



HAL
open science

Banc expérimental d'analyse des phénomènes aérodynamiques générés par le dépassement de deux véhicules automobiles

Christophe Noger, Patrick Gilliéron

► To cite this version:

Christophe Noger, Patrick Gilliéron. Banc expérimental d'analyse des phénomènes aérodynamiques générés par le dépassement de deux véhicules automobiles. Banc expérimental d'analyse des phénomènes aérodynamiques générés par le dépassement de deux véhicules automobiles, Sep 2003, Nice, France. pp.CFM 2013. hal-00908531

HAL Id: hal-00908531

<https://hal.science/hal-00908531>

Submitted on 24 Nov 2013

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.

Public Domain

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.

Banc expérimental d'analyse des phénomènes aérodynamiques générés par le dépassement de deux véhicules automobiles

Christophe Noger* & Patrick Gilliéron**

* Institut Aérotechnique de Saint-Cyr l'École

15, Rue Marat

78210 Saint-Cyr l'École

christophe.noger@iat.cnam.fr

** Renault, Direction de la Recherche & CNRS

1, Avenue du Golf

78288 Guyancourt cedex

patrick.gillieron@renault.com

Résumé : Un banc d'essais permettant de simuler et d'analyser les phénomènes aérodynamiques transitoires associés aux processus de dépassement de deux véhicules a été développé par l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr l'École et la Direction de la Recherche Renault. Le banc permet de simuler le processus transitoire de dépassement à partir de deux maquettes de véhicule à échelle 1/5 pour des vitesses relatives entre les deux maquettes qui varient entre 0 et 10 m.s⁻¹. Sa conception permet d'analyser l'influence de l'espacement transversal et du vent latéral sur le torseur aérodynamique instationnaire qui s'exerce sur chacune des deux maquettes. Les différents systèmes de mesure et d'acquisition développés pour ce banc ainsi que les premiers résultats sont successivement présentés.

Abstract : A test set up was developed at the Institut Aérotechnique de Saint-Cyr l'École to simulate and analyse the transient aerodynamic phenomena associated with vehicle overtaking. This set up is used in an automotive wind tunnel to study the transient interactions between two 1/5 scale vehicle models moving relative to each other at speeds ranging from 0 to 10 m.s⁻¹. The design of the set up allows the study of the effect of lateral spacing and of cross-wind on the aerodynamic forces acting on each of the two models. The details of this facility and first results are presented in this paper.

Mots-clefs : Aérodynamique, Automobile, Transitoire, Vent latéral.

1 Introduction

Lors du processus de dépassement, les champs aérodynamiques qui s'exercent sur les véhicules dépassé et dépassant interfèrent de manière transitoire et les véhicules sont soumis à de rapides sollicitations autour des axes de lacet, de roulis et de tangage. Ces sollicitations peuvent avoir des incidences significatives sur la stabilité dynamique, le confort, la sécurité et aucun moyen d'essais n'est aujourd'hui disponible pour analyser ces phénomènes. Les ingénieurs restent donc démunis pour évaluer les comportements dynamiques des véhicules lors des processus transitoires de dépassement avec ou sans vent latéral. Des approches analytiques et des simulations numériques basées sur des géométries simplifiées et des configurations quasi-statiques ont été développées à la Direction de la Recherche de RENAULT, (Gilliéron, 2003). L'expertise développée reste à valider par l'expérience et les influences des effets transitoires doivent être caractérisées et quantifiées.

Une collaboration de recherche a donc été développée entre l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr l'École et la Direction de la Recherche de RENAULT pour mettre au point un banc expérimental de mesures et d'analyses. Les phénomènes physiques sont simulés en soufflerie automobile à l'aide de deux maquettes à échelle 1/5 dont une reste fixe par rapport au référentiel de la veine d'essais. Le dépassement s'obtient en déplaçant une seconde maquette à vitesse

constante dans une direction parallèle à l'axe longitudinal (X) de la maquette fixe. Une balance aérodynamique, reliée à la maquette fixe, permet de mesurer les torseurs aérodynamiques des maquettes en position de véhicules dépassant et dépassé. Le torseur aérodynamique instationnaire qui s'exerce sur le véhicule dépassé (resp. dépassant) s'obtient en déplaçant la maquette mobile dans le sens opposé au (resp. même sens que le) sens du vent incident. Les expérimentations peuvent s'effectuer pour différentes vitesses de vent V_o de la soufflerie et différentes vitesses de déplacement V_r de la maquette mobile. Le banc permet également d'analyser les influences du vent latéral (angle de dérapage β) et de l'espacement transversal (Y) entre les deux maquettes. Les différents systèmes de mesure et d'acquisition développés pour ce banc ainsi que les premiers résultats sont successivement présentés.

2 Éléments théoriques

L'évolution des efforts et des moments aérodynamiques appliqués sur les véhicules dépassé et dépassant est pseudo harmonique de fréquence f donnée par (Gilliéron *et al* (2000) et Gilliéron (2003)) :

$$f = \frac{V_r}{L_h} \quad (1)$$

où L_h est la distance qui sépare la face avant du véhicule dépassant à deux instants séparés d'une période T ($T= 1/f$), et V_r la vitesse relative du véhicule dépassant par rapport au véhicule dépassé. En pratique et pour les résultats présentés dans ce papier, la distance L_h est comprise entre 3 et 4 fois la longueur des véhicules dépassant ou dépassé (Gilliéron, 2003).

Le rapport des vitesses relative V_r et de déplacement V_o du véhicule à dépasser sur route et en soufflerie devant être respecté pour satisfaire les conditions de similitudes en fréquence réduite, la fréquence du phénomène pseudo harmonique pour les essais en soufflerie est donnée par :

$$f = \frac{V_{o_{\text{soufflerie}}}}{L_h} \left(\frac{V_r}{V_o} \right)_{\text{route}} \quad (2)$$

Pour les souffleries utilisées, la vitesse V_o de l'écoulement autour des maquettes est égale à la vitesse V_o de déplacement autorisée sur route et autoroute. Les fréquences f des phénomènes pseudo harmoniques en soufflerie et sur route sont alors égales pour une même longueur L de véhicule. En pratique les valeurs du rapport V_r/V_o se situent entre 0.1 et 0.5.

3 Souffleries et maquettes

La simulation du processus de dépassement peut indifféremment s'effectuer dans l'une des deux souffleries automobiles S4 ou S10 de l'Institut Aérotechnique de Saint Cyr l'École, voir figure 1. Les veines d'essais de ces souffleries sont à fentes longitudinales et les hauteurs, les largeurs et les longueurs sont respectivement égales à 3, 5 et 10m. Les vitesses de vent peuvent atteindre 40m.s^{-1} pour la soufflerie S4 et 55m.s^{-1} pour la soufflerie S10.

La maquette mobile doit être légère et résister aux accélérations et décélérations (40 m.s^{-2}) associées aux phases d'augmentation et de réduction de vitesse. Cette maquette est alors réalisée en carbone. La maquette fixe est réalisée en bois ou en PVC et est reliée à une balance aérodynamique qui permet de mesurer les six composantes du torseur instationnaire qui s'exerce sur la maquette. Elle peut être équipée sans difficulté de systèmes de mesure capables de relever

les évolutions instationnaires de grandeurs physiques à la surface ou dans le sillage, (pressions et vitesses).

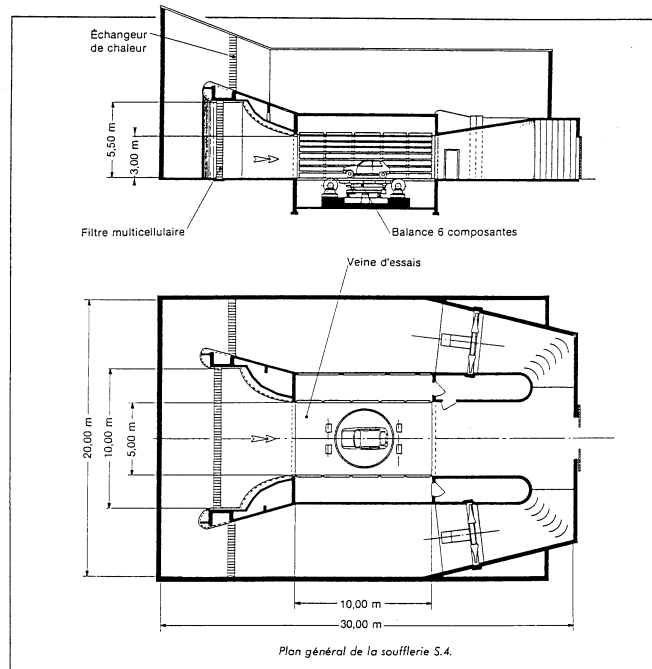


Fig. 1 – Soufflerie automobile S4 de l’Institut Aérotechnique (IAT) de Saint-Cyr l’École.

4 Banc d’essais

Le banc d’essais et d’analyse du processus de dépassement est réalisé à partir d’un faux plancher en bois qui est fixé sur le sol de la soufflerie et qui occupe toute la largeur et la longueur de la veine d’essais, voir figure 2. Ce faux plancher, de hauteur 215 mm, permet de loger l’ensemble des matériels de mesure ainsi que les différents systèmes de fixation et de déplacement des maquettes fixe et mobile.

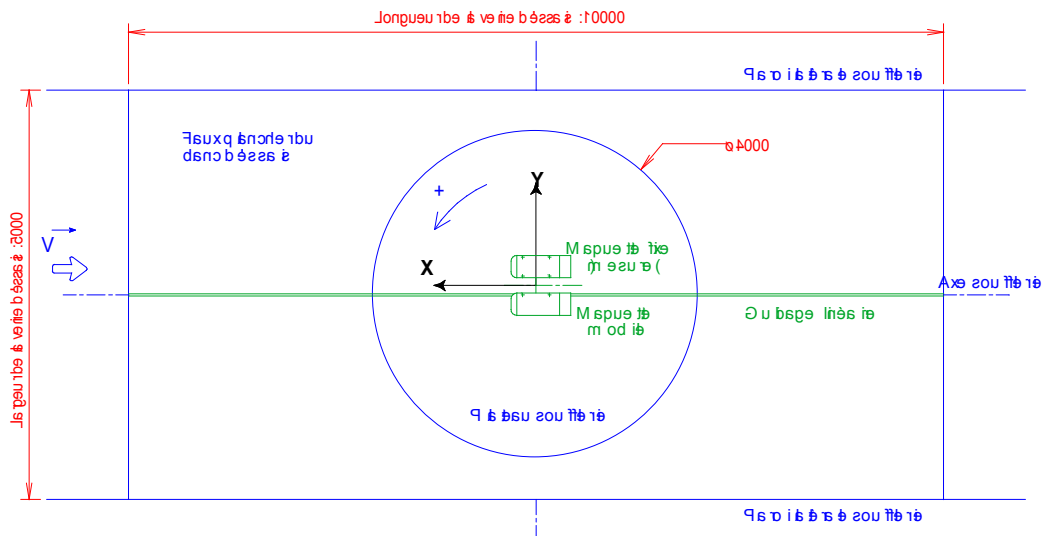


Fig. 2 – Banc d’essais avec un dérapage nul (vue de dessus).

Le banc d'essais est constitué d'un système de guidage linéaire et munie d'une balance aérodynamique instationnaire reliée à un système d'acquisition, voir figure 3.

Le guidage linéaire (INA) permet de déplacer à vitesse constante la maquette du véhicule dépassant suivant une trajectoire rectiligne, voir les caractéristiques reportées dans le tableau 1. Ce guidage est constitué d'une poutre guide, d'un chariot compact et d'un système d'entraînement par courroie crantée. La poutre guide est réalisée en profilé d'aluminium anodisé dont la rigidité est assurée à l'aide de deux arbres réalisés en acier trempé rectifié et sertis à l'intérieur. Le chariot, de longueur 0.20m et de largeur 0.13m, est constitué d'un profil en aluminium anodisé dont le déplacement par rapport à la poutre s'effectue à l'aide de quatre galets de roulement. Son positionnement est réglé sans jeu par l'intermédiaire de deux axes excentrés et deux racleurs graisseurs, respectivement positionnés à l'avant et à l'arrière du chariot, en assurent la lubrification. Le système d'entraînement comprend un moteur à courant continu de technologie brushless, une courroie crantée et deux paliers de renvoi munis de poulies. Le moteur KOLLMORGEN SEIDEL à très faible inertie permet de générer des déplacements avec des accélérations élevées et de contrôler des déplacements avec inertie dynamique, voir les caractéristiques reportées dans le tableau 1. Le déplacement du chariot est assuré par une courroie crantée reliée à deux paliers de renvoi munis chacun d'une poulie positionnée à chaque extrémité du chariot. Ces paliers sont réalisés en aluminium anodisé et les poulies sont montées sur des arbres munis de roulements à billes lubrifiés à vie.

Longueur totale du guidage (m)	9.200	Course utile à $V_r = \text{cste} = 10 \text{ m.s}^{-1}$ (m)	3.755
Vitesse maxi du chariot V_r (m.s^{-1})	10	Accélération maxi du chariot (m.s^{-2})	40
Traînée maxi de la maquette (N)	85	Effort latéral maxi de la maquette (N)	60
Masse maxi de la maquette (kg)	10	Moment d'inertie du moteur (kg.cm^2)	42

Tableau 1 – Caractéristiques mécaniques du guidage linéaire.

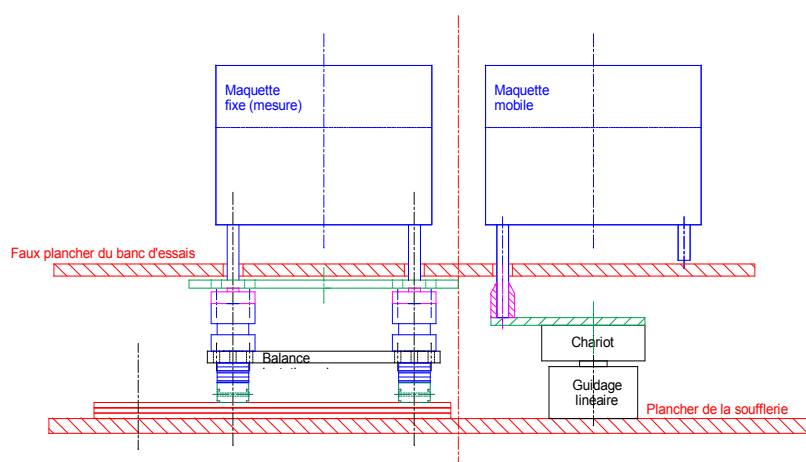


Fig. 3 – Coupe transversale du banc d'essais.

La balance aérodynamique instationnaire (KISTLER) est constituée d'éléments séparés de mesure d'efforts (3 composantes par élément de mesure) basés sur la technologie piézo-électrique. Positionnée sous le faux plancher entre la maquette fixe et le plancher de la soufflerie (voir figure 3), cette balance est constituée de quatre éléments de mesure d'efforts. Cette disposition hyperstatique (12 équations pour 6 inconnues) permet d'assurer la rigidité de l'ensemble et d'accéder aux trois composantes des efforts et des moments aérodynamiques qui s'exercent sur la maquette.

Le système d'acquisition est constitué d'une chaîne instationnaire MÜLLER-BBM munie d'une carte d'acquisition (HP E1432A) qui permet la mesure simultanée sur 16 voies de mesure avec une résolution de 16 bits. Un module DSP possédant ses propres filtres anti-repliement autorise une bande passante de 23 KHz par voie.

Dans le cas des mesures dynamiques (véhicule dépassant mobile), la fréquence d'échantillonnage est toujours égale à 512 Hz et la durée d'acquisition est gérée par des triggers (capteurs de position) qui se déclenchent au passage du véhicule mobile. Dans le cas de mesures statiques (véhicule dépassant fixe), la fréquence d'échantillonnage est identique et les coefficients aérodynamiques moyens sont déterminés à partir des acquisitions moyennées sur 20 secondes.

Enfin, les dimensions du banc et les caractéristiques des matériels utilisés permettent d'analyser les interactions aérodynamiques entre une berline et une berline, une berline et un poids lourd ou un poids lourd et un poids lourd.

5 Premiers résultats d'essais

Les processus de dépassement, décrits à partir de positions statiques (V_r nulle) et dynamiques ($V_r \leq 10 \text{ m.s}^{-1}$), sont analysés pour différents espacements latéraux et différentes vitesses V_0 de l'écoulement incident.

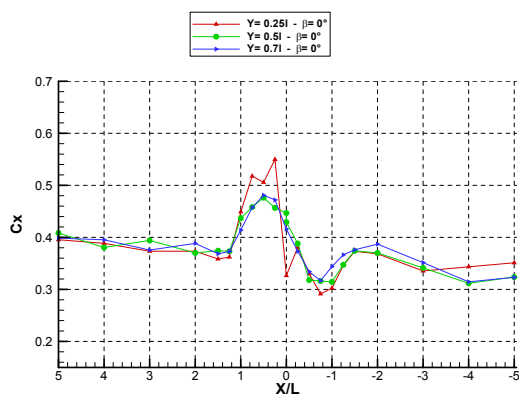


Fig. 4 – Évolution du coefficient de traînée aérodynamique C_x de la maquette en position de véhicule dépassé pour un dépassement décrit à partir de positions statiques ($V_r = 0 \text{ m.s}^{-1}$).

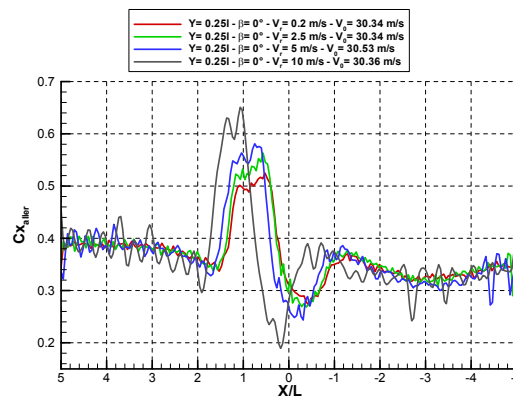


Fig. 5 – Évolution du coefficient de traînée aérodynamique C_x de la maquette en position de véhicule dépassé pour différentes vitesses de dépassement V_r .

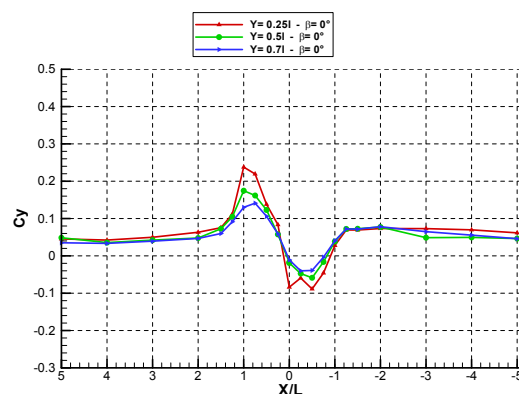


Fig. 6 – Évolution du coefficient aérodynamique d'effort latéral C_y de la maquette en position de véhicule dépassé pour un dépassement décrit à partir de positions statiques ($V_r = 0 \text{ m.s}^{-1}$)

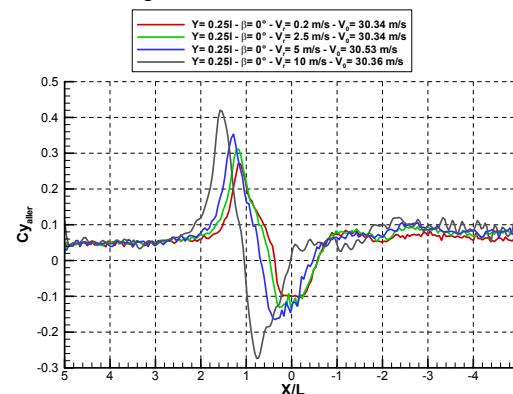


Fig. 7 – Évolution du coefficient aérodynamique d'effort latéral C_y de la maquette en position de véhicule dépassé pour différentes vitesses de dépassement V_r .

Evolutions données pour des espacements latéraux Y variables où l désigne la largeur des maquettes identiques représentant les véhicules dépassant et dépassé.

Les évolutions des coefficients aérodynamiques de traînée et d'effort latéral statiques (21 positions longitudinales suivant l'axe X) et dynamiques (la maquette mobile se déplace dans le sens opposé au sens de l'écoulement incident), mesurés à partir de deux géométries simplifiées identiques de véhicule automobile (corps de Ahmed à l'échelle 0.7, Ahmed *et al* (1984)), sont reportées sur les figures 4, 5, 6 et 7 (Noger, 2002). Tous les résultats sont donnés sans dérapage ($\beta=0^\circ$) en fonction des abscisses relatives réduites X/L où X désigne la distance entre les faces avant des véhicules dépassé et dépassant et L la longueur des deux maquettes.

Les résultats confirment le caractère pseudo harmonique de l'évolution des coefficients aérodynamiques de traînée et d'effort latéral. Pour des positions fixes du véhicule dépassant (figures 4 et 6), les distances L_h qui séparent la face avant du véhicule dépassant à deux instants séparés d'une période T d'évolution des coefficients aérodynamiques de traînée et d'effort latéral apparaissent respectivement proches de $4L$ [$x/L=4$; $x/L=0$] et de $5L$ [$x/L=4$; $x/L=-1$]. Les fréquences d'évolution des efforts pseudo harmoniques rapportées à des véhicules à échelle grandeur (échelle 1 et $L=5m$) sont alors, d'après (2), proches de 0.50 et 0.40Hz pour une vitesse relative de dépassement V_r égale à $10 m.s^{-1}$. Ces premiers résultats confirment les résultats numériques obtenus par Gilliéron (2003).

6 Conclusion et perspectives

Un banc d'essais permettant de simuler et d'analyser les phénomènes transitoires associés au processus de dépassement de deux véhicules a été réalisé et est présenté. Ce banc d'essais, conçu et réalisé par l'Institut Aérotechnique de Saint Cyr l'École avec le soutien de la Direction de la Recherche de RENAULT, permet de simuler le processus transitoire de dépassement à partir de deux maquettes de véhicule à échelle 1/5 pour des vitesses relatives entre les deux maquettes qui varient entre 0 et $10 m.s^{-1}$. Sa conception permet d'étudier l'influence de l'espacement transversal et du vent latéral sur le torseur aérodynamique instationnaire qui s'exerce sur chacune des deux maquettes. Les différents systèmes de mesure et d'acquisition développés pour ce banc ainsi que les premiers résultats obtenus sont successivement présentés. Ces résultats confirment le caractère pseudo harmonique des évolutions des coefficients aérodynamiques relevés pour les véhicules dépassé et dépassant et permettent de déterminer des temps caractéristiques pour les évolutions des efforts et des moments autour des axes de roulis, de tangage et de lacet.

Ce banc d'essais fournit dès à présent aux ingénieurs et aux chercheurs un nouveau moyen d'investigation qui permet de mieux comprendre les phénomènes physiques associés aux processus transitoires. Ce moyen d'essais permettra de développer de nouvelles stratégies et de nouvelles techniques pour améliorer le confort et la sécurité des véhicules automobiles. Des recherches sont en cours pour prendre en compte et simuler les réponses mécaniques de la caisse et des trains des véhicules lors du processus de dépassement.

Références

- Gilliéron P., 2003, Detailed Analysis of the Overtaking Process, PREDIT2 Project, "Unsteady Aerodynamics of Ground Vehicles and their Environment", Journal Mechanical Engineering, JME 1-2003, ISSN 0039-2472.
- Noger C., 2002, "Étude expérimentale du processus instationnaire de dépassement de deux véhicules", Contrat IAT-CNAM/ RENAULT, Rapport d'essais n°2446/A.
- Gilliéron P. et Chometon F., 2000, "Simulation du coup de vent latéral, Attentes du secteur automobile et État de l'art", Société des Hydrauliciens de France, Interactions Mécaniques entre Fluides et Structures, Chatou, France, 23 et 24 novembre, La Houille Banche, Revue Internationale de l'Eau, n°3/4.
- Ahmed S.R., Ramm R. and Faltin G., 1984, Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake SAE Technical Paper Series 840300.