bris. Toujours sur une remorque de Transport Besner, un bras de direction s'est dessoudé de son attache. Une inspection de la soudure a permis de constater que la soudure originale avait été mal exécutée, puisque la pénétration était quasiment nulle.

Tout au long du programme de démonstration, il n'y a pas eu de problème relié directement au mécanisme des essieux autovireurs eux-mêmes à part celui de la soudure. Enfin, l'entretien régulier des essieux autovireurs ne semble pas être plus contraignant que l'entretien normal des semi-remorques.

Ce suivi a permis de démontrer que certains aspects des essieux autovireurs doivent être améliorés. La hauteur de dégagement de l'essieu autovireur en position relevée est d'environ 5 cm (2 pouces) alors qu'elle est habituellement trois fois plus élevée pour un essieu relevable conventionnel. Cette différence peut occasionner certaines difficultés d'opération lorsque les véhicules équipés d'un essieu autovireur sont utilisés hors routes ou sur des terrains irréguliers. Également, l'angle de rotation des roues de certains essieux autovireurs limite la manoeuvrabilité du véhicule dans des situations de virage serré. Lors de ces manoeuvres, le conducteur du véhicule est parfois contraint à relever l'essieu autovireur, comme c'est le cas pour l'essieu relevable actuellement, ce qui peut diminuer considérablement la stabilité du véhicule.

Pour assurer le maximum de sécurité, un mécanisme permettant d'assurer une charge optimum à l'essieu autovireur est fortement recommandé. L'absence d'un système de contrôle automatique de la charge portée par l'essieu autovireur peut occasionner des surcharges à cet essieu, ce qui peut être problématique à l'égard de la sécurité routière. En contrepartie, une charge insuffisante à l'essieu autovireur cause des dommages supplémentaires au réseau routier et peut diminuer la stabilité du véhicule. Un système de contrôle de charge pourrait assurer une répartition uniforme entre les essieux fixes et l'essieu autovireur. Une charge minimale à l'essieu autovireur d'environ 3000 kilogrammes est fortement recommandée pour permettre à cet essieu de fonctionner efficacement. Un mécanisme plus sophistiqué pourrait permettre de faire l'usage de l'essieu autovireur que lorsque les essieux fixes auraient atteint une certaine limite de charge. À ce moment, la charge prise par l'essieu autovireur pourrait être équivalente à celle de chacune des essieux fixes de la semi-remorque. Une telle répartition de la charge sous les essieux de la semi-remorque s'avère habituellement la moins dommageable pour le réseau routier. Toutefois, il est important de s'assurer que cette répartition permette d'optimiser la masse totale en charge de l'ensemble de véhicules. Également, ce mécanisme de contrôle pourrait, à la limite, contraindre le conducteur du véhicule à ne relever l'essieu autovireur que lors de manoeuvre de recul.

Les concepteurs d'essieux autovireurs auraient avantage à améliorer leurs produits sur ces aspects pour tenir compte des contraintes nord-américaines. Les fabricants de semi-remorques et de suspensions doivent également adapter leurs produits pour tenir compte des

particularités des essieux autovireurs. La concertation de ces trois groupes de fabricants permettrait de concevoir des semi-remorques sécuritaires, adaptées au besoin des transporteurs, à un coût d'acquisition raisonnable et qui répondraient au besoin des instances gouvernementales.

ÉVALUATION DU COMPORTEMENT ROUTIER

Le ministère des Transports du Québec a effectué un programme complet d'essais statiques et dynamiques pour évaluer le comportement routier des semi-remorques équipées d'un essieu autovireur. Le but de ces essais était de s'assurer qu'il n'y avait pas de problème de stabilité dus aux essieux autovireurs lors de manoeuvres extrêmes effectuées par des semi-remorques ainsi équipées. Les essais ont inclus les véhicules conventionnels (sans autovireur) afin de pouvoir comparer directement les changements de performances. Les essais sont divisés en deux parties. Les tests statiques pour évaluer le seuil de renversement ont été effectués sur la table de renversement du Conseil national de la recherche du Canada (figure 3). Les essais dynamiques se sont déroulés sur les pistes du Centre d'essais pour véhicules automobiles de Transports Canada.



Figure 3 Évaluation du seuil de renversement

SEUIL DE RENVERSEMENT

L'influence de l'installation d'un essieu autovireur à la place d'un essieu relevable conventionnel sur le seuil de renversement d'un tracteur semi-remorque a été vérifiée en testant les deux types de véhicules pour les quatre configurations du programme de démonstration. Le même tracteur a été utilisé pour tous les essais. La pression des pneus sur les véhicules a été contrôlée et établie aux valeurs réellement utilisées par les compagnies de transport et non pas aux valeurs recommandées en fonction de la charge par les manufacturiers de pneumatiques. Les suspensions pneumatiques ont été équipées de dispositifs permettant de fermer les lignes d'air menant aux ballons de suspension, de façon à empêcher le transfert d'air d'un côté à l'autre durant le renversement. Enfin, le chargement des deux véhicules pour une même configuration était semblable. Un cas (configuration A) montrait une différence (2 300 kg) pour la charge portée par le tandem de la

semi-remorque et l'essieu relevable. Une correction a été apportée en tenant compte de la différence de charge et de son influence sur la hauteur du centre de gravité.

Les résultats obtenus se retrouvent dans le tableau 4. On peut observer un seuil de renversement identique entre la version avec essieu autovireur et celle avec essieu relevable conventionnel pour trois configurations. Ces configurations sont celles pour lesquelles le châssis a dû être rétréci afin de pouvoir installer l'essieu autovireur.

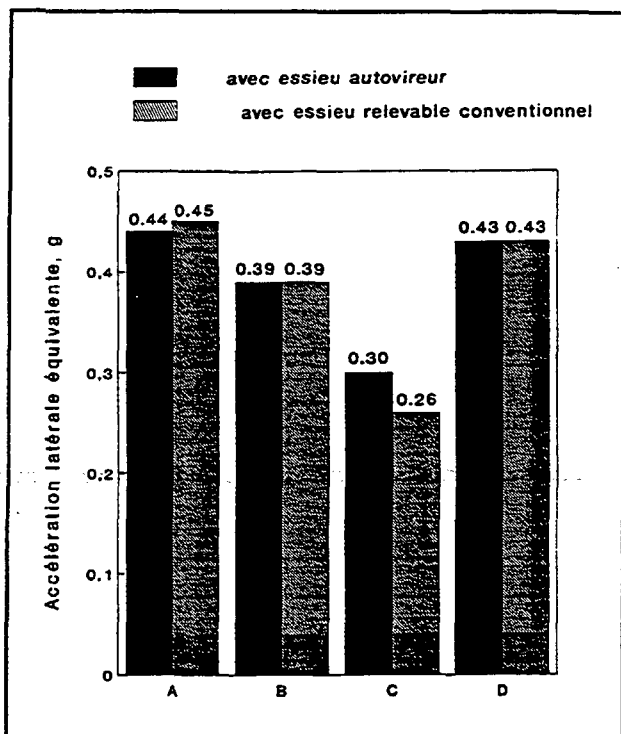


Tableau 4 Essais statiques : seuil de renversement

Dans le cas de la quatrième configuration, la seule qui n'a pas subi de modification au châssis, on observe une amélioration de 15 % du seuil de renversement pour la version avec essieu autovireur. On peut donc conclure que l'essieu autovireur améliore le seuil de renversement des véhicules tandis que les modifications au châssis, en diminuant la rigidité de celui-ci, abaissent le seuil de renversement.

COMPORTEMENT DYNAMIQUE

ESSAIS DYNAMIQUES

Des essais complets sur piste ont été effectués afin d'évaluer de façon plus précise les changements dans le comportement routier des véhicules équipés d'un essieu autovireur (figure 4). Seule la configuration C avec essieu conventionnel n'a pu être testée à cause de conditions atmosphériques non favorables. Les sept autres véhicules ont effectué les tests suivants : manoeuvre d'évitement, freinage, rayon constant, demi

changement de voie pour le calcul de l'amplification arrière. Cette dernière manoeuvre a été effectuée selon les spécifications du papier SAEJ2179 de Winkler, C. (1992). Pour tous les essais, le tracteur est le même et l'instrumentation est la suivante. Un accéléromètre stabilisé et un gyroscope sont installés près du centre de gravité du tracteur. Un autre accéléromètre se trouve directement sur l'essieu avant. Des potentiomètres sont installés sur les pivots de fusée (king pin) des essieux directeurs et autovireurs ainsi qu'à la sellette d'attelage afin de connaître les angles de roues et de la semi-remorque durant les manoeuvres. La cinquième roue installée à l'avant du tracteur permet de connaître la vitesse et la distance de freinage. Enfin, un deuxième accéléromètre stabilisé et un autre gyroscope sont installés au centre de gravité de la semi-remorque.

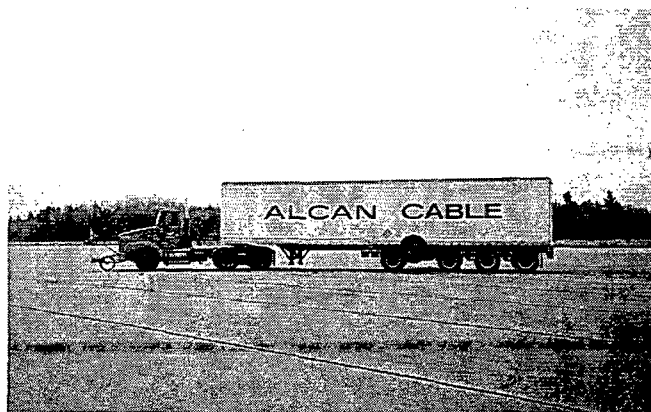


Figure 4 Essais dynamiques

Les résultats obtenus avec le test de la manoeuvre d'évitement sont très similaires avec ou sans essieu autovireur pour les configurations A et D. Les vitesses de passage réussies sont entre 96 et 99 km/h. Les valeurs d'amplification arrière sont cependant très légèrement plus faibles avec l'essieu autovireur. Pour la configuration B, la configuration typique québécoise (écartement 3,04 m – 1,83 m, et tandem avec suspension à lames), on remarque une différence assez importante puisque la vitesse de passage réussie la plus élevée est de seulement 88 km/h avec un essieu relevable conventionnel, par rapport à 96 km/h avec l'essieu autovireur. À cette vitesse et malgré le fait que la trajectoire d'évitement ne soit pas respectée, le véhicule équipé d'un essieu relevable conventionnel est très instable, à la limite de la perte de contrôle. De plus, la valeur d'amplification arrière est de 1,12 par rapport à 0,94 avec l'essieu autovireur.

Pour les tests de freinage, il n'y a eu aucune instabilité au niveau de l'essieu autovireur et celui-ci n'influence pas les distances d'arrêt. La seule différence notable obtenue lors des tests à rayon constant concerne de nouveau la configuration B pour laquelle les roues du côté gauche du tandem moteur manquent de motricité à 40 km/h avec la version à essieu relevable conventionnel seulement. On doit souligner que pour toutes les versions, bien qu'il y ait très peu de différence sur les données recueillies par l'instrumentation, les essais à rayon constant apparaissent beaucoup plus faciles à exécuter et moins exigeants pour la

mécanique avec un essieu autovireur. Finalement, les tests de demi changement de voie à 99 km/h ont permis d'observer une diminution moyenne de 6 % du facteur d'amplification arrière pour les semi-remorques avec essieu autovireur. Précisons que ce facteur est acceptable pour toutes les configurations puisqu'il a une valeur proche de l'unité. Ces valeurs ont été calculées avec l'accéléromètre stabilisé sur le tracteur plutôt que celui monté directement sur l'essieu, qui donnait des variations plus importantes.

DÉRIVE DES VÉHICULES

La différence de trajectoire entre les véhicules lors des manoeuvres d'évitement (et d'autres tests) nous permet de constater l'influence d'un essieu autovireur sur l'empattement effectif d'un tracteur semi-remorque. Celui avec un essieu autovireur montre une dérive plus importante mais une stabilité accrue par rapport au véhicule doté d'un essieu relevable conventionnel (en position abaissée). L'influence de l'essieu autovireur sur l'empattement effectif du véhicule est principalement due au changement de position du centre de gravité du chargement afin de répartir les charges axialement. L'autovireur ne change pas le centre de rotation géométrique du véhicule à vide. Ainsi, un tracteur semi-remorque avec un simple tandem sous la semi-remorque a une dérive plus importante que celui à trois essieux avec autovireur si la charge est répartie en fonction des essieux. À chargement identique, les deux véhicules ont la même dérive. De façon analogue, pour une répartition de charge similaire, le tracteur semi-remorque à trois essieux (conventionnels) a une dérive plus faible (et donc un empattement effectif plus court) que celui équipé d'un essieu autovireur. Ceci est dans le même sens que la thèse habituellement reconnue à ce sujet ainsi que d'essais précédemment effectués [Choi and Snelgrove (1979)].

Les études et essais effectués dans le cadre de ce projet ont toujours placé l'essieu autovireur à l'avant du groupe d'essieux, avec un grand écartement, puisque le but premier du programme est de remplacer l'essieu relevable et que celui-ci est toujours placé à l'avant au Québec. Cependant, il serait intéressant d'évaluer l'essieu autovireur dans un groupe de 3 essieux ayant un écartement de 1,52m - 1,52 m. La position de l'essieu pourrait alors être décidée en fonction des besoins de l'utilisateur: à l'avant pour la stabilité à haute vitesse ou à l'arrière pour augmenter la maniabilité à basse vitesse.

Dans le cas d'une semi-remorque à 4 essieux, l'installation d'un essieu autovireur à l'arrière pourrait occasionner plusieurs problèmes qui seraient à vérifier. Tout d'abord, on doit s'assurer que les autres essieux fournissent suffisamment de force latérale pour assurer la stabilité du véhicule. Deuxièmement, il faut vérifier que le porte-à-faux arrière ne dépasse pas 35 % de l'empattement effectif, qui est la valeur maximale autorisée par la réglementation québécoise ainsi que par l'entente pan-canadienne. Étant donné que les essieux sont avancés sur ce type de véhicules afin de respecter la répartition des charges, il faudrait vérifier chaque véhicule au cas par cas.

ESSAIS HIVERNAUX

Les essais dynamiques effectués à l'hiver 1993 avaient pour but de vérifier la stabilité des véhicules équipés d'essieu autovireur lors de freinage sur surface à coefficient de friction différent ainsi que leur comportement général en hiver. La surface d'essais était entièrement glacée (épaisseur de 10 cm de glace), à l'exception d'une surface d'environ 4 m par 2 m sans glace et située de façon à ce que le véhicule soit en freinage rectiligne lors du passage de son côté droit sur la plaque (figure 5). Trois types d'essieux ont été testés et les véhicules étaient équipés de roues de sécurité et de câbles permettant d'éliminer la mise en portefeuille du tracteur et de la semi-remorque (câble anti-jackknife). Lors de leur passage sur la surface à haut coefficient de friction (d'un seul côté) en freinant, les essieux autovireurs de chacune des trois semi-remorques ont braqué de ce côté pour se replacer immédiatement lorsque l'autovireur revient entièrement sur la glace. Les essieux Steffan et Sauer avaient des mouvements progressifs tandis que le Ceschi, plus rigide, se déplaçait brusquement et ne se replaçait pas complètement avant l'arrêt, peu importe le réglage de son mécanisme d'auto-centrage.

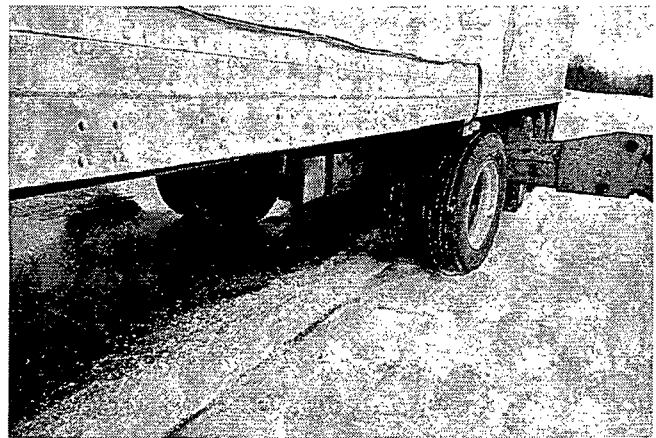


Figure 5 Essais hivernaux

Cependant, ces pivotements de l'essieu autovireur n'ont pas provoqué d'instabilité supplémentaire au véhicule. La principale instabilité latérale se produit lors du passage du tandem moteur sur la plaque à haut coefficient. Lors des arrêts à plus haute vitesse (jusqu'à 65 km/h) qui ont provoqué des dérapages du tracteur semi-remorque, on a pu observer que l'essieu autovireur s'enligne toujours dans le sens du dérapage. Ce phénomène donne un meilleur appui à l'essieu, augmente l'efficacité du freinage et diminue le moment de renversement provoqué par le dérapage latéral. Par contre, le moment d'alignement est dû uniquement au tandem arrière. Selon la situation, cela peut être un avantage ou un inconvénient. Des essais supplémentaires simulant des situations différentes ont donné des résultats similaires. Globalement, les résultats obtenus lors des essais hivernaux montrent un comportement routier acceptable.

ORIENTATION NORMATIVE

Les normes de charges et de dimensions des véhicules en Amérique du Nord diffèrent considérablement d'un pays, d'une province ou d'un État à l'autre. Dans un contexte de libéralisation des échanges commerciaux, il s'avère de plus en plus important d'uniformiser les règles. Au Canada, les normes de charges et de dimensions des véhicules sont de juridiction provinciale et les normes de fabrication des véhicules de juridiction fédérale. À l'exception d'un essieu sous un diabololo utilisé dans un train double de type C conforme à l'entente interprovinciale au Canada, il n'existe aucune réglementation en Amérique du Nord qui oblige ou favorise l'essieu autovireur.

Un projet visant à harmoniser les normes de charges et de dimensions des véhicules dans l'Est du Canada (provinces atlantiques, Québec et Ontario) a été élaboré. Initialement, il était prévu de défavoriser l'usage des essieux relevables, ce qui limitait le nombre d'essieux et leur espacement sous les semi-remorques. Pour maintenir une manoeuvrabilité acceptable, une semi-remorque sans essieu relevable ne doit pas posséder plus de 3 essieux et l'espacement de chacun de ces essieux ne doit pas excéder 1,83 m (6 pieds). Cette caractéristique limite à 48 500 kilogrammes la masse totale en charge d'un ensemble de véhicules constitué d'un tracteur et d'une semi-remorque. Le projet prévoyait également un train double de type B à 62 500 kilogrammes en conformité avec les normes de l'entente interprovinciale. Le train double de type B ne peut répondre à tous les besoins à cause de certaines contraintes opérationnelles. L'écart de limite des masses totales en charge entre le tracteur semi-remorque et le train double de type B favorisait l'utilisation d'un ensemble de véhicules à une charge moyenne d'environ 55 500 kilogrammes. Les contraintes à l'égard des infrastructures routières ne permettaient pas d'augmenter la masse totale en charge au-delà de 48 500 kilogrammes sur un tracteur 10 roues et une semi-remorque à 3 essieux. L'utilisation d'une semi-remorque à 4 essieux s'avérait une solution intéressante. L'ajout d'un quatrième essieu devait toutefois être autovireur pour éviter les inconvénients relatifs à l'utilisation d'un essieu relevable conventionnel. La position de l'essieu autovireur sous la semi-remorque s'avère une caractéristique importante. Les normes canadiennes limitent la longueur du porte-à-faux arrière effectif à 35% de l'empattement de la semi-remorque. Une semi-remorque dont l'essieu autovireur est situé à l'arrière possède un empattement plus court et, par conséquent, un porte-à-faux arrière plus long qui peut excéder la limite prescrite par la norme canadienne. Ainsi, il est préférable de positionner l'essieu autovireur à l'avant du groupe d'essieux fixes afin de faciliter la répartition de charge aux essieux et de limiter le porte-à-faux arrière.

Le projet a été porté à l'attention des transporteurs et des expéditeurs concernés mais n'a pas été encore entériné. Bien que tous s'entendent pour harmoniser la réglementation dans l'Est du Canada, les discussions se poursuivent toujours; des ententes sur des aspects

particuliers de ce projet seront certainement conclues avant 1996.

La province de Québec a démontré son intention de défavoriser l'essieu relevable conventionnel et d'obliger l'utilisation d'un essieu autovireur sous une semi-remorque à 4 essieux. À cet effet, un projet de modification réglementaire est actuellement en élaboration. Ce projet dont l'entrée en vigueur est prévue à la fin de 1995 prévoit l'obligation, pour les semi-remorques 4 essieux construites après le 1^{er} janvier de l'an 2000, d'être munies d'un essieu autovireur. Ce délai permettra aux fabricants d'essieux autovireurs d'améliorer leurs produits, de mettre en place un réseau de distribution, de développer des liens avec les fabricants de semi-remorques et de suspensions. Pendant cette période, les transporteurs pourraient se familiariser avec cette technologie.

Pour favoriser une transition harmonieuse, les semi-remorques à 4 essieux construites avant l'an 2000 seront tolérées à une masse totale en charge équivalente à celle d'une semi-remorque munie d'un essieu autovireur. Cette disposition vise à ne pas favoriser les modifications aux véhicules qui sont souvent coûteuses et qui parfois diminuent la résistance des semi-remorques.

Ces orientations auront pour effet de mieux protéger les infrastructures routières et d'améliorer la sécurité des usagers de la route. Le Québec souhaite que les autres administrations nord-américaines qui permettent l'essieu relevable puissent encourager l'utilisation de l'essieu autovireur au détriment de l'essieu relevable conventionnel.

CONCLUSION

Dans le cas d'une semi-remorque existante, le remplacement d'un essieu relevable conventionnel par un essieu autovireur n'est donc pas aussi simple qu'il semblerait aux premiers abords. Il est nécessaire de vérifier plusieurs points et l'expertise technique dans le domaine n'est pas très diversifiée. Pour une remorque ayant les bonnes caractéristiques, la transformation peut cependant être assez simple.

Pour une remorque neuve, l'installation d'un essieu autovireur est beaucoup plus simple puisqu'on peut prévoir son installation à la conception du véhicule. La bonne suspension peut être choisie à l'origine, ce qui diminue les coûts par rapport au remplacement souvent nécessaire sur une remorque existante. Par contre, le travail sur une chaîne de montage ne facilite pas l'installation de différents types de suspensions ou d'essieux. Enfin, le coût élevé d'un essieu autovireur par rapport à un essieu conventionnel rend une remorque ainsi équipée non compétitive pour la vente, vu que la réglementation actuelle ne favorise pas ce type d'essieu.

Au sujet du comportement routier des semi-remorques avec essieu autovireur, les résultats obtenus sont très encourageants et les chauffeurs sont en général très satisfaits du système après une période d'adaptation. Un système de répartition automatique de la charge permettrait de résoudre la majorité des remarques négatives au niveau du comportement. Des développements techniques facilement réalisables par les fabricants au plan de la localisation des freins et des systèmes de levée de l'essieu permettraient de répondre aux critiques au plan de leur utilisation.

Les résultats obtenus lors des essais statiques et dynamiques ont permis de s'assurer que l'installation d'un essieu autovireur en remplacement de l'essieu relevable conventionnel n'affecte pas négativement le comportement routier des véhicules, en autant que l'essieu autovireur soit installé et utilisé correctement.

Plus précisément, le seuil de renversement des véhicules est amélioré de 15 % lorsque le châssis n'a pas à être modifié et il est identique dans le cas contraire. On doit donc réduire au minimum les modifications. Au plan dynamique, on observe une légère amélioration avec un essieu autovireur. La vitesse de passage pour une manoeuvre d'évitement est augmentée de 8 % dans le cas de la configuration typique québécoise (écartement 3,04 m – 1,83 m et tandem avec suspension à lames) tandis que les valeurs d'amplification arrière sont en moyenne 6 % plus faibles pour toutes les configurations avec un essieu autovireur. Les essais dynamiques en condition hivernale n'ont pas apporté de résultats influençant négativement le comportement routier des véhicules équipés d'un essieu autovireur.

L'essieu autovireur peut donc résoudre la grande majorité des problèmes de l'essieu relevable conventionnel. Il serait souhaitable de prévoir l'installation de système d'égalisation de charge sur certaines semi-remorques afin de s'assurer que la suspension de l'essieu autovireur soit toujours bien réglée. Il est envisagé de modifier la réglementation québécoise sur les charges et dimensions des véhicules de façon à favoriser l'utilisation d'un essieu autovireur sous une semi-remorque à 4 essieux. De plus, des discussions se poursuivent entre les administrations de l'Est du Canada pour harmoniser les normes de charges et de dimensions.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- Choi, C. and Snelgrove, F.B. (1979), «Air Lift Axle Study», Ontario Ministry of Transportation and communications.
- El-Gindy, M. and Leblanc, P.A. (1990), «Rollover and Directional Stability of a Straight Truck Equipped with a Self-Steering Axle», National Research Council Canada.
- Erwin, R.D. and Guy, Y. (1986), «Influence of Weight and Dimensions on the Stability and Control of Heavy Duty Trucks in Canada», University of Michigan Transportation Institute.
- Grandbois, J. (1989), «Étude du Fonctionnement et du comportement d'un camion 12 roues avec essieu autovireur», Québec, Faculté de sciences et de génie, Université Laval.
- Leblanc, P.A., El-Gindy, M. and Woodroffe, J.H.F. (1989), «Self-Steering Axles : Theory and Practice», National Research Council Canada.
- Official Journal of European Communities (1985) «Directive 85/3/EEC» 3.1.85, No L2/17, annexe 1.5.
- University of Michigan Transportation Institute, «A Test for Evaluating the rearward amplification of multi-Articulated Vehicles», SAE J2179 draft.
- Winkler, C.B. (1989), «The Influence of Rear-Mounted, caster-Steered Axles on the Yaw Performance of Commercial Vehicles», Second International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, Kelowna.
- Woodroffe, J.H.F., El-Gindy, M. and Leblanc, P.A., «Technical Analysis and Recommended Practice for the Double-Drawbar Dolly Using Self-Steering Analysis Axles», National Research Council Canada.