

Structures tourbillonnaires et leur influence sur les efforts subis par un corps 3D en dérapage

M. Gohlke^{1,2}, J.F. Beaudoin¹, M. Amielh² and F. Anselmet²

¹ PSA Peugeot-Citroën, Direction de la Recherche et de l'Innovation Automobile, Vélizy-Villacoublay, France

² IRPHE, CNRS - Universités d'Aix Marseille, Technopôle de Château-Gombert, Marseille, France
marc.gohlke@mpsa.com

Résumé :

Cette étude analyse les efforts subis par un corps à faible rapport d'aspect dans un écoulement asymétrique. Nous sommes spécialement intéressés par l'effet du vent latéral sur les automobiles. Afin d'aborder cette problématique, nous avons choisi un corps simplifié, proche du sol et fixé par quatre pieds. Nous montrons la présence de deux structures principales du côté sous le vent, qui dépendent fortement de l'angle de dérapage. De plus, nous avons trouvé que l'une des structures contribue à diminuer le moment de lacet à des forts angles de dérapage, tandis que l'autre structure est fortement influencée par le pied avant côté sous le vent.

Abstract :

This study analyses forces on a bluff-body in an asymmetric flow. We are especially interested in the effect of side-wind on automobiles. To approach this problem we chose a simplified model, which is floor mounted by four cylindrical struts. We show the presence of two longitudinal vortices on the lee-side, which strongly depend on the yaw angle. Furthermore, we underline that one of these structures contributes to the decrease of the yawing moment at high angles. The second vortex is strongly influenced by the front lee strut.

Mots-clefs :

Bluff-body, vent latéral, aérodynamique

1 Introduction :

Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse aux phénomènes physiques associés à un écoulement asymétrique autour d'un corps à faible rapport d'aspect («bluff-body»). Plus précisément, nous nous intéressons au rôle des structures tourbillonnaires dans les efforts appliqués à un corps 3D produisant un sillage turbulent.

Les perspectives d'application des résultats de cette étude générique concernent les véhicules automobiles soumis à un vent latéral. Cette composante latérale de l'écoulement crée un écoulement asymétrique autour des corps automobiles. L'effet du vent naturel a déjà été le sujet de nombreuses publications dans le passé. En particulier, de nombreux travaux ont été conduits sur des véhicules de gros gabarit, comme les trains (Cooper (1981), Baker *et al.* (2004) ou Sanquer *et al.* (2004)) et les camions (Cooper (1985), Bearman & Mullarkey (1994) ou Colemann & C.J. Baker (1994)). Plus la vitesse du véhicule est importante, plus il est sensible au vent latéral (risque de retournement pour les trains et les remorques, et de déviation de trajectoire pour les camions).

Cependant, la littérature est moins riche en ce qui concerne l'interaction du vent latéral avec les voitures. Ici, le vent intervient d'abord sur le confort des passagers et la sécurité routière. Selon Howell (1993) et Gillhaus & Hoffmann (1998), la force latérale et sa répartition sur chaque essieu, donnant lieu à un moment de lacet, sont les principaux ingrédients responsables de la réponse dynamique du véhicule. Gilhaus & Renn (1986) se sont intéressés à l'influence d'une

modification géométrique du véhicule sur les efforts en situation de vent latéral. Ils ont évoqué, entre autre, que le moment de lacet peut être réduit par une surface arrière plus importante : un break est plus favorable qu'une berline. En équipant une voiture, type berline, avec des prises de pression, Howell (1996) a identifié les zones qui ont le plus d'influence sur le torseur aérodynamique. Il souligne surtout l'avant de la voiture et le montant de baie avant comme zones de basse pression, source de contribution à la force latérale. Il constate que la différence de charges sur les essieux avant et arrière est responsable de la création du moment de lacet.

Afin de proposer des solutions aérodynamiques dans la phase de conception, il faut comprendre au mieux la relation entre l'écoulement et les efforts subis par la voiture, pour mieux prendre en compte les contraintes de design et d'architecture. Puisque l'écoulement autour d'une automobile est très complexe, car particulièrement tridimensionnel et turbulent, nous avons choisi une maquette d'un monospace simplifié, conservant les principales caractéristiques aérodynamiques d'une voiture réaliste.

2 Investigation expérimentale et numérique :

Afin d'étudier les effets du vent latéral, nous utilisons une méthode facile à mettre en œuvre et souvent utilisée dans le cadre de la recherche aérodynamique appliquées au cas des véhicules terrestres. Il s'agit de tourner la maquette vis-à-vis de l'écoulement principal, comme décrit dans SAE (1981). L'angle entre l'axe de la veine et l'axe de symétrie de la maquette est appelé l'angle de dérapage β . On peut ainsi étudier les tourbillons et le sillage produits par un corps 3D soumis à un écoulement de travers.

Comme mentionné, nous avons choisi un corps simplifié, typé monospace, qui a été introduit par Chometon *et al.* (2005). Une représentation de cette maquette et le torseur aérodynamique appliqué sont montrés dans la figure 1(a).

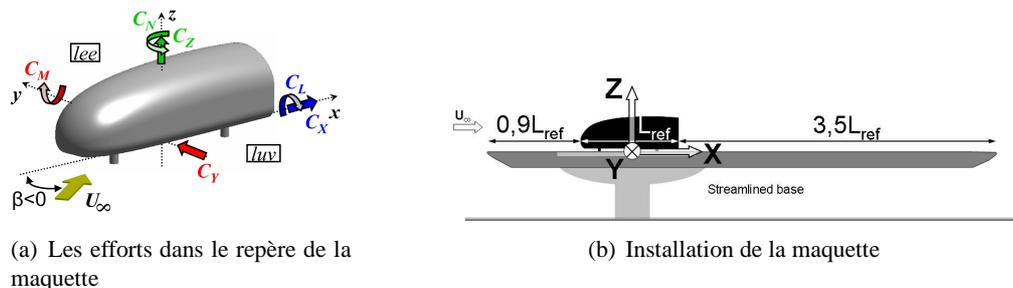


FIG. 1 – Maquette de l'étude

Investigation expérimentale : Le schéma 1(b) donne le principe d'installation de la maquette sur un faux plancher en soufflerie, qui permet de diminuer la taille de la couche limite et contrôler son déclenchement. Il s'agit d'une soufflerie de type Eiffel d'une longueur de 52m. La veine guidée, ouverte vers l'extérieur, mesure 2m de haut pour 5.2m de large et de 6m de long. La vitesse de l'écoulement est de 40m/s ($Re_{L_{ref}} = 2.2 \times 10^6$) et le taux de turbulence est de 1.2%. Il s'agit d'une maquette à une échelle 1/5^{ème} avec une longueur de 0.857m (L_{ref}), une hauteur de 0.253m et une largeur de 0.303m. Elle est fixée sur quatre pieds cylindriques permettant une garde au sol de 0.038m. Les expériences effectuées sur la maquette sont décrites en détail dans Gohlke *et al.* (2007). Ici, nous présentons uniquement quelques résultats principaux.

Investigation numérique : L'étude numérique a été menée avec un code basé sur le principe du gaz sur réseau. Nous utilisons le code PowerFlow de la société Exa, qui résout les équations de type Lattice-Boltzmann. Il s'agit d'un calcul non-stationnaire, qui nous a permis d'obtenir un temps physique d'environ 0.8s, ce qui correspond à 2×10^5 pas de temps de 4×10^{-6} s. Le calcul a convergé à partir de 2×10^4 pas de temps et il est ensuite moyenné sur le temps restant (0.72s), afin d'analyser l'écoulement moyen.

Typiquement, le volume de l'écoulement est divisé en zones de différente résolution. La taille des mailles les plus fines sont autour du corps et autour des pieds de l'ordre de 0.7×10^{-3} m. Afin de bien définir les tourbillons du côté sous le vent (CSV) et du sillage, un premier calcul plus léger a été effectué. Celui-ci nous a permis de définir une zone qui a été raffinée à 1.5×10^{-3} m. Le nombre total de maille est de 1×10^6 .

Le taux de turbulence et la couche limite ont été adaptés à des mesures faites en soufflerie, afin de mieux reproduire les conditions expérimentales de l'écoulement.

3 Résultats :

Comme décrit ci-dessus, les efforts qui sont importants pour le confort des passagers et la sécurité routière lors d'un vent latéral sont la force latérale C_Y et le moment de lacet C_N . Dans les figures 2(a) et 2(b), nous représentons ces efforts en fonction de l'angle de dérapage, c'est-à-dire en fonction d'un vent latéral d'intensité croissante. Nous observons que C_Y augmente quasi

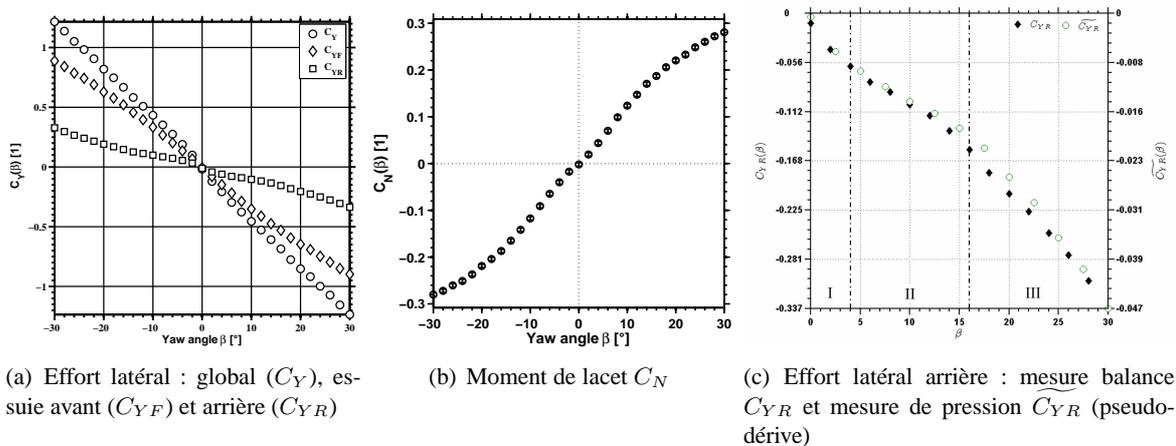


FIG. 2 – Composantes du torseur aérodynamique en fonction de l'angle de dérapage β

linéairement avec l'angle de dérapage. A de faibles angles β le moment de lacet reste également linéaire, mais à partir des angles importants (entre 16° et 20°) sa pente s'incline. Cette moins forte croissance de C_N est plutôt favorable : en cas de $dC_N/d\beta > 0$ la tendance du véhicule est de se tourner hors du vent, ce qui s'accompagne d'un angle de dérapage apparent encore plus important, ce qui cause l'instabilité. Afin de comprendre à quoi est dû ce changement, nous avons divisé la force latérale en contributions de l'avant et de l'arrière. Comme la force latérale globale C_Y , la courbe de la force latérale sur l'avant C_{YF} reste quasi linéaire. La force latérale arrière C_{YR} est trois fois inférieure à celle de l'avant, mais elle montre deux changements de pente à environ 4° et 16° . La figure 2(c) montre ces changements et les mesures de la force latérale obtenue par une balance aérodynamique sont comparées à des mesures d'une pseudo-force latérale. Les pseudo-forces sont obtenues par des mesures de pression surfacique, intégrées sur la surface arrière ou avant. Qualitativement les courbes (cf. 2(c)) se ressemblent, et montrent les mêmes changements de pente. On montre ainsi que l'approche qui consiste à estimer les efforts

à partir de contributions locales est valable.

Le moment de lacet est principalement créé sur l'avant de la maquette, mais les mesures de pression pariétale ont confirmé que les changements de pente de ce moment proviennent de l'arrière. Les plus grandes contributions viennent de la partie haute de la maquette, et notamment du côté sous le vent (cf. figure 3(a) et 3(b)). Ces figures montrent que seul le côté arrière sous le vent crée un moment de lacet (\widetilde{C}_N) en contre sens, favorable pour diminuer le moment de lacet global. Des mesures d'enduit visqueux, ainsi que de LDV et PIV nous ont permis de relier ces tendances à deux structures tourbillonnaires, qui se créent du côté sous le vent (Gohlke *et al.* (2007)). Ces interprétations nous ont amené au sketch 3(c).

En fonction de l'angle de dérapage ces structures jouent des rôles différents. Un décollement

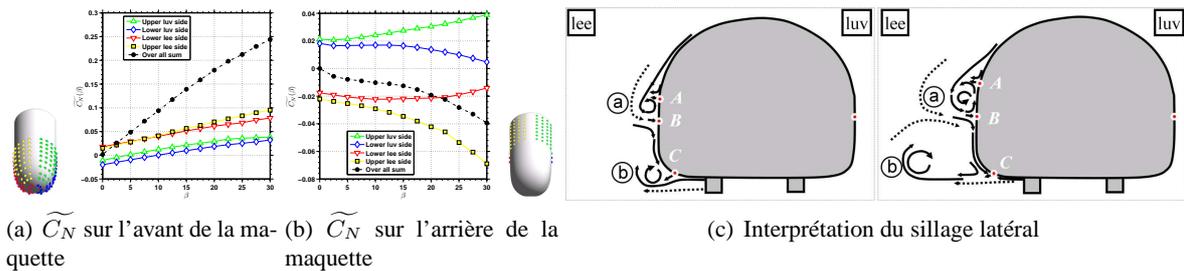


FIG. 3 – Pseudo-moment de lacet et interprétation de l'écoulement CSV

sur le haut, donnant naissance à la structure [a], est présent à des angles plus grands que 10° . Plus β augmente, plus ce tourbillon longitudinal gagne en taille et s'étale vers l'amont de la maquette. La structure du bas [b] est attaché au corps jusqu'à des angles élevés d'environ 20° à partir desquels, elle décroche du corps et s'oriente loin du corps. L'influence des deux tourbillons sur les efforts de la maquette se voit dans la figure 3(b). A des faibles β , la contribution CSV-bas au moment de lacet reste environ constante jusqu'à des angles importants, ce qui est lié à l'éloignement de la structure [b] qui induit donc moins de basse pression sur le corps. Sur le haut du CSV, nous observons que le moment croît avec l'angle. Nous attribuons ceci à la présence du tourbillon longitudinal, qui gagne en intensité avec β , ce qui induit une dépression de plus en plus intense sur la maquette.

Les calculs effectués à 15° et 30° confirment ces interprétations. Les figures 4(a) et 4(b) montrent des lignes de courant dans le volume. Nous observons que le tourbillon [a] gagne en taille entre les deux angles de dérapage. D'autre part, l'écoulement du bas reste collé sur le corps au petit angle et, à 30° , un tourbillon longitudinal est présent et bien éloigné du corps. Par ailleurs, nous estimons que le pied joue un rôle essentiel, car il oriente la structure du fait de la présence de son sillage. Les cartographies de la pression surfacique (cf. 5) montrent la pression

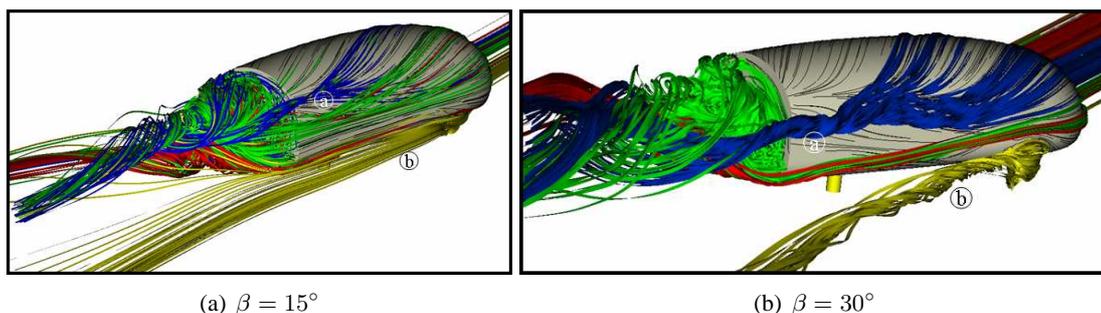


FIG. 4 – Lignes de courant, représentation du côté sous le vent

induite par le tourbillon [a] sur l'arrière de la maquette.

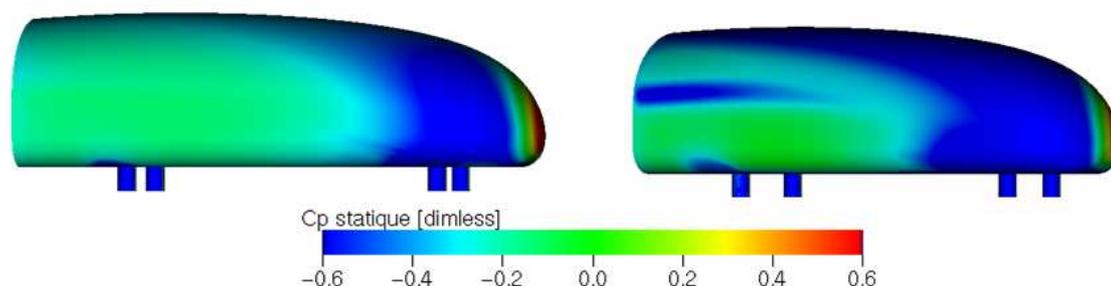


FIG. 5 – Cartographie de la pression surfacique à 15° (gauche) et 30° (droite), représentation du côté sous le vent

4 Conclusion :

Afin d'aborder les phénomènes physiques propres aux situations de vent latéral, nous avons choisi un corps simplifié qui conserve les principales caractéristiques aérodynamiques d'une voiture réelle. Nous montrons l'importance de l'écoulement du côté sous le vent pour le torseur aérodynamique, notamment du fait de la présence de deux structures longitudinales dont les propriétés varient avec l'angle incident du vent.

Afin de diminuer le moment de lacet global deux approches sont possibles :

- diminuer la force latérale avant C_{YF} ou
- augmenter la force latérale arrière C_{YR} .

Afin d'augmenter le C_{YR} , il faudrait augmenter la taille et l'énergie du tourbillon [a] pour que la dépression induite sur l'arrière soit plus importante et que le moment de lacet global diminue. Deuxièmement, il serait favorable de garder la structure [b] attachée en aval du pied CSV.

5 Perspectives

Dans le cadre de cette étude, nous étendrons nos analyses à l'impact de la dynamique de ces structures sur les fluctuations de forces appliquées au corps. De plus nous porterons un regard plus précis sur l'interaction entre les sillages du pied et le corps lui-même.

Références

- Baker, C.J., Jones, J., Lopez-Calleja, F., & Munday, J. 2004. Measurements of the cross wind forces on trains. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, **92**, 547–563.
- Bearman, P.W., & Mullarkey, S.P. 1994. Aerodynamic Forces on Road Vehicles due to Steady Side Wind Gusts. *In : RAeS Conference on Vehicle Aerodynamics.*
- Chometon, F., A.Strzelecki, Ferrand, V., Dechipre, H, Dufour, P.C., Gohlke, M., & Herbert, V. 2005. Aerodynamic Characteristics of a New Simplified Car Model for Experimental Analysis of Unsteady Wake. *In : SAE, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.*
- Colemann, S.A., & C.J. Baker. 1994. An Experimental Study of the Aerodynamic Behaviour of High Sided Lorries in Cross Winds. *J. Wind. Eng. Ind. Aero.*, **53**, 401–429.

- Cooper, K.R. 1981. The Effect of Cross-Wind on Trains. *Transactions of the ASME*, **103**, 170–178.
- Cooper, K.R. 1985. The Effect of Front-Edge Rounding and Rear-Edge Shaping on the Aerodynamic Drag of Bluff Vehicles in Ground Proximity. *In : SAE, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.*
- Gilhaus, A.M., & Renn, V.E. 1986. Drag and Driving-Stability-Related Aerodynamic Forces and Their Interdependence - Results of Measurements on 3/8-Scale Basic Car Shapes. *In : SAE, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.*
- Gillhaus, A., & Hoffmann, R. 1998. *Aerodynamics of Road Vehicles*. 4th edn. SAE International, Warrendale, Pa. Chap. Directional Stability, pages 239–310.
- Gohlke, M., Beaudoin, J.F., Amielh, M., & Anselmet, F. 2007. Experimental analysis of flow structures and forces on a 3D-bluff-body in constant cross-wind. *Exp. Fluids (submitted)*.
- Howell, J.P. 1993. Shape Features which Influence Crosswind sensitivity. *In : Vehicle Ride and Handling conf. I. Mech. E. Paper C466/036/93.*
- Howell, J.P. 1996. The Side Load Distribution on a Rover 800 Saloon Car Under Crosswind Conditions. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, **60**, 139–153.
- SAE. 1981. Wind Tunnel Test Procedure for Trucks and Busses. *SAE Recommended Practice*, SAE J1252 JUL 81.
- Sanquer, S., Barré, C., Dufresne de Virel, M., & Cléon, L.M. 2004. Effects of Cross Winds on High-Speed Trains : Development of a New Experimental Methodology. *J. Wind Eng. Ind. Aero.*, **92**, 535–545.