



# **Évaluation concurrentielle du torseur de contact pneumatique/chaussée au moyen d'une roue dynamométrique et d'un système intégré l'infrastructure routière**

alex coiret

## **► To cite this version:**

alex coiret. Évaluation concurrentielle du torseur de contact pneumatique/chaussée au moyen d'une roue dynamométrique et d'un système intégré l'infrastructure routière. journées des sciences de l'ingénieur 2006, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - LCPC, Dec 2006, marne la vallée, France. <hal-04443442>

**HAL Id: hal-04443442**

**<https://hal.science/hal-04443442v1>**

Submitted on 7 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# **ÉVALUATION CONCURRENTIELLE DU TORSEUR DE CONTACT PNEUMATIQUE/CHAUSSÉE AU MOYEN D'UNE ROUE DYNAMOMÉTRIQUE ET D'UN SYSTÈME INTÉGRÉ À L'INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE**

Alex COIRET

*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, centre de Nantes, section ISR/ESAR.  
BP 4129 – 44341 Bouguenais cedex.*

## **Résumé**

La connaissance des efforts exercés par les roues d'un véhicule sur une chaussée est primordiale pour les études sur les pertes de contrôle (théoriques, simulées, expérimentales). En particulier, pour les études expérimentales, la mesure de ces efforts, rapportée aux glissements et dérives des pneumatiques aide à modéliser le comportement du véhicule. Face aux coûteuses roues dynamométriques traditionnellement employées pour cela, un système alternatif a récemment été développé par le LCPC. Constitué d'un élément de la chaussée mécaniquement désolidarisé et instrumenté, ce système permet la mesure des 6 composantes du torseur de contact entre un pneumatique et la chaussée. Sa validation est ici établie en le confrontant à un véhicule muni d'une roue dynamométrique, sur la piste de référence du LCPC. Des résultats sont présentés pour des situations de braquage pur, de roulement libre et de freinage d'urgence, en contact sec ou lubrifié. Sans apporter la connaissance du torseur de force tout au long d'une trajectoire, il est montré qu'un système intégré à la chaussée permet d'acquérir ce torseur en un lieu donné avec un niveau de précision semblable à celui d'une roue dynamométrique, et ce pour tout véhicule et sans nécessiter d'instrumentation embarquée. Cela profitera aux gestionnaires routier pour l'évaluation du tracé et des caractéristiques de surface d'une section routière vis-à-vis des sollicitations mobilisées par un ensemble varié de véhicules.

## **1 Introduction**

Un des programmes de recherche du LCPC concerne la « sécurité routière », terme général que nous allons restreindre à « sécurité associable au réseau routier ». Les divers moyens employés pour les recherches LCPC de ce programme sont gérés en « opérations de recherche ». En particulier, la présente étude est rattachée à l'opération « adhérence et contrôlabilité » pour laquelle on étudie les facteurs relatifs à l'infrastructure routière qui influencent les possibilités de contrôle du système Véhicule/Infrastructure/Conducteur (ou contrôlabilité). D'autres opérations du programme concernent la visibilité, les problématiques poids lourds et viabilité hivernale ainsi que les notions de risque routier et de trajectoires.

Dans un premier temps une approche expérimentale de la contrôlabilité a été choisie. Ce volet nécessite, entre autres, la mesure des efforts de contact et des glissements pour une roue. La plupart des expérimentations seront donc effectuées au moyen d'un véhicule instrumenté comprenant au moins une roue dynamométrique (mesure du torseur des efforts transmis par le moyeu d'une roue de véhicule) et un système de mesure des glissements de cette roue (par ex: système optique Correvit bi-axial).

Cependant, nos études portent sur la route, sur ses paramètres qui sont susceptibles d'avoir une influence sur la sécurité routière. Ces paramètres n'ont pas une influence intrinsèque ; ils ne peuvent pas non plus être fixés en prenant un véhicule unique. Il conviendra donc pour une route étudiée *i)* d'extrapoler les résultats obtenus avec le véhicule d'essais aux possibilités de contrôle d'autres types de véhicules ou *ii)* de pouvoir directement réaliser des essais avec ces véhicules.

Pour répondre à cette deuxième proposition, soit pour un parc varié de véhicules, il n'est pas économiquement possible d'accéder aux efforts de contact au moyen d'une roue dynamométrique (important coût d'adaptation pour chaque véhicule). Nous avons alors envisagé la faisabilité de la mesure du torseur de contact depuis l'infrastructure. Cette étude a débouché sur le développement du système MEVI au LCPC. Des premières validations ont été faites, en comparant les mesures à des matériels couramment utilisés en gestion de l'entretien des routes (grip-tester ; (coiret, 2005)) ou à des estimations embarquées des efforts : procédure de freinage frontal ou exploitation de mesures cinématiques (coiret, 2004), (coiret et al. 2005).

Disposant depuis peu d'une roue dynamométrique, nous avons l'opportunité de comparer le système MEVI à ce matériel considéré comme la référence dans le domaine de la dynamique automobile. Une information complémentaire, presque redondante, pourra être apportée lors de ces essais comparatifs par des capteurs de couple récemment disposés sur les lignes de transmission mécanique boîte/roues du véhicule 406-LCPC (essais en accélération ou vitesse stabilisée ; non exploitable en cas de freinage car il s'agit d'un effort interne à la transmission).



Illustration 1 - Vue de détail : roue Kistler® sur système MEVI

## 2 Résultats expérimentaux

### 2.1 Essai statique de braquage pur : première comparaison métrologique

Un essai quasi-statique est réalisé en première intention pour vérifier métrologiquement les systèmes roue dynamométrique et MEVI. Partant de la position roue centrée sur MEVI, la commande de direction du véhicule est braquée à droite au maximum, puis à gauche, encore en butée, et finalement ramenée au centre, tout en bloquant la rotation propre de la roue à l'aide du frein de service. Le réglage d'offset pour MEVI est réalisé en soustrayant aux signaux un enregistrement préalable, en l'absence de la roue ; celui de la roue dynamométrique est réalisé en roulement libre préalable.

La figure 2 présente le torseur de contact mesuré par MEVI lors de la manoeuvre de braquage :

- la résultante  $\vec{F}_{z_{mevi}}$  augmente légèrement lors des braquages vers la droite, diminue lors des braquages vers la gauche. On peut y voir une influence (pas déraisonnable) de l'élastocinématique de la suspension et du train avant ;

- la résultante  $\vec{Fy}_{mevi}$  est l'effort latéral de contact du pneumatique sur la chaussée ; sa variation en amplitude de 70 daN est d'un ordre probable ; on aurait cependant dû s'attendre à des efforts positif et négatif de même norme pour les braquage à droite et à gauche : en pratique, cette asymétrie est sans doute liée à un effort préexistant de braquage à gauche (amenée du véhicule sur MEVI, chaussée en légère pente) ;
- une résultante  $\vec{Fx}_{mevi}$  apparaît pour les fort angles de braquages (presque en butée), corrélée à la résultante  $Fy$  en raison de la condition de roue bloquée en rotation propre ; en laissant la roue libre en rotation, véhicule maintenu par le frein de stationnement arrière, un essai a montré que cette résultante n'existe plus, ce qui corrobore la remarque précédente ;
- Enfin, le moment  $Mz_{mevi}$  est représentatif de la progressivité de la commande volant appliquée (avec un rapport d'échelle dû à l'assistance de la direction).

En figure 3 sont présentées les mêmes variables, obtenues par la roue dynamométrique Kistler :

- la charge  $\vec{Fz}_{rdyn}$  est très comparable à celle mesurée par MEVI, une différence d'une dizaine de daN correspondant à la fois à l'incertitude métrologique et au poids du pneumatique (  $Fz_{mevi} > Fz_{rdyn}$  ) ;
- le moment  $Mz_{rdyn}$  est strictement opposé au moment mesuré par MEVI (pour cause de convention d'orientation des repères) ;
- les efforts  $\vec{Fx}_{rdyn}$  et  $\vec{Fy}_{rdyn}$  sont proches de ceux mesurés avec MEVI ; cependant le  $\vec{Fy}_{mevi}$  a un décalage de +70 daN (la méthode d'offset de la roue dynamométrique, en roulement libre, autorise la mesure de l'effort initial  $Fy$  de braquage) ;

En dernière remarque, les deux systèmes présentent des moments  $Mx$  de courbes homothétiques mais d'amplitude assez différente. Au besoin, la comparaison de ces moments nécessitera la connaissance du point de contact exact et des bras de levier pour déterminer les lois de transport à appliquer (  $Mx_{rdyn} \simeq Fy_{rdyn} \cdot R_{roue}$  ;  $Mx_{mevi} \simeq Fz \cdot d_{centre} + Fy_{mevi} \cdot h_{mevi}$  ).

Globalement, on note donc un bon accord entre les moyens de mesure pour cette situation particulière quasi-statique, si les choix d'offset sont bien définis.

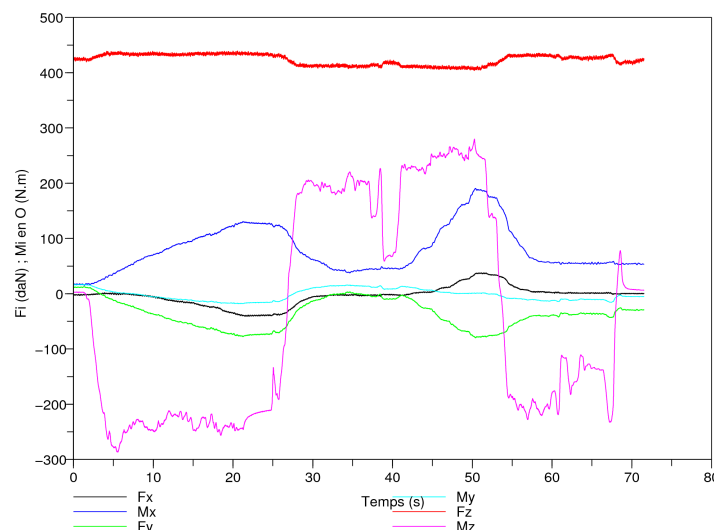


Illustration 2 - Torseur MEVI : frein principal bloqué, sol sec, pneu centré ;  
braquage « centre / butée droite / butée gauche / retour au centre »

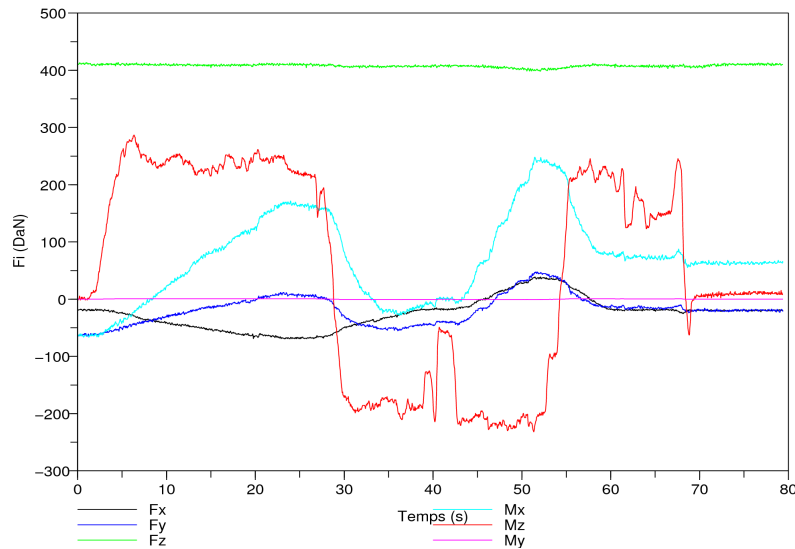


Illustration 3 - Torseur roue dynamométrique : frein principal bloqué, sol sec, pneu centré ; braquage « centre / butée droite / butée gauche / retour au centre »

## 2.2 Torseur de contact en roulement à vitesse constante

La figure 4 présente les variations du torseur de contact mesurées par MEVI pendant une période englobant la durée de passage de la roue avant droite du véhicule sur l'axe longitudinal central de MEVI. L'essai illustré correspond à une vitesse de passage du véhicule de 10 km/h ; néanmoins des essais ont été réalisés pour des vitesses de déplacement constantes de 10 km/h à 110 km/h par paliers de 20 km/h.

### 2.2.1 Faible dynamique

À 10 km/h la charge verticale  $F_z$  est mesurée de manière stable par les deux systèmes -MEVI et roue dynamométrique-, avec une légère différence due à la masse du pneumatique (et une partie de la jante). L'effort de traction selon la mesure de roue dynamométrique est d'environ 30 daN. La moyenne de cet effort est évaluée à 25 daN au moyen du système MEVI, en exploitant la période d'appui complet du pneumatique (9 centièmes de seconde ; voir figure 4).

La force latérale  $\vec{F}_y$  est de 30 daN selon la roue dynamométrique mais elle est beaucoup plus faible selon MEVI (environ 10 daN). L'écart est lié au faible niveau absolu de ce paramètre, ce qui le rend difficile à mesurer par les deux systèmes (pour les contraintes permanentes du train, l'offset de roue dynamométrique est peut-être moins neutre que la mesure à vide de MEVI).

Le faible moment  $M_{x_{mevi}}$  indique un bon centrage latéral du pneumatique sur la plaque de mesure en enrobé bitumineux. En trajectoire rectiligne on peut négliger la contribution de la force latérale au moment  $M_x$  ; le défaut de centrage du pneumatique peut ainsi être estimé à  $d_{centre} \simeq M_x / F_z \simeq 50 / 4500 \simeq 0,01 \text{ m}$ .

### 2.2.2 Évolution

Pour des vitesses d'essai plus élevées, de 30 à 110 km/h, l'effort de traction  $\vec{F}_{x_{mevi}}$  augmente jusqu'à atteindre 50 daN tandis que  $\vec{F}_{x_{rdyn}}$  reste stable à 30 daN. L'augmentation du torseur aérodynamique n'est pas mise en évidence par les mesures de la roue dynamométrique ; des essais complémentaires sont prévus pour vérifier ce point inattendu.

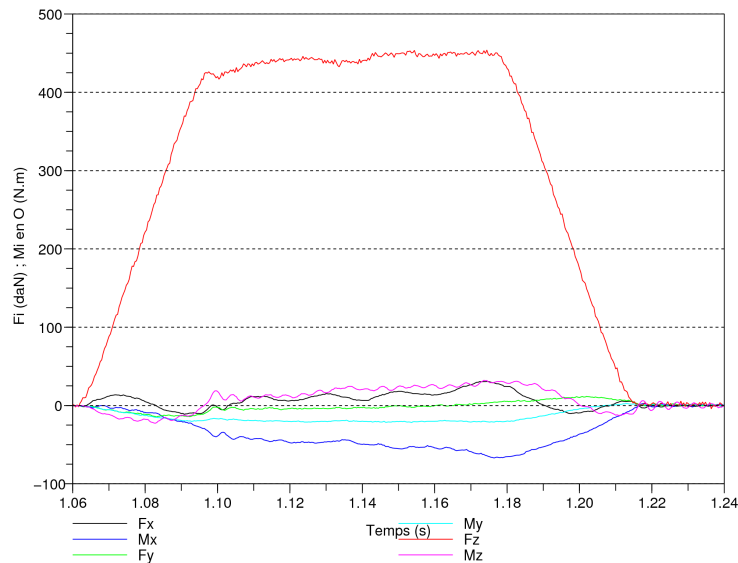


Illustration 4 - torseur MEVI : vitesse constante de 10 km/h

### 2.3 Freinage d'urgence sur revêtement mouillé, sans ABS

Les figures 5 et 6 montrent les efforts acquis par MEVI et la roue dynamométrique lors d'un freinage d'urgence sans ABS, sur revêtement mouillé et depuis une vitesse initiale de 70 km/h.

Depuis 30 km/h, les efforts MEVI sont respectivement de 500 daN et 300 daN pour Fz et Fx. Ils sont mesurés à 470 et 390 daN par la roue dynamométrique. L'écart de chargement vertical est en partie dû à la masse du pneumatique ; l'écart sur l'effort de freinage est important et semble lié aux incertitudes de mesure et de comportement des systèmes face à des efforts fortement transitoires.

Depuis 70 km/h, les efforts deviennent :  $\vec{Fz}_{mevi} = 470 \text{ daN}$  ,  $\vec{Fx}_{mevi} = 200 \text{ daN}$  ,  $\vec{Fz}_{rdyn} = 470 \text{ daN}$  ,  $\vec{Fx}_{rdyn} = 260 \text{ daN}$  .

Le poids du pneumatique et les incertitudes sur Fz se compensent tandis que la force de freinage est encore nettement plus élevée lorsque elle est évaluée au moyen de la roue dynamométrique.

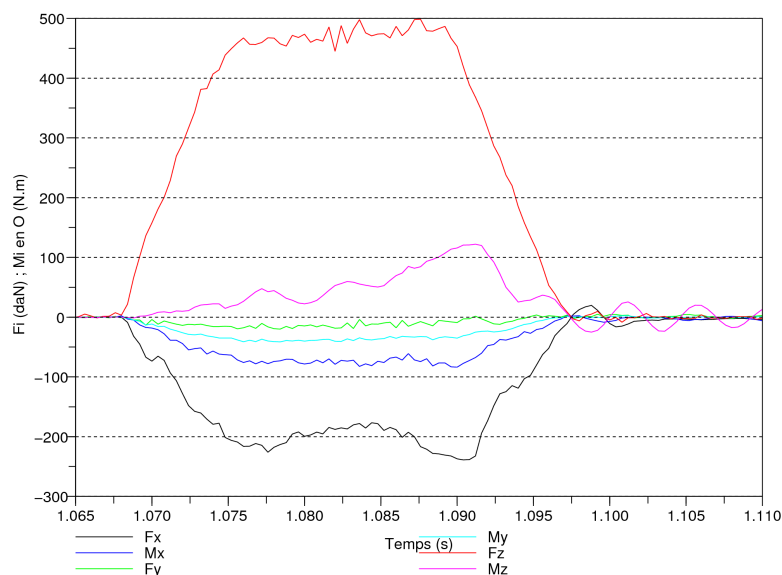
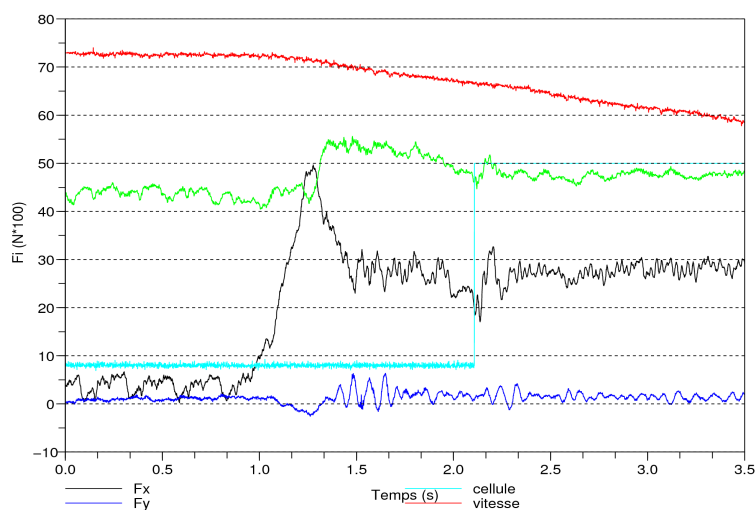


Illustration 5 - torseur MEVI : freinage, revêtement mouillé, sans ABS (vitesse initiale de 70 km/h)



*Illustration 6 - torseur roue dynamométrique : freinage, revêtement mouillé, sans ABS (vitesse initiale de 70km/h)*

### 3 Conclusion

Les essais préliminaires présentés dans cette étude ont pour but de valider MEVI vis-à-vis de mesures embarquées des efforts, de référence. L'intérêt primaire est lié à la possibilité de prendre en compte de nombreux véhicules empruntant une infrastructure que l'on cherche à qualifier.

Des essais statiques sous divers chargements ont conforté l'idée d'un niveau de précision équivalent entre MEVI et une roue dynamométrique. En essai de cisaillement (braquage), l'ensemble des 3 composantes des efforts appliqués sont retrouvés identiques, aux incertitudes métrologiques près. Le moment  $M_z$  est également mesuré identiquement par les deux systèmes.

Les essais à différentes vitesses constantes montrent une augmentation des efforts de traction avec la résistance aérodynamique selon le système MEVI mais pas selon la roue dynamométrique. Ce comportement inattendu nécessitera une vérification.

En freinage d'urgence sans ABS et sur sol mouillé, les efforts de freinage relevés par la roue dynamométrique sont assez nettement supérieurs à ceux mesurés par MEVI, de l'ordre de 30%. En seconde approche, il sera nécessaire de disposer d'autres moyens d'estimation pour départager les systèmes.

En conclusion il est montré que -bien qu'il subsiste des différences de mesure à expliquer- les systèmes de type roue dynamométrique et MEVI portent sur les mêmes grandeurs mesurées et sont d'une précision comparable. L'intérêt du système MEVI, en dehors de son coût 8 fois plus faible, est d'être indépendant du véhicule d'essai et relativement déplaçable. On peut ainsi mesurer les efforts appliqués par tout les véhicules parcourant une section de route donnée. La connaissance des efforts mobilisés pourra alors s'ajouter à celle -classique- des vitesses moyennes pratiquées pour contribuer au bilan de sécurité d'une voie particulièrement dangereuse. Ce travail et ses premières applications s'inscrivent dans le projet SARI/RADARR.

#### Références :

Coiret A. « Étude de faisabilité pour le compte de la DSCR, projet MEVI Mesure des Efforts appliqués par un Véhicule léger, depuis l'Infrastructure », rapport pour la DSCR, 99p., décembre 2004.

Coiret A., "Mise en évidence de l'intérêt d'un système inséré en chaussée pour la vérification d'appareils mobiles évaluant l'adhérence : Expérimentation GRIP-TESTER / MEVI", 22p., juin 2005.

A. L. Coiret, M.-L. V. Gallenne, P.-Y. M. Texier, "Tire / Pavement Strain Tensor Measurement with an Infrastructure-based approach", World Tribology Congress III, Washington DC, USA, 12-16 sept. 2005.