

# Contrôle d'un inerter pour les prestations de confort et de dynamique route d'un véhicule automobile

Hugo DE FILIPPIS

Promotion 64  
Claude-Henri LAMARQUE (ENTPE)

VA Génie Civil, Master D2S  
Zoran DIMITRIJEVIC (Groupe PSA)

Dans le cadre de l'exploration de nouveau concept de liaison au sol, le Groupe PSA propose d'évaluer des techniques de contrôle semi-actif d'un nouvel élément dynamique de la liaison au sol faisant intervenir une inertie : l'*inerter*. Le concept d'inerter a été introduit pour la première fois en 2002 par Malcolm C. SMITH, professeur en contrôle des systèmes à l'université de Cambridge en Angleterre, et son utilisation s'est rapidement révélée intéressante en termes de contrôle des vibrations. Tout d'abord utilisé avec succès dans le milieu de la compétition automobile en Formule 1 par l'écurie McLaren en 2005, sous le nom de *J-damper*, l'objectif était de contrôler le mode de rebond de roue du véhicule améliorant ainsi sa tenue de route. Cette technologie a été reprise par l'écurie Renault peu de temps après, ce qui a donné lieu à un scandale retentissant pour des raisons d'espionnage. Dans le milieu de la recherche scientifique, l'inerter a également suscité un intérêt grandissant dans des domaines d'application de l'ingénierie très variés tels qu'une suspension automobile et ferroviaire, un système de direction de moto, un système parasismique d'immeuble, un train d'atterrissage d'avion, etc.

Les objectifs de ce stage sont de développer des stratégies de contrôle semi-actif d'un inerter de type hydraulique, permettant de lever des compromis entre différentes prestations de confort basses fréquences et hautes fréquences, ainsi que d'améliorer la tenue de route du véhicule pour les prestations de dynamique routière. En effet dans la littérature, le contrôle semi-actif d'un inerter dans une suspension a mis au jour un inconvénient concernant son utilisation : le comportement hautes fréquences de la suspension se dégrade et le mode du rebond de roue apparaît dans la fonction de réponse en fréquence de la masse suspendue, i.e. la caisse, ce qui génère de l'inconfort et de l'insécurité pour la tenue de route du véhicule.

Le contrôle actif d'une suspension (suspension Hydractive Citroën, suspension électronique Bose), bien qu'elle procure des performances de confort et de tenue de route remarquables, utilise une loi de contrôle complexe, exige une source d'énergie externe permanente, nécessite un coût de fabrication et d'entretien plus élevés, et entraîne une masse et un encombrement plus importants qu'une suspension passive. C'est pourquoi le contrôle semi-actif, qui repose sur le changement d'un paramètre du système de suspension, le plus souvent la valeur d'amortissement,

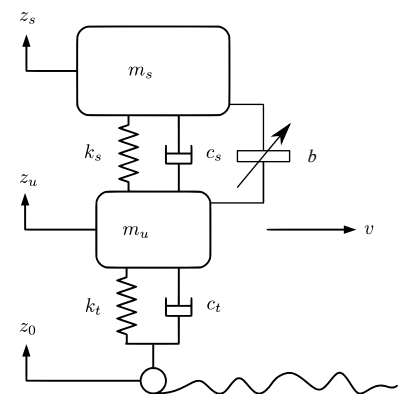


FIG. 1 – *Modèle semi-actif inertiel de quart de suspension automobile*

et ne permet qu'un nombre fini d'état du système, est moins contraignant. Plusieurs technologies existent pour faire varier l'amortissement d'une suspension, notamment grâce à l'électronique, la magnétorhéologie, l'hydraulique, etc. Depuis le début des années 2000, le nouvel élément mécanique qu'est l'inerteur s'avère propice au contrôle semi-actif dans une suspension automobile. Ce dernier peut être de type mécanique ou hydraulique.

Plusieurs méthodes de contrôle ont été développées analytiquement au sein du Groupe PSA, puis ont été testées sur un modèle numérique de quart de suspension automobile. Parmi les méthodes utilisées, la commande linéaire quadratique ne permettait pas d'améliorer le comportement basses fréquences (mode de pompage de la caisse) sans dégrader les hautes fréquences (apparition du mode de rebond de roue). Une méthode utilisant un correcteur PID a permis de conserver ce compromis de performances entre les basses et les hautes fréquences. L'objectif du travail effectué pendant le stage était d'améliorer encore les performances de la loi de contrôle semi-actif obtenues sur cette dernière méthode utilisée comme référence, en estimant les pertes de charges dans le vérin du circuit hydraulique liées aux changements d'état de la suspension.

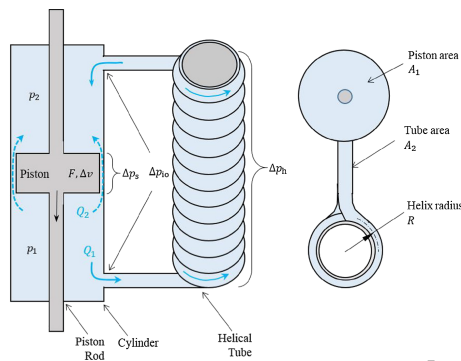


FIG. 2 – Schéma de fonctionnement d'un inerteur de type hydraulique

Ces pertes de charge, une fois estimées, sont intégrées dans l'expression de l'effort idéal désiré qui sert ensuite à déterminer l'effort de commande appliqué sur la suspension à l'aide du contrôle des électrovannes du circuit hydraulique. Cet ajout a permis d'améliorer les performances de la suspension sur la configuration par défaut.

Une étude de sensibilité a été menée afin d'en étudier les performances sur différents cas de charge de la caisse et pour plusieurs valeurs d'amortissement. Plusieurs critères ont été utilisés pour juger si ce modèle de suspension permet effectivement d'obtenir un meilleur confort et une meilleure tenue de route.

En résumé de cette étude de sensibilité, la prise en compte des pertes de charges dans le vérin du circuit hydraulique de l'inerteur permet bien d'avoir une meilleure estimation de l'effort désiré et de ce fait d'améliorer les performances de la suspension et par conséquent le comportement du véhicule par rapport aux suspensions passive et inertielle semi-active de référence. La suspension se révèle plutôt robuste lorsque la charge appliquée sur la caisse est variable. De plus, la variation des différents paramètres de la suspension sur laquelle l'étude de sensibilité était portée, que sont l'amortissement et l'écart-type/variance dans le terme des pertes de charge, démontre une bonne adaptation de la suspension. Il aurait été intéressant d'utiliser des méthodes d'optimisation telles qu'un algorithme génétique pour déterminer les choix de valeurs des différents paramètres permettant d'obtenir les meilleures performances.

Enfin, il serait intéressant à l'avenir de pouvoir comparer ces résultats numériques avec des essais expérimentaux. En effet, plusieurs ingénieurs d'essai travaillent sur un prototype de suspension semi-active inertielle, équipée d'un circuit hydraulique, et installée sur une voiture Citroën placée sur un banc d'essai à quatre vérins sollicitant seulement le mode de pompage, i.e. suivant la direction  $\vec{z}$ . Plusieurs accéléromètres sont montés sur la caisse et les roues de la voiture pour mesurer les accélérations de ceux-ci, ce qui permettra aussi par la suite de remonter aux déplacement et au débattement de la suspension. Des capteurs de pression sont aussi placés dans le circuit hydraulique pour mesurer les efforts commandés et appliqués sur la suspension. Cela permettra ainsi d'évaluer les écarts obtenus entre les simulations numériques et les simulations expérimentales, et d'améliorer encore les performances de la suspension.