



**HAL**  
open science

## L'Aérodynamique Automobile en 2015

Patrick Gilliéron

► **To cite this version:**

| Patrick Gilliéron. L'Aérodynamique Automobile en 2015. 2015. hal-04021839

**HAL Id: hal-04021839**

**<https://hal.science/hal-04021839>**

Submitted on 9 Mar 2023

**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.

Copyright

---

# L'Aérodynamique Automobile en 2015

Patrick Gilliéron, chercheur indépendant  
rdmfa.pgillieron@orange.fr

**Résumé :** *la nécessité de s'intéresser à l'aérodynamique des automobiles est abordée à partir d'un rappel de ses effets sur l'énergie dissipée et les émissions de gaz à effet de serre. Des solutions nouvelles destinées à réduire ces émissions et par suite à augmenter l'autonomie des véhicules sont recherchées et obtenues. Ces solutions s'appuient sur une meilleure compréhension des processus d'apparition et d'entretien des structures décollées qui constituent le sillage. Il reste cependant à traiter les effets d'échelles, réduire les phénomènes acoustiques et rendre efficace le contrôle au sens énergétique.*

## INTRODUCTION

Un véhicule automobile est un corps de faible allongement qui se déplace à proximité du sol dans un écoulement qui devient très rapidement turbulent. En régime de croisière, la couche limite décolle localement et les décollements influencent l'ensemble du véhicule. Ces décollements apparaissent dès l'avant du véhicule et sont principalement localisés au niveau des entrées d'air, du soubassement, des passages de roues, du pied de pare-brise, des montants latéraux de pare-brise, de la lunette arrière et du culot. L'apparition, le développement, le transport et l'entretien de ces structures décollées contribuent à accroître la traînée aérodynamique et nécessitent une augmentation de l'énergie à fournir par le moteur pour maintenir une vitesse constante. L'objectif consiste alors à réduire le nombre des décollements, l'amplitude et la fréquence des battements, à diminuer le développement transversal des structures décollées, des structures tourbillonnaires longitudinales et enfin à reporter les décollements le plus en aval possible vers le culot. Concernant le partage des efforts de pression et de frottement, la traînée aérodynamique d'une automobile est principalement générée par les efforts de pression ; les efforts de pression et de frottement représentent ainsi respectivement 85 et 15% de l'effort global.

## LES ESSAIS AÉRODYNAMIQUES

Les essais aérodynamiques pour l'automobile se sont très longtemps réduits aux seules estimations de la traînée aérodynamique obtenues à partir de la méthode dite de décélération. À partir de 1973, date de la première crise pétrolière, le secteur automobile prend véritablement conscience de la nécessité de travailler l'aérodynamique pour réduire les consommations. L'aérodynamique pour l'automobile n'est cependant véritablement prise en compte qu'à partir de 1976, date à laquelle est mise à disposition la première soufflerie aérodynamique pour automobiles à échelle 1. Sa construction s'effectue sous l'impulsion de Maurice Ménard, directeur de l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr-l'École (IAT) et professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Cette soufflerie, désignée S<sub>4</sub>, dispose d'une veine d'essais de 10 m de longueur dont la largeur et la hauteur sont respectivement égales à 5 et 3 m (voir figure 1). Elle permet d'effectuer des essais et des mesures du torseur aérodynamique pour des vitesses de vent qui varient de 0 à 140 km/h. Dès 1976, les constructeurs automobiles français, Citroën, Peugeot, Renault et Talbot utilisent cette soufflerie pour effectuer de premiers constats, développer leur expertise et, entre 1976 et 1985, la valeur moyenne du coefficient de traînée aérodynamique ( $C_x$ ) des véhicules diminue de 0.45 à 0.30. Durant cette période et avec l'aide financière de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME aujourd'hui devenue ADEME<sup>1</sup>), des démonstrateurs aérodynamiques sont développés pour, d'une part, soutenir l'activité de recherche et, d'autre part, proposer des véhicules à faible consommation. Au sein de Renault, ces travaux permettent de proposer dès 1980 le démonstrateur EVE (Éléments pour Voiture Économe<sup>2</sup>) élaboré sur la base du véhicule R18 et dont le coefficient de traînée est égal à 0.239. Plus tard en 1987, est proposé le prototype VESTA II (Véhicule Économe de Systèmes & Technologies Avancés) qui

---

<sup>1</sup> ADEME pour Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

<sup>2</sup> Voir le site <http://www.planeterenault.com>

représente l'aboutissement des recherches effectuées par Renault durant cette période pour développer la connaissance et mettre au point un démonstrateur à très faible coefficient de traînée aérodynamique ( $C_x=0.186$ , voir figure 2). Le record mondial de réduction de traînée est obtenu par Ford avec la Ford PROBE V ( $C_x=0.140$  en 1985).



Figure 1 - Soufflerie S<sub>4</sub>, mise à disposition en 1976, Crédit Institut Aérotechnique de Saint-Cyr-l'École (IAT), Conservatoire National des Arts et Métiers.



Figure 2 - Prototype VESTA II (Véhicule Économe de Systèmes & Technologies Avancées), 1987.  $C_x=0.186$ . Crédit Renault.

À partir de 1985, les coefficients de traînée aérodynamique des véhicules automobiles proposés à la vente n'évoluent plus et restent voisins de 0.30 avec des valeurs moyennes légèrement supérieures pour certains constructeurs. Cette tendance résulte de la volonté d'affirmer un Design fort et/ou une identité de marque souvent incompatibles avec le respect des préconisations aérodynamiques. Cela peut également résulter de la volonté de réduire les prix de revient des véhicules, ce qui peut induire la suppression ou la non-utilisation volontaire de carénages ou d'éléments d'étanchéité de face avant et/ou de soubassement. Compte tenu de la réduction des réserves énergétiques et de l'impact climatique des émissions de gaz à effet de serre issues de la combustion des énergies fossiles, les aérodynamiciens recherchent alors des solutions innovantes pour réduire la traînée à partir de solutions passive(s) et/ou active(s) de contrôle des décollements.

Les enjeux sont importants. Pour la France et en supposant le parc automobile constitué de 30 millions de véhicules, 15 millions de véhicules essence et 15 millions de véhicules Diesel consommant respectivement 5,6 et 4,8 l de carburant sur 100 kilomètres à la vitesse stabilisée de 130 km/h et parcourant respectivement 5000 et 7500 kilomètres sur autoroute, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> (gaz à effet de serre) dépassent les 24500 kilotonnes [1]. Réduire de 20% la traînée aérodynamique permettrait alors de diminuer de près de 4800 kilotonnes ces émissions pour le seul parc automobile français. En Chine et en 2030, le parc automobile pourrait compter près de 270 millions de véhicules, soit trente fois plus qu'en 2002. L'Europe de l'Est et l'Afrique suivent le même processus dans des proportions plus ou moins équivalentes et à plus ou moins long terme. Dans ce contexte, les émissions de gaz à effet de serre auront augmenté de près de 57% en 2030 avec des répercussions fortes sur l'environnement et le climat, [2]. Ces valeurs confirment l'importance d'une meilleure maîtrise du contrôle des écoulements aérodynamiques pour les déplacements automobiles interurbains<sup>3</sup>.

## RECHERCHE DE SOLUTIONS INNOVANTES

Des travaux sont alors engagés pour améliorer la compréhension des phénomènes physiques qui apparaissent autour des corps de faible allongement et identifier des solutions de contrôle en rupture qui permettent de conserver les niveaux actuels de confort, d'habitabilité et de sécurité.

L'amélioration de la compréhension des phénomènes physiques nécessite de travailler sur des

<sup>3</sup> Déplacements effectués pour des vitesses stabilisées supérieures à 60 km/h (au-delà de 60 km/h, les efforts aérodynamiques deviennent supérieurs aux efforts de frottement).

géométries simplifiées capables de reproduire la complexité des écoulements et des décollements rencontrés en aérodynamique automobile. Il apparaît ainsi particulièrement important de mieux comprendre les mécanismes physiques instationnaires à l'origine des décollements, les mécanismes liés aux processus de battement, à la dynamique tourbillonnaire de sillage et aux interactions entre structures tourbillonnaires. Les premiers travaux d'analyse et de compréhension des phénomènes physiques pour l'aérodynamique automobile s'effectuent en soufflerie dès le début des années 80. À partir de 1995, la capacité des codes de calculs à reproduire les phénomènes physiques est analysée à partir de géométries simplifiées à complexité croissante. Les résultats révèlent l'intérêt de la simulation numérique. Le calcul ne permet cependant pas à lui seul d'expliquer la complexité des processus de formation des décollements, de transport des structures décollées et de génération de la traînée aérodynamique. Ce travail s'effectue en couplant les travaux analytiques aux résultats issus du calcul et des expérimentations effectuées en soufflerie ou en canal hydraulique [1].

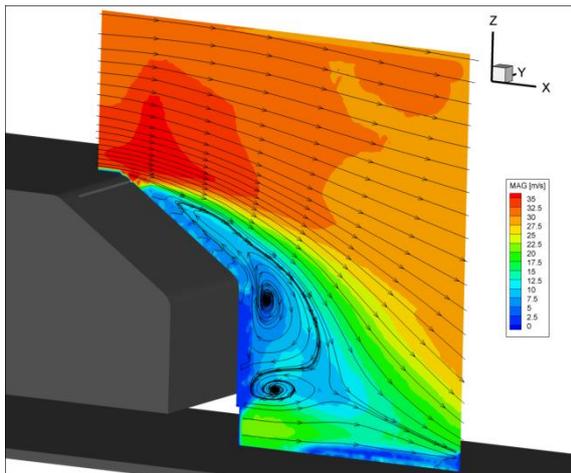


Figure 3 – Champ des vitesses moyennées relevées par PIV<sup>4</sup> dans le plan de symétrie longitudinal de la maquette. Lunette arrière inclinée à 35°, sans contrôle, [4].

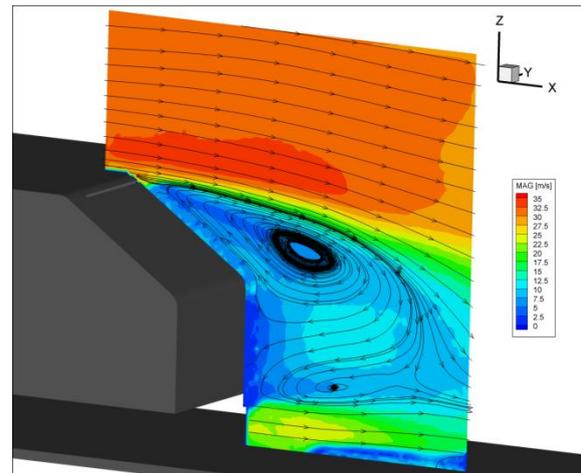


Figure 4 – Champ des vitesses moyennées relevées par PIV dans le plan de symétrie longitudinal. Lunette arrière inclinée à 35° avec contrôle, réduction de 20% du coefficient de traînée aérodynamique  $C_x$  [4].

Les résultats sont utilisés pour imaginer **des solutions en rupture** destinées à rendre aérodynamiques des géométries à coefficient de traînée aérodynamique médiocre (supérieur à 0.32), offrir plus de créativité au Design (recherche de nouveaux clients par le Design), à réduire les contraintes de conception (aérodynamique & architecture) et/ou à augmenter l'autonomie des véhicules à moteurs thermique, hybride ou électrique. **L'objectif n'est ainsi pas de faire un véhicule aérodynamique** (objectif déjà atteint en 1987 avec VESTA II,  $C_x=0.186$ ,  $SC_x=0.304 \text{ m}^2$ ) à partir de règles métiers **mais de rendre aérodynamiques les véhicules actuels** en respectant le Design et en conservant les critères existants d'habitabilité, de confort et de sécurité. Des solutions peuvent s'obtenir à partir d'orifices de soufflage et/ou d'aspiration continus et/ou alternés (jets pulsés ou synthétiques) distribués sur la surface du véhicule en des endroits appropriés [3-4]. À ce niveau, l'objectif consiste à modifier la structure globale de l'écoulement, et en particulier la distribution de pression, à partir d'un minimum d'énergie introduite dans ce même écoulement. Concernant le contrôle par jets alternés, des réductions de traînée proches de 8 [3] et 20% [4] sont respectivement relevées à partir de jets synthétiques et de jets pulsés distribués sur des géométries simplifiées à lunette arrière inclinées à 25 et 35 degrés (voir figures 3 et 4). Aucun de ces systèmes n'est cependant aujourd'hui implanté sur véhicule compte tenu des puissances, des volumes et des masses encore nécessaires à leur fonctionnement. Pour toutes les solutions de contrôle actif, l'efficacité énergétique définie à partir du rapport entre le gain de puissance

<sup>4</sup> PIV, Particle Image Velocimetry pour Vélocimétrie par Images de Particules, technique de mesure d'un champ de vitesses basée sur la génération d'un plan laser et l'utilisation d'une ou deux caméra(s) vidéo.

aérodynamique et la puissance à mettre en œuvre reste très inférieure à l'unité mais progresse avec le développement de la recherche et la mise au point d'actionneurs de plus en plus adaptés et efficaces.



Figure 5 – Soufflerie du GIE S2A. Véhicule positionné sur le plateau d'expérimentation. Le véhicule peut tourner autour de la verticale.



Figure 6 – Soufflerie du GIE S2A. Essais par canne à fumée, le bras qui apparaît en jaune derrière le véhicule sert d'explorateur pour les mesures.

Crédit Souffleries S2A.

L'industrie des transports et en particulier automobile s'est ainsi fortement impliquée depuis plus de 15 ans au sein des différentes instances de recherche traitant d'aérodynamique. Une nouvelle soufflerie désignée S2A pour Soufflerie Aérodynamique et Aéroacoustique et un Centre National de Recherche Technologique (CNRT) ont été créés en 2002 à l'initiative des constructeurs automobiles (PSA, Renault) et du CNAM, voir figures 5 et 6. Le secteur automobile est de plus fortement impliqué dans le Groupement de Recherche (GdR) sur le Contrôle des Décollements<sup>5</sup> auquel participent les acteurs industriels (Airbus, Dassault, ONERA...) et universitaires de la communauté scientifique.

## CONCLUSION

Des progrès considérables ont été obtenus sur l'aérodynamique des automobiles depuis la première crise pétrolière de 1973. Les coefficients aérodynamiques ont été réduits d'un tiers entre 1976 et 1985 grâce à la mise à disposition de la première soufflerie automobile de l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr-L'École. Les démarches analytiques, la modélisation et l'utilisation de codes de calculs de plus en plus performants ont ensuite permis d'optimiser et de mieux comprendre les résultats obtenus en soufflerie lorsqu'étaient successivement identifiées des solutions innovantes de contrôle passif et actif. Des progrès restent à faire quant à la compréhension des phénomènes physiques pour trouver des solutions capables de prendre en compte les effets d'échelles, réduire le bruit des actionneurs et améliorer l'efficacité énergétique du contrôle.

## RÉFÉRENCES

- [1] Gilliéron P. et Kourta A.; *Aérodynamique automobile pour l'environnement, le Design et la sécurité*, 2ème édition, Préfaces de Patrick Chassaing et Carlos Tavarès, ISBN 978.2.36493.091.9, 2013.
- [2] World Energy Outlook 2007; *Executive Summary, China and India Insights*, International Energy Agency IEA, ISBN : 978-92-64-02730-5.
- [3] Kourta A. and Leclerc C.; *Characterization of synthetic jet actuation with application to Ahmed body wake*, Sensors and Actuators A: Physical, A 192, pp 13-26, 2013.
- [4] Gilliéron P. and Kourta A.; *Aerodynamic drag control by pulsed jets on simplified car geometry*, Exp. in Fluids, volume 54, pp 14-57, January 2013.

**NOTE :** cet article a été publié dans la revue *La Lettre 3AF* n°8, pages 15 à 17, mars 2014.

<sup>5</sup> Site internet : <http://www.univ-orleans.fr/GDR2502>.