

Réduction de la traînée aérodynamique par plaques séparatrices verticales

A. Kourta

Institut PRISME Equipe projet ESA, Polytech'Orléans, 8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans cedex 2, France

P. Gillieron

Renault, Groupe Mécanique des fluides et Aérodynamique, Direction de la Recherche, 1 avenue du Golf 78288 Guyancourt, France

Résumé

Les influences des éléments séparateurs positionnés à l'avant ou à l'arrière de géométries simplifiées de véhicules automobiles de type berline pour l'arrière corps et de type monospace sont étudiées à partir de mesures de traînée aérodynamique pour des nombres de Reynolds compris entre $1.0 \cdot 10^6$ et $1.6 \cdot 10^6$. Les résultats présentés sont obtenus en faisant varier l'angle de dérapage de la maquette et l'orientation des éléments séparateurs par rapport à la verticale. Des réductions de traînée proches de 28% sont relevées à dérapage nul pour des éléments séparateurs positionnées en face avant de maquettes de type monospace ou utilitaire. Les résultats montrent l'intérêt d'adapter la position et l'orientation des éléments séparateurs en présence de vent latéral. Tous ces résultats confirment l'intérêt de ce type de solution et suggèrent d'utiliser le savoir faire dans le domaine automobile pour réduire la consommation et améliorer la stabilité dynamique des véhicules automobiles.

Abstract

The effects of splitter plates placed at the front or the rear of a simplified car geometry to reduce drag, with and without skew angle, is investigated for Reynolds numbers between $1.0 \cdot 10^6$ and $1.6 \cdot 10^6$. The geometry used is a simplified geometry to represent estate type vehicles, for the rear section, and MPV type vehicle. Drag reductions of nearly 28% were obtained for a zero skew angle with splitter plates placed at the front of models of MPV or utility vehicles. The results demonstrate the advantage of adapting the position and orientation of the splitter plates in the presence of a lateral wind. All these results confirm the advantage of this type of solution, and suggest that this expertise should be used in the automotive field to reduce consumption and improve dynamic stability of road vehicles.

1 INTRODUCTION

Les réductions de la consommation des véhicules automobiles nécessitent de réduire la traînée aérodynamique et de mieux contrôler l'écoulement en proche paroi ainsi que le développement des structures tourbillonnaires. Le contrôle doit ainsi permettre de supprimer ou de retarder la position des décollements ou encore de réduire le développement des structures tourbillonnaires de sillage. Des résultats significatifs peuvent être obtenus à partir de techniques simples avec ou sans apport supplémentaire d'énergie. Lorsque le contrôle s'effectue sans apport d'énergie, le contrôle est passif, avec apport d'énergie, il est actif. Des techniques de contrôle passif basées sur l'utilisation de plaques séparatrices ont été utilisées dans le passé. Roshko *et al* [1] montrent qu'il est possible de réduire de 97% la traînée d'un cylindre d'axe parallèle à la direction de l'écoulement incident V_0 à partir de disques circulaires placés en amont perpendiculairement à la direction de V_0 , pour un nombre de Reynolds rapporté au diamètre du cylindre égal à $5 \cdot 10^5$. Mair [2] analyse l'effet de disques disposés en aval des culots et perpendiculairement à l'écoulement incident. Les expérimentations effectuées sur un

obstacle de type torpille équipé d'un disque séparateur en aval du culot pour un nombre de Reynolds égal à $6 \cdot 10^5$ montrent que la traînée aérodynamique peut être réduite de 35%. Un second disque séparateur placé en aval du premier permet d'obtenir des gains de traînée proches de 55%. Des réductions significatives de traînée peuvent également être obtenues à partir de plaques séparatrices planes disposées longitudinalement. Les expérimentations effectuées par Lanser *et al* [3] sur un semi-remorque à échelle grandeur pour des vitesses proches de 30 m.s^{-1} montrent que la traînée peut être réduite de près de 8% grâce à deux paires de plaques séparatrices horizontales et transversales disposées perpendiculairement au niveau du culot. Cooper [4] analyse l'influence du rayon de courbure de plaques séparatrices longitudinales positionnées à la périphérie du culot de maquettes de convois routiers pour des angles de dérapage variant de 0 à 15° et des nombres de Reynolds basés sur la hauteur H des maquettes compris entre 0.3 et $2.3 \cdot 10^6$. Les résultats montrent que la réduction de la traînée aérodynamique augmente avec le rayon de courbure et le nombre de Reynolds. Les gains de traînée peuvent être supérieurs à 50% mais certaines configurations génèrent des instabilités de sillage. Des plaques séparatrices longitudinales orientables positionnées à la périphérie de la lunette arrière et du culot permettent de réduire la traînée d'une géométrie simplifiée de type corps de Ahmed, [5]. Des réductions de traînée proches de 11 et 16% sont obtenues avec une plaque séparatrice transversale en aval du culot pour les angles de dérapage 0 et 15° , [6]. Ces techniques peuvent être adaptées sans difficulté aux véhicules industriels et utilitaires. Le travail vise de caractériser l'influence des plaques séparatrices sur la traînée aérodynamique de géométries simplifiées de véhicule automobile. Les expérimentations s'effectuent en soufflerie en faisant varier la position et la dimension des plaques séparatrices.

2 BASE THEORIQUE

Un bilan de quantité de mouvement sur un tube de courant entourant complètement le véhicule permet d'exprimer la traînée aérodynamique à partir de la vitesse et de la pression dans le sillage. En intégrant sur la surface frontière S_c du véhicule (fig. 1), la traînée aérodynamique est donnée par :

$$\vec{F}_x = \left[\int_{S_c} P \vec{I} \vec{n} d\sigma - \int_{S_c} (\overline{\tau}_\mu + \overline{\tau}_t) \vec{n} d\sigma \right] \vec{x} \quad (1)$$

où $\overline{\tau}_\mu$, $\overline{\tau}_t$ et \overline{P} représentent les tenseurs des contraintes visqueuses, turbulentes et de pression.

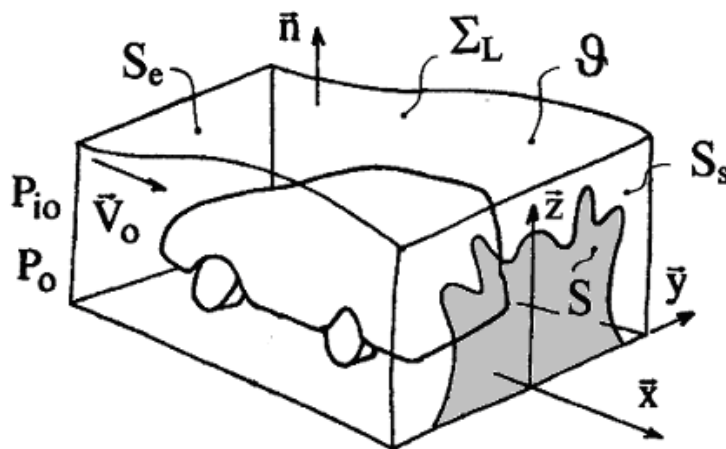


Figure 1 : Bilan de quantité de mouvement

Les actions visqueuse et turbulente sont liées aux couches limites sur le véhicule. Les actions aérodynamiques de pression sont liées à la géométrie et au sillage. La traînée aérodynamique donnée par (1) et moyennée sur une durée Δt est mesurée en soufflerie à l'aide d'une balance aérodynamique. Pour un véhicule de type berline, les actions de pression et de frottement représentent respectivement 90 et 10% de la traînée totale.

La traînée aérodynamique peut également s'analyser à partir des informations réparties sur la surface frontière Σ_e (fig. 1) et contenues principalement dans le sillage:

$$F_x = \left[\int_{\Sigma_L} -P \vec{n} d\sigma + \int_{\Sigma_L} (\overline{\tau_\mu} + \overline{\tau_t}) \vec{n} d\sigma \right] \vec{x} - \int_{\Sigma_L} \rho (\vec{V} \cdot \vec{x}) (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma \quad (2)$$

où \vec{V} (V_x , V_y , V_z) désigne le vecteur vitesse local. (2) peut également s'exprimer par , (Onorato *et al* [7]):

$$F_x = -\frac{\rho V_0^2}{2} \int_S \left(1 - \frac{V_x}{V_0} \right)^2 d\sigma + \frac{\rho V_0^2}{2} \int_S \left(\frac{V_y^2}{V_0^2} + \frac{V_z^2}{V_0^2} \right) d\sigma + \int_S (P_{i0} - P_i) d\sigma \quad (3)$$

où P_{i0} représente la pression d'arrêt de l'écoulement infini amont et P_i la pression d'arrêt locale. La surface S correspond à une section de mesure située en aval du culot (fig. 1). La traînée aérodynamique apparaît ainsi directement pilotée par l'aire S du domaine fluide délimité par le contour extérieur du sillage relevé dans un plan transversal à la direction de l'écoulement incident. La première intégrale de l'équation (3) tend rapidement vers zéro, [7]. La seconde intégrale, fonction de l'énergie cinétique de rotation, traduit la traînée tourbillonnaire de sillage. La dernière intégrale, repérée et calculée à partir des pertes de pression d'arrêt entre l'amont et l'aval du véhicule, traduit la traînée associée aux structures tourbillonnaires de sillage. Les intégrales) sont liées entre elles. Les contributions des deux dernières sont respectivement proches de 20 et 80%. Cette formulation montre que la réduction de la traînée aérodynamique nécessite de contrôler les structures tourbillonnaires à proximité des véhicules. Ces structures sont issues des décollements dont les localisations et les positions sont fonctions de la courbure locale de paroi, du gradient de pression statique dans la direction locale de l'écoulement, Cousteix [8], du taux de turbulence de l'écoulement incident, Arnal *et al* [9] ou de la rugosité, Granville[10].

3 CONDITIONS EXPERIMENTALES

Les expérimentations sont effectuées dans la soufflerie du laboratoire d'aérodynamique de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris. Cette soufflerie de type Prandtl à retour possède une veine semi-guidée de 2.00 m de longueur, de 1.65 m de large et de 1.35 m de hauteur. Le niveau de turbulence de cette soufflerie est inférieur à 1% et la vitesse maximale V_0 de 40 m.s⁻¹. La veine d'essais est équipée d'une balance aérodynamique à 3 composantes et d'un plateau tournant qui permet de réduire la hauteur de couche limite et de simuler un écoulement avec dérapage.

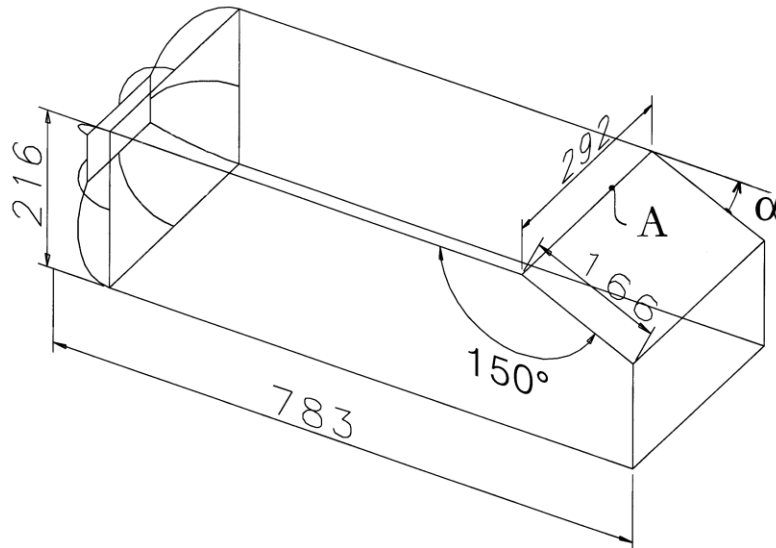


Figure 2 : Corps de Ahmed, échelle 0.75

Les essais sont réalisées sur des géométries simplifiées de véhicules automobiles de type corps de Ahmed à échelle 0.75, [11,12] fig. 2. L'angle de lunette arrière α est défini par rapport à l'horizontale et la ligne repérée A matérialise la fin du pavillon et le début de la lunette arrière. Les essais s'effectuent pour les angles de lunette arrière $\alpha=0$ et 25° , fig. 2. Lorsque l'angle α est égal à 0° , la géométrie est représentative d'un véhicule de type culot droit. Lorsque l'angle $\alpha = 25^\circ$, le corps de Ahmed s'identifie à un véhicule simplifié avec arrière corps de type hayon.

4 RESULTATS

Les résultats s'obtiennent à partir de plaques séparatrices rectangulaires de hauteur et largeur comprises entre 0.9 et 0.6 fois celles de la maquette. L'analyse s'effectue en comparant les valeurs des coefficients de traînée aérodynamique mesurés avec et sans plaque séparatrice. Si C_x et $C_{x_{\text{réf}}}$ désignent respectivement les coefficients de traînée avec et sans plaque séparatrice, est exprimée en pourcentage par la relation $\Delta C_x = 100(C_{x_{\text{réf}}} - C_x)/C_{x_{\text{réf}}}$.

Les expérimentations s'effectuent sans dérapage $\beta=0^\circ$ et des plaques séparatrices verticales positionnées en aval ou en amont du corps de Ahmed. L'analyse s'effectue en faisant varier la distance entre le culot et la plaque séparatrice dans la direction de l'écoulement incident, Mair [2]. Pour ces expérimentations, le nombre de Reynolds est calculé à partir de la longueur L de la maquette.

(i) Eléments séparateurs transversaux aval

Les plaques séparatrices transversales sont positionnées sur une maquette de type culot droit ($\alpha=0^\circ$) (figure 3). L'origine des abscisses appartient ici au plan du culot et l'abscisse x de la plaque, relevée dans la direction de l'écoulement incident ($\vec{V} = V_0 \vec{x}$), est rapportée à la hauteur H du culot. Les résultats, reportés figure 4 et obtenue pour la vitesse $V_0 = 30 \text{ m.s}^{-1}$, montrent que la réduction maximale de traînée aérodynamique s'obtient pour une plaque séparatrice de dimensions $0.9H \times 0.9l$ positionné à l'abscisse réduite $x/H=0.5$. Pour chaque dimension de plaque séparatrice, les résultats montrent qu'il existe des extrema et que la meilleure efficacité s'obtient pour des valeurs x/H particulières et distinctes.

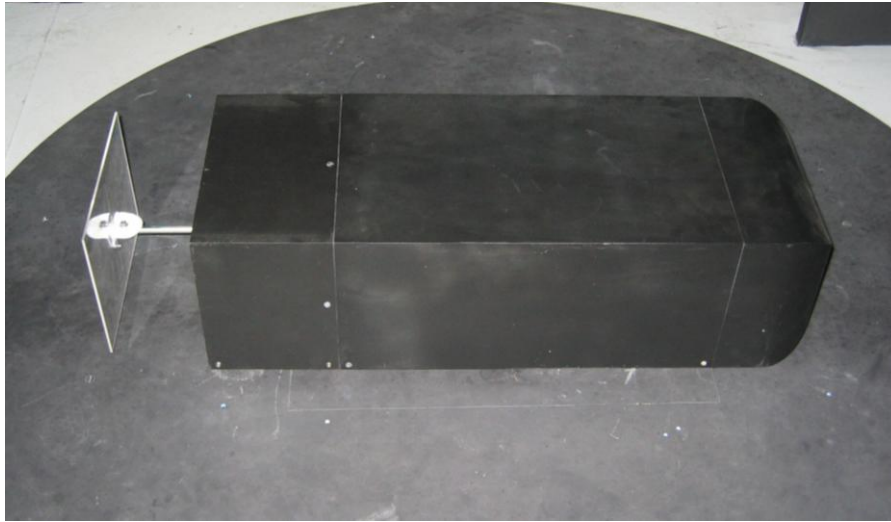


Figure 3 : plaque séparatrice verticale

L'influence du nombre de Reynolds est également analysée et les résultats, obtenus pour des vitesses V_0 égales à 20 et 30 m.s⁻¹ respectivement associées aux nombres de Reynolds $1.0 \cdot 10^6$ et $1.6 \cdot 10^6$, sont reportés figure 5. L'analyse montre que les positions relatives x/H des plaques séparatrices permettant d'obtenir des réductions maximums de traînée aérodynamique ne sont pas influencées par le nombre de Reynolds et la traînée diminue lorsque la vitesse de l'écoulement incident augmente. Ce dernier résultat est classique.

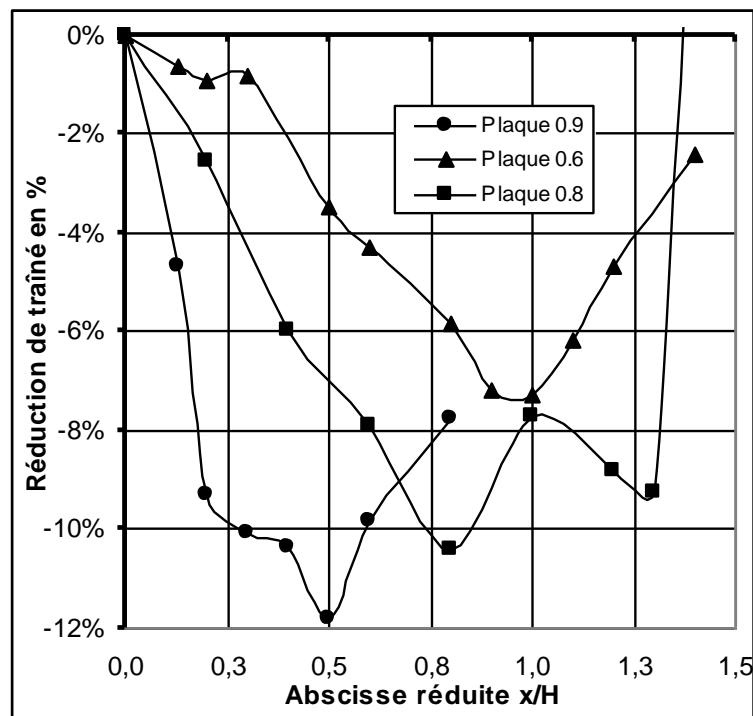


Figure. 4 : Réduction du coefficient de traînée ΔC_x en fonction de x/H (0.9Hx0.9l, 0.8Hx0.8l, 0.6Hx0.6l)

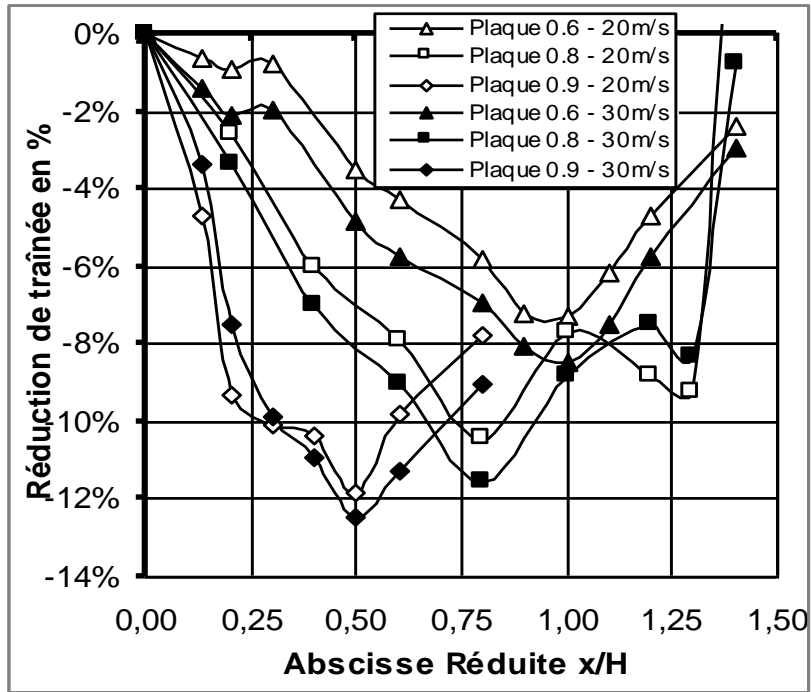


Figure 5 : Influence du nombre de Reynolds sur la réduction du coefficient de traînée ΔC_x

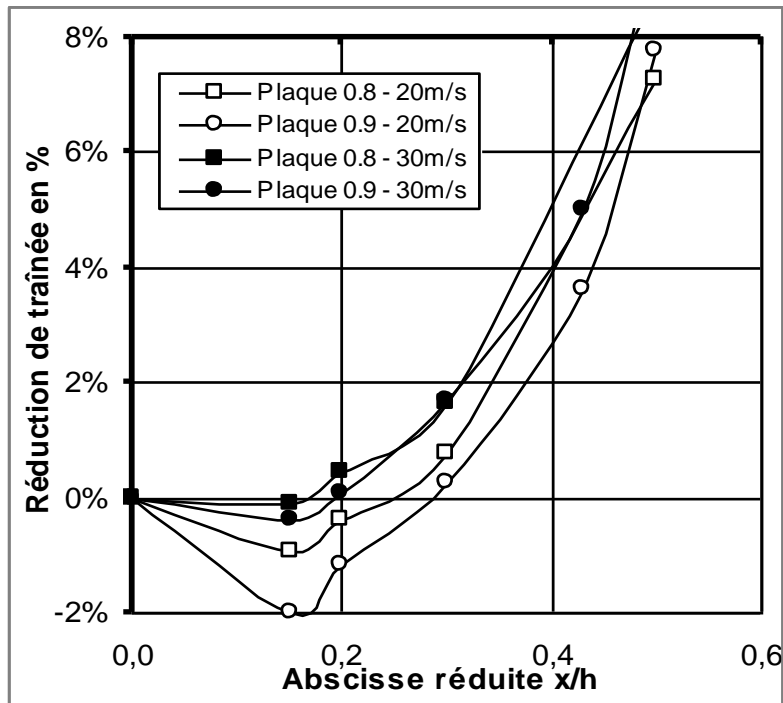


Figure 6 : Influence de la taille de la plaque amont et du nombre de Reynolds sur ΔC_x

L'influence d'une seconde plaque séparatrice positionnée en aval d'une première plaque de dimensions $0.9H \times 0.9l$ à l'abscisse relative $x/H=0.5$ a également été analysée. Cette configuration n'a pas permis d'obtenir de résultat significatif sur la réduction de la traînée aérodynamique. Ce résultat souligne le caractère fortement tridimensionnel et instationnaire de l'écoulement décollé en aval du culot.

D'autres configurations de plaques avec et sans dérapage ont été étudiées qui ne seront pas présentées ici.

(ii) Eléments séparateurs transversaux amont

Des réductions significatives de traînée peuvent également être obtenues en positionnant des plaques séparatrices transversales en amont de la maquette, Roshko *et al* [1]. Les expérimentations s'effectuent pour différentes dimensions et positions de plaques séparatrices, à l'avant. Pour des plaques séparatrices transversales de dimensions $0.9h \times 0.9l$ et $0.8h \times 0.8l$ positionnés à l'amont de la partie arrondie du corps de Ahmed, les relevés expérimentaux montrent que la traînée aérodynamique diminue puis augmente rapidement lorsque x/h croît, fig. 6. Les résultats obtenus pour les vitesses d'écoulement de 20 et 30 m.s^{-1} montrent que la réduction de traînée diminue lorsque le nombre de Reynolds augmente. Pour ces deux vitesses, les valeurs maximales des réductions de traînée relevées à $x/h=0.15$ valent respectivement 2.00% et 0.15%. Ces réductions ne sont pas significatives mais l'influence de la position relative des plaques apparaît prédominante.

5 CONCLUSION

Une analyse quantitative de la contribution des plaques séparatrices transversales à la réduction de la traînée aérodynamique est présentée. Des réductions significatives de traînée sont enregistrées pour des plaques séparatrices positionnées en amont et en aval.

Pour des plaques séparatrices transversales, des réductions de traînée proches de 12% sont enregistrées. Les réductions augmentent avec l'accroissement des dimensions transversales des plaques séparatrices et la réduction de la distance qui sépare la plaque du culot. L'influence du nombre de Reynolds reste faible, sans influence sur les phénomènes physiques et la réduction de traînée augmente avec le nombre de Reynolds.

REFERENCES

1. Passenger Cars, University of Sheffield and University of Michigan, Produced by SASI Group (Sheffield) and Mark Newmann (Michigan), Map031, 2006.
2. World Energy Outlook Executive Summary, China and India Insights, International Energy Agency IEA, ISBN: 978-92-64-02730-5, 2007.
3. Roshko A., Koenig K.; Interaction effects on the drag of bluff bodies in tandem.
4. Mair W.A.; The effect of a rear mounted disc on the drag of a blunt based body of revolution, The Aeronautical Quarterly, 16, pp 350- 360, 1965.
5. Baudoin J.F. and Aider J.L.; Drag and lift reduction of a 3D bluff body using flaps, Experiments in Fluids (2008), 44:491-501, DOI 10.1007/s00348-007-0392-1.
6. Levallois E., Gilliéron P.; Contrôle des écoulements en aérodynamique automobile & réduction de traînée par éléments séparateurs - Analyse par PIV, Colloque National de Visualisation et de Traitement d'Images en Mécanique des Fluides, Fluvisu11, Lyon, 2005.
7. Onorato M., Costelli A., Garonne A.; Drag measurement through wake analysis, SAE, SP-569, International Congress & Exposition, Detroit, Michigan, February 27 , pp 85-93, 1984.
8. Cousteix J.; Aérodynamique, Turbulence et Couche Limite, CepadueS-Editions, 1989.

9. Arnald D., Cousteix J., Michel R.; Couche limite se développant avec gradient de pression positif dans un écoulement extérieur turbulent, *La Recherche Aérospatiale*, n°1976-1, 1976.
10. Granville P.S.; Mixing length formulation for turbulent boundary layers over arbitrarily rough surfaces, *Journal of Ship Research*, 29, n°4, 1985
11. Ahmed S.R., Ramm R. and Faltin G.; Some salient features of the time averaged ground vehicle wake, *SAE technical Paper Series 840300*, 1984
12. Gilliéron P. and Chometon F.; Modelling of stationary three dimensional detached airflows around an Ahmed Reference Body, *Third International Workshop on Vortex, ESAIM, Proceedings*, 7, pp 173-182, 1999.