

---

# Contrôle de l'écoulement autour d'une géométrie simplifiée de véhicule par déflecteur

**Grégoire Fourrié, Laurent Keirsbulck, Larbi Labraga**

*IUT GMP – Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis  
Laboratoire de Mécanique et Énergétique  
Le Mont Houy  
59313 Valenciennes Cedex 9*

*gregoire.fourrie@univ-valenciennes.fr*

**Section de rattachement : 60  
Secteur : Secondaire**

*RÉSUMÉ. Cette étude expérimentale s'intéresse à la réalisation d'un contrôle passif simple sur un corps épais, le corps de Ahmed, et à son influence sur les efforts aérodynamiques. Ce contrôle consiste en un déflecteur placé sur l'arête haute du hayon arrière du corps. Il s'agit ici de mettre en évidence les mécanismes physiques pouvant conduire à une réduction de la traînée globale du corps, notamment en ce qui concerne les interactions entre les différentes structures de l'écoulement. Cette étude montre qu'il est nécessaire de prendre en compte toutes les structures tourbillonnaires autour de ce type de configuration tridimensionnelle afin de mettre en œuvre des stratégies de contrôle plus efficaces.*

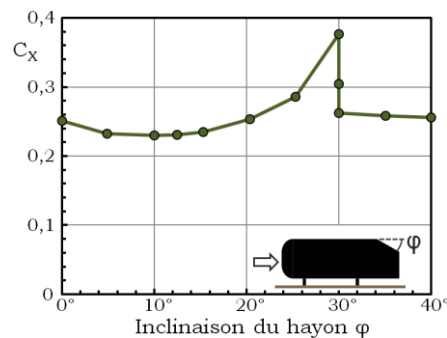
*MOTS-CLÉS : Aérodynamique expérimentale, Géométrie simplifiée de véhicule, Contrôle d'écoulement, Décollement, Structures tourbillonnaires longitudinales.*

## **1. Introduction**

L'industrie automobile est aujourd'hui confrontée au besoin de réduire les consommations et émissions des véhicules, qu'il s'agisse de respecter les normes d'émission de gaz à effet de serre – 140 g/km de CO<sub>2</sub> en 2008 et 120 g/km en 2012 – et de particules ou de réduire la consommation énergétique. L'aérodynamique constitue un véritable levier d'action dans cette voie. Il s'agit en effet de minimiser autant que possible la résistance à l'avancement du véhicule, sa force de traînée, en compromission avec les différentes contraintes de l'automobile, qu'elles soient techniques ou esthétiques.

Le principal axe de recherche actuel en matière d'aérodynamique externe automobile est le contrôle d'écoulement. Il va s'agir de maîtriser le comportement de l'écoulement autour du véhicule. Diverses études se sont intéressées à la réalisation de contrôles d'écoulement autour d'un modèle simplifié d'automobile, le corps de Ahmed, permettant ainsi de comparer les efficacités des différents dispositifs proposés. Cette géométrie, définie par Ahmed et al. (Ahmed et al., 1984), consiste en un corps épais, à l'avant profilé, placé à proximité du sol et dont la partie arrière présente un hayon incliné.

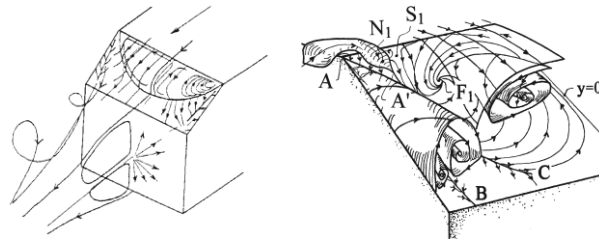
En 1984, Ahmed et al. étudient l'influence de l'angle d'inclinaison de la lunette arrière sur la traînée totale du corps (figure 1). Il apparaît que cet angle influence fortement la traînée et peut entraîner une modification de la topologie de l'écoulement induit par le corps. En effet, la topologie de l'écoulement est en premier lieu, de  $0^\circ$  à  $12.5^\circ$ , proche de celle d'un culot droit.



**Figure 1** . Coefficient de traînée en fonction de l'inclinaison du hayon (Ahmed et al., 1984)

A mesure que l'inclinaison augmente, l'écoulement devient fortement tridimensionnel, présentant un bulbe décollé sur la lunette arrière, une recirculation de culot, ainsi que des structures tourbillonnaires longitudinales se développant sur les arêtes latérales du hayon (figure 2). A partir de  $30^\circ$ , on observe une chute brutale du coefficient de traînée. Cet angle de  $30^\circ$  est identifié par Ahmed et al. comme étant la limite critique de modification de la topologie de l'écoulement autour du corps, passant d'un écoulement fortement tridimensionnel, de type bicorps, à un second proche d'un écoulement de type culot droit.

Différents auteurs ont étudié cette configuration fortement tridimensionnelle, notamment avec lunette arrière inclinée à  $25^\circ$ , que ce soit pour approfondir la compréhension de l'écoulement ou pour confronter des modèles numériques à un écoulement complexe et difficilement prédictible. L'interaction entre le bulbe décollé et les structures longitudinales participe d'ailleurs largement à la complexité de la compréhension de l'écoulement (figure 2).



**Figure 2 .** Représentations schématiques de la topologie de l'écoulement avec hayon à  $25^\circ$  : sillage (gauche) (Gilliéron et al., 1999) et interaction entre le bulbe décollé et la structure tourbillonnaire longitudinale (droite) (Spohn et al., 2002)

Notre étude s'inspire de celles de Brunn et al. (2007) et de Beaudoin et Aider (2008). Brunn et al. réalisent un contrôle actif par soufflage stationnaire localisé aux extrémités de l'arête supérieure du hayon incliné à  $25^\circ$ . Cette étude révèle une intéressante interaction entre les différentes structures de l'écoulement. Beaudoin et Aider exploitent ce phénomène qui met en compétition les structures tourbillonnaires longitudinales et le bulbe décollé présent sur la lunette arrière du corps par l'utilisation de déflecteurs disposés sur les différentes arêtes de l'arrière du corps de Ahmed avec une inclinaison du hayon de  $30^\circ$ .

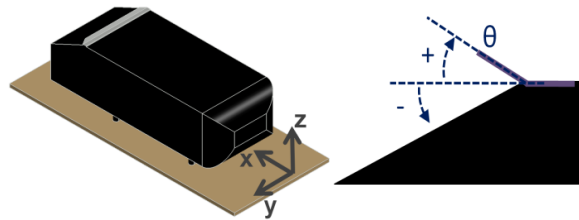
La présente étude est effectuée autour du corps de Ahmed avec angle de lunette arrière de  $25^\circ$ , le but étant de conserver pour le cas sans contrôle un écoulement tridimensionnel de type bicorps, éloigné de la limite bistable à  $30^\circ$ . Nous mettons l'accent sur l'influence d'un déflecteur positionné sur le haut de la lunette arrière, dont l'angle constituera le paramètre essentiel. Ce contrôle passif de l'écoulement vise ici en priorité à la mise en évidence et à la compréhension des phénomènes physiques qui influencent la traînée aérodynamique.

## 2. Dispositif expérimental

La totalité de l'étude a été réalisée dans la soufflerie subsonique à veine de retour du Laboratoire de Mécanique et Energétique de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. La veine d'essai est de section carrée  $2 \times 2 \text{ m}^2$  et mesure 10 m de long. Le corps de Ahmed (1.044 m de longueur, 0.389 m de largeur, 0.288 m de hauteur, 0.222 m de longueur de lunette arrière) ayant un hayon arrière incliné de  $25^\circ$  est placé à une distance de 5 cm du plancher. Le déflecteur est positionné sur l'arête supérieure du hayon arrière (figure 3). Il consiste en une tôle métallique rectangulaire, de 1.2 mm d'épaisseur, pliée en son milieu et dont les extrémités sont coupées à  $45^\circ$ . La longueur de déflexion est de 2 cm. L'angle, noté  $\theta$ , est identifié sur la figure 3. Le cas sans contrôle correspond à  $\theta = -25^\circ$ .

Les conditions expérimentales sont les suivantes :

- vitesses de l'écoulement amont : 16 m/s et 40 m/s correspondant respectivement à un nombre de Reynolds basé sur la longueur du corps de  $1.1 \times 10^6$  et  $2.8 \times 10^6$ ,
- la couche limite incidente est inférieure à 3 cm au niveau du nez du corps,
- le taux d'obstruction dû à la présence du corps est de l'ordre de 3%,
- le taux de turbulence dans la veine d'essai vide est d'environ 0.5%.



**Figure 3 .** *Présentation du contrôle par déflecteur : vue globale du corps de Ahmed (gauche) et repérage de l'angle (droite)*

Une première campagne de mesures a consisté à déterminer l'influence de l'angle  $\theta$  sur les efforts aérodynamiques subis par le corps. Les valeurs moyennes de la traînée et de la portance sont obtenues grâce à une balance aérodynamique externe.

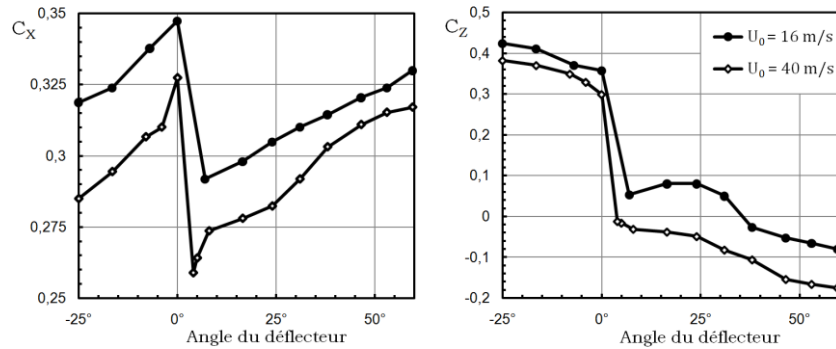
Des mesures de vitesses par Vélocimétrie par Images de Particules (PIV) dans le plan de symétrie du corps ont ensuite permis une étude plus détaillée de l'influence de l'angle de déflexion sur la topologie de l'écoulement autour de l'arrière du corps. La taille du capteur CCD est  $1192 \times 1600$  pixels<sup>2</sup>, la taille du champ mesuré est  $190 \times 255$  mm<sup>2</sup> et la zone d'interrogation utilisée est de  $24 \times 24$  pixels<sup>2</sup> avec un recouvrement de 50% ; les champs réalisés ont ainsi une résolution spatiale de 2 mm. Des champs globaux ont été obtenus sur l'arrière du corps par l'assemblage de cinq champs, permettant une vision d'ensemble des grosses structures de l'écoulement. Les champs moyens sont obtenus à partir de 1500 champs instantanés.

Des champs de vitesses par Vélocimétrie par Images de Particules Stéréoscopique, 2D - 3 composantes, ont été réalisés dans un plan parallèle au culot, à 10 cm en aval de celui-ci. Les caméras utilisées sont identiques à celles employées pour la PIV, la taille du champ mesuré est  $140 \times 190$  mm<sup>2</sup> et la zone d'interrogation utilisée est de  $16 \times 16$  pixels<sup>2</sup> avec un recouvrement de 50% ; les champs réalisés ont ainsi une résolution spatiale de 1 mm; les champs moyens sont obtenus à partir de 500 champs instantanés. Ils ont permis de mettre en évidence l'impact du contrôle sur les tourbillons longitudinaux.

Des visualisations des lignes de frottement pariétales sont effectuées par enduit visqueux (huile de paraffine, acide oléique, oxyde de titane) sur la lunette arrière.

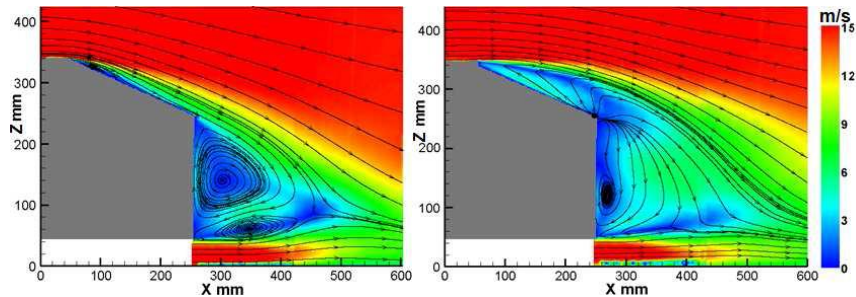
### 3. Résultats

Les coefficients de traînée et de portance (figure 4) indiquent une modification de la topologie de l'écoulement ; une réduction brusque des efforts, notamment de la traînée, est en effet observée lorsque l'angle de déflexion  $\theta$  dépasse  $0^\circ$ . Le gain en traînée qui en résulte est alors de l'ordre de 9% ; la force de portance est quant à elle annulée et devient ensuite négative.

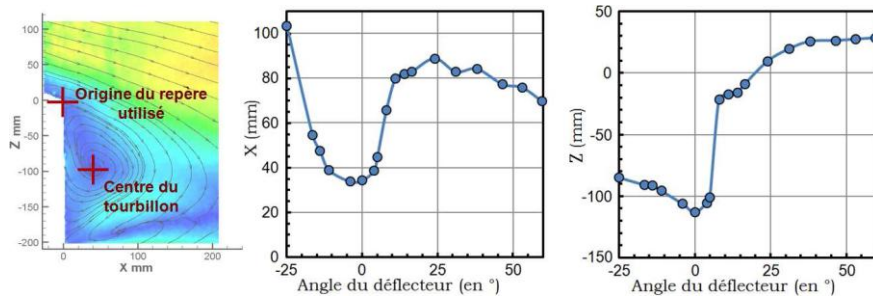


**Figure 4 . Efforts aérodynamiques en fonction de l'angle du déflecteur : coefficient de traînée (gauche) et coefficient de portance (droite)**

Les champs PIV réalisés dans le plan médian permettent d'observer l'influence de l'angle du déflecteur sur la recirculation de culot et sur le bulbe décollé. A mesure que l'angle de déflexion augmente, on observe une amplification du décollement, et également une modification de la recirculation de culot (figure 5). Lorsque l'angle évolue, cette dernière est tout d'abord plaquée contre le culot (figure 6), jusqu'à l'angle de déflexion nul ; elle s'écarte ensuite du corps et remonte à hauteur de la lunette. Bien que d'une influence certaine, ce déplacement de la recirculation de culot ne présente pas de caractère aussi brutal que ne le montre l'évolution de la courbe de traînée, et n'explique donc pas cette diminution lorsque l'angle du déflecteur dépasse  $0^\circ$ .



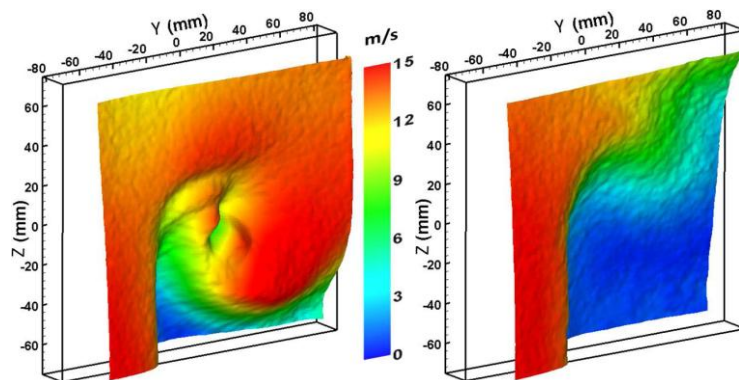
**Figure 5 . Champs de vitesses moyennes par PIV,  $U_0 = 16$  m/s : cas sans contrôle (gauche) et avec déflecteur à  $+5^\circ$  (droite)**



**Figure 6 .** Evolution de la position du centre de la recirculation de culot dans le plan médian, en fonction de l'angle du déflecteur, l'origine étant placée sur l'arête haute du culot

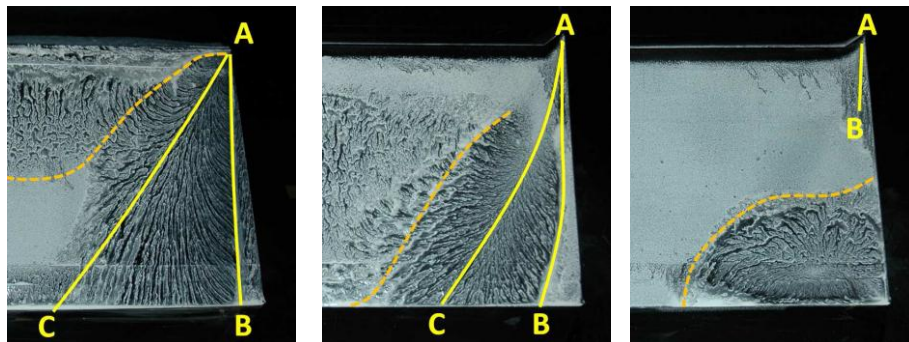
Sur le champ PIV de l'écoulement autour du corps avec déflecteur à  $+5^\circ$  (figure 5), la présence d'un point source des lignes de courant à l'extrémité de la lunette témoigne de la forte tridimensionnalité de l'écoulement qui vient alimenter ce point ; cette étude dans le plan de symétrie s'avère donc nécessairement insuffisante pour comprendre la totalité des phénomènes mis en jeu.

Les champs PIV stéréoscopiques réalisés dans le plan transverse, en aval du culot, permettent une observation de l'influence du contrôle passif sur les structures tourbillonnaires longitudinales.

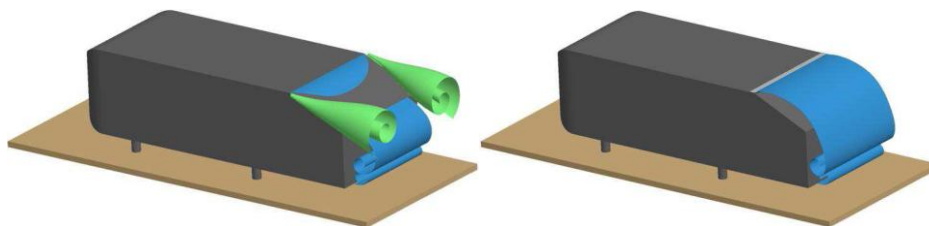


**Figure 7 .** Champs de vitesses moyennes des structures tourbillonnaires longitudinales par Stéréo PIV,  $U_0 = 16\text{m/s}$ , cas sans contrôle (a) et avec déflecteur à  $+5^\circ$  (b)

Lorsque l'angle croît, à partir de  $-25^\circ$  et jusqu'à  $0^\circ$ , les structures longitudinales conservent leur influence sur l'écoulement à l'arrière du corps. Quand  $\theta$  dépasse  $0^\circ$ , l'intensité du tourbillon se trouve fortement atténuée (figure 7). On constate le même phénomène sur les visualisations par enduit visqueux (figure 8) avec la disparition de la ligne de séparation dans le cas du contrôle à  $\theta = +5^\circ$ . Ce phénomène est concomitant avec la diminution des efforts aérodynamiques ; il semble donc bien s'agir du phénomène précurseur du mécanisme étudié. Cette atténuation des structures longitudinales est vraisemblablement due à la présence du décollement issu directement du contrôle qui vient en conflit avec le développement de ces dernières (figure 9). La topologie de l'écoulement semble alors s'approcher de celle d'un écoulement de type culot droit.



**Figure 8 .** Visualisations pariétales par enduit visqueux : cas sans contrôle (gauche),  $\theta = 0^\circ$  (centre) et  $\theta = +5^\circ$  (droite), AB étant la ligne de décollement de la structure secondaire et AC la ligne d'attachement de la structure principale, la ligne en pointillés correspond au bulbe décollé



**Figure 9 .** Description schématique de l'écoulement sans contrôle (gauche) et avec déflecteur,  $\theta > 0^\circ$  (droite)

#### **4. Conclusion**

L'augmentation du décollement provoquée par la présence du déflecteur, bien que pouvant paraître au premier abord augmenter la résistance à l'avancement, peut entraîner une diminution de la traînée. En effet, lorsque le décollement s'avère suffisant, il vient contrecarrer le développement des structures tourbillonnaires longitudinales, réduisant ainsi leur influence sur la traînée.

Les résultats de cette étude sont en accord avec ceux obtenus antérieurement (Brunn et al., 2007 ; Beaudoin et al., 2008), et mettent en évidence le couplage fort existant entre les structures tourbillonnaires longitudinales et l'écoulement décollé.

Il apparaît donc ici clairement que les tentatives de contrôle de l'écoulement autour du corps de Ahmed en vue de la réduction de sa résistance à l'avancement doivent considérer l'écoulement dans sa globalité.

#### **5. Remerciements**

Les auteurs remercient le CISIT (Campus International sur la Sécurité et l'Intermodalité des Transports) pour son soutien financier à cette étude.

#### **Bibliographie**

Ahmed S., Ramm G., Faltin G., « Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake », Technical Report 840300, SAE Technical Paper, 1984.

Beaudoin J.-F., Aider J.-L., « Drag and lift reduction of a 3d bluff body using flaps », Experiments in Fluids, vol. 44, n° 4, 2008, p. 491–501.

Brunn A., Wassen E., Sperber D., Nitsche W., Thiele F., « Active drag control for a generic car model », Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, vol. 95, 2007, p. 247–259.

Gilliéron P., Chometon F., « Modelling of stationary three-dimensional separated air flows around an ahmed reference model », 3rd Int. Workshop on Vortex, ESAIM Proceedings, 1999.

Spohn A., Gilliéron P., « Flow separations generated by a simplified geometry of an automotive vehicle », UTAM Symposium on Unsteady Separated Flows, Toulouse, France, 2002.