

# Modélisation du roulement d'un pneu d'avion : prise en compte des couplages thermo-mécanique dans le contact

A. Kongo Kondé<sup>a,b</sup>, I. Rosu<sup>a</sup>, F. Lebon<sup>a</sup>, O. Brardo<sup>b</sup>, B. Devésa<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Université Aix-Marseille 1, 31 Chemin Joseph-Aiguier, 13402 Marseille Cedex 20, France, rosu@lma.cnrs-mrs.fr

<sup>b</sup>AIRBUS, 316 route de Bayonne, 31060 Toulouse cedex 03

**Mots-clés** Frottement, éléments finis, formulation ALE, couplage thermo-mécanique.

## Résumé

Au cours de l'exploitation commerciale d'un avion (qui peut s'étaler sur plusieurs décennies), de nombreux facteurs altèrent l'intégrité structurale de l'aéronef et mettent ainsi en danger ses passagers. Les opérations d'atterrissage et de décollage sont des phases tout particulièrement critiques lors d'un vol. En effet, la vitesse élevée, l'impact parfois violent du train lors de la phase de toucher, la nécessité de freiner rapidement, les irrégularités de la piste, les conditions climatiques et d'autres paramètres peuvent rendre périlleuses ces manoeuvres. Pour former au mieux les pilotes sur simulateur, il convient de connaître à chaque instant le torseur des efforts dans le contact lors de ces phases d'exploitation. Pour cela, il faut comprendre et maîtriser du mieux possible le comportement à l'interface pneumatique/sol. Pour les applications aéronautiques, l'expérimentation sur pneumatique réel, à des vitesses modérées (de l'ordre de 70 km/h), conduit à une maîtrise du comportement du pneu/piste dans ce domaine qui est réduit du fait de la complexité de mise en place d'expériences à grandes vitesses. Les fortes non-linéarités liées aux matériaux, à la géométrie, aux grandes déformations, aux phénomènes couplés (contact, frottement, couplage thermo-mécanique, usure, etc.) réduisent très fortement la capacité d'extrapoler ces résultats à des vitesses élevées correspondant à l'exploitation réelle de l'appareil (supérieures à 200 km/h).

Dans l'étude du comportement en roulement d'un pneumatique d'avion, il est capital de savoir estimer le moment d'autoalignement  $M_z$  (le couple suivant l'axe vertical) et le ratio  $\mu_Y$  (dit coefficient de frottement global), entre l'effort lateral  $F_Y$  et l'effort normal  $F_Z$ . Ils traduisent respectivement la capacité du pneumatique à revenir dans la direction de la trajectoire quand il n'est plus contraint et le potentiel d'adhérence du couple gomme/piste. Il est à noter que le comportement du pneumatique d'avion est très différent de celui d'une automobile ou d'un camion du fait de sa structure très complexe et des charges très élevées (poids propre de l'avion, pression de gonflage).

Dans cet exposé, on présente la modélisation d'un corps en contact roulant et en dérapage. Le modèle proposé prend en compte les déformations finies en 3D (modèles de Mooney-Rivlin ou Yeoh), la dynamique, les hétérogénéités des matériaux, le contact et le frottement et les couplages thermomécaniques dans la zone de contact. Dans ce travail les propriétés des matériaux ne dépendent pas de la température, celle-ci intervient, au niveau de

la mécanique, dans la loi de contact, par l'intermédiaire du coefficient de frottement. On présente deux approches numériques : une dite classique, les problèmes de mécanique et de thermique sont formulés tous les deux en Lagrangien et une seconde basée sur une formulation Eulérien/Lagrangien pour la mécanique et une formulation Lagrangienne pour la thermique. Une discrétisation par éléments finis assez fine nécessite pour ce type de problématique un assez grand nombre de degrés de liberté (environ 200 000) dans un cadre non linéaire évolutif et donc des temps de calcul élevés pour la méthode classique. On montrera que la seconde méthode conduit à des gains de temps très importants.

On présente un exemple de variations du coefficient de frottement global et du moment d'auto-alignement en fonction de l'angle de dérapage pour des conditions de chargement et de vitesse réelles. Expérimentalement (à des vitesses moyennes), on observe deux phases pour ces deux grandeurs. Pour le coefficient de frottement global, dans la première, on observe une croissance de ce coefficient jusqu'à un maximum pour un angle noté  $\beta_{max}$ , ensuite on constate une décroissance assez peu importante mais réelle de ce coefficient. Pour le moment d'auto-alignement, dans la seconde phase (qui correspond à un angle de dérapage différent de celui du coefficient de frottement), on observe une décroissance vers zéro de cette grandeur. Pour un problème purement mécanique, la seconde phase n'est pas ou mal captée. Pour un problème couplé, la dépendance à la température du coefficient de frottement induit une décroissance après  $\beta_{max}$  et un retour beaucoup plus rapide vers zéro pour le moment d'auto-alignement. Ce résultats sont montrés sur la figure 1.

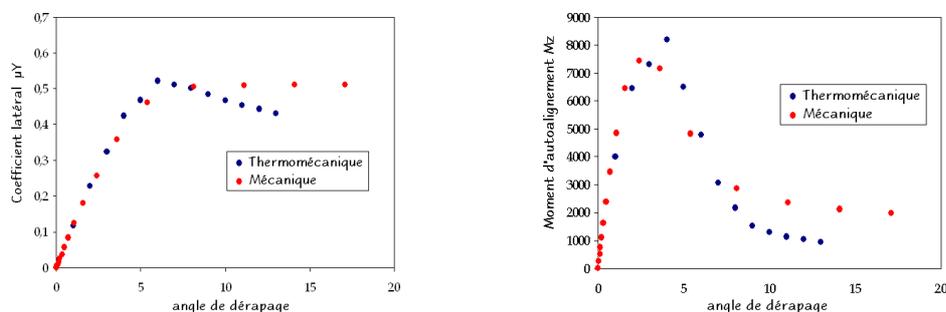


Figure 1: Coefficient de frottement et moment d'auto-alignement

## Références

- 1 U. Nackenhorst, The ALE-formulation of bodies in rolling contact - Theoretical foundations and finite element approach, Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.193, pp.4299-4322, 2004
- 2 J. Awrejcewicz, Y. Pyr'yev , Nonsmooth Dynamics of Contacting Thermoelastic Bodies, Springer, 2009
- 3 A. Kongo Kondé, I. Rosu, F. Lebon, O. Brardo, B. Devésa, Thermal-Mechanical analysis of tire rolling, soumis
- 4 A. Kongo Kondé, I. Rosu, F. Lebon, O. Brardo, B. Devésa, On the modeling of aircraft tire, soumis