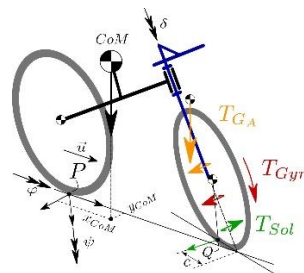


Titre du stage	Optimisation du design d'un vélo sur la base d'un critère de maniabilité
Titre du stage en anglais	Optimizing bicycle design to maximize its maniability
Lieux du stage	LMC2 (Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction) LBMC (Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs)
Encadrants	Noélie Di Cesare (LMC2), Jules Ronné (TU Delft, Pays-Bas), Thomas Robert, (LBMC), Denis Brizard (LBMC)
e-mails de contact	noelie.di-cesare@univ-lyon1.fr , thomas.robert@univ-eiffel.fr

Contexte

La maniabilité d'un véhicule est la facilité et la précision avec laquelle un pilote peut effectuer une tâche donnée (Cooper & Harper, 1969). Cette qualité est désirable pour un vélo car elle est gage de sécurité, de confort et de performance. Son étude via des indicateurs numériques est peu abordée dans la littérature alors que ces approches pourraient simplifier les méthodes de conception de vélo, jusqu'ici très empiriques (Kooijman & Schwab, 2013).

Un nouvel indicateur de maniabilité, le MTC (Minimal Transition Cost), a été proposé dans des travaux de thèse récent au LBMC (thèse de Jules Ronné). Cet indicateur quantifie le coût de contrôle minimal associé aux couples que le cycliste doit appliquer sur le vélo pour effectuer un ou plusieurs changements d'état (passage d'un état initial à un état final en un temps donné). Il se base sur le modèle de Carvallo-Whipple (Meijaard et al., 2007), un modèle linéaire de vélo rigide à deux degrés de liberté (figure ci-dessous) dont la dynamique est connue et peut s'écrire de manière littérale. Le calcul de cet indicateur se fait à vitesse, tâche et design fixé, laissant ainsi la possibilité d'évaluer l'effet de ces variables sur la maniabilité. Des premiers résultats intéressants concernant la maniabilité de vélos existants (dont le design était connu) ont été obtenus à l'aide de cet indicateur.



Modèle de Carvalo-Whipple d'un vélo

Objectif du stage

Il serait donc intéressant d'essayer d'obtenir des designs de vélos optimisés sur la base de cet indicateur, afin : 1) d'étudier son comportement sur des problèmes moins bornés ; 2) si les résultats obtenus semblent pertinents, de proposer des pistes d'amélioration des designs de vélos.

L'objectif de ce stage sera donc de mettre œuvre une méthode d'optimisation paramétrique du design du vélo, en considérant la fonction objectif, les variables d'optimisation, et les contraintes d'optimisation pertinentes pour le problème étudié.

Revue de littérature

Ce type d'approche a été proposé à plusieurs reprises dans la littérature :

Dans (Schwab et al., 2012), les auteurs optimisent un design de vélo couché en se basant sur les vitesses critiques de stabilité de ses modes propres. Le modèle utilisé est celui de Carvallo-Whipple. L'objectif est à la fois d'imiter la stabilité d'un vélo existant mais aussi de réduire la sensibilité du critère optimisé au réglage ergonomique de celui-ci.

- Dans (Roa et al., 2018), les auteurs présentent une optimisation de design sur 12 paramètres à partir d'un modèle plus complexe que dans l'article précédent. Leur approche se base sur un indicateur de stabilité intégrant la stabilité du vélo sur l'ensemble d'une plage de vitesse. Deux configurations du cycliste ont été testées : avec les mains sur le guidon et sans les mains.
- Dans (Moore et al., 2016) puis dans (Moore & Hubbard, 2019), les auteurs optimisent un design de véhicule sur 23 paramètres en minimisant la HQM, un indicateur de maniabilité. L'optimisation est faite sous contraintes, notamment des contraintes liées à l'équilibre longitudinale du vélo en phase

d'accélération ou décélération. L'indicateur utilisé étant très sensible à la vitesse, de designs optimaux ont été cherchés pour différentes vitesses du vélo. Cette approche par vitesse, produit des designs très différents sans réelle continuité. Si ces résultats sont intéressants d'un point de vue scientifique, ils montrent les limites de l'approche pour la conception de vélos réels.

- Dans (Gilboa et al., 2019), les travaux précédents ont été mis en pratique. Il ressort que la mise en pratique produit un écart au design optimal du fait des contraintes techniques de fabrication. La question de la balance longitudinale apparaît également comme un point de vigilance important.

Les travaux existants montrent donc la faisabilité de cette approche d'optimisation du design des vélos. Elles illustrent aussi l'importance de la définition du problème d'optimisation du fait de la forte sensibilité de la dynamique du véhicule à la vitesse, aux multiples cas d'usage, aux réglages ergonomiques ainsi qu'à des contraintes pratiques de conception.

Déroulement du stage

Dans le cadre de ce stage, plusieurs étapes de travail sont prévues :

- Prise en main du sujet, étude bibliographique, compréhension de la fonction objectif à optimiser, des variables d'optimisation ;
- Prise en main de la méthode de calcul de la fonction objectif, actuellement développée en Python ;
- Réflexion concernant les contraintes d'optimisation qui doivent être considérées pour que le processus d'optimisation soit efficient et représentatif de la réalité ;
- Proposition et développement d'une méthode d'optimisation paramétrique du design du vélo, en considérant la fonction objectif, les variables d'optimisation, et les contraintes d'optimisation précédemment étudiées.

Profil recherché

- Niveau M2 ou fin d'études d'ingénieur, spécialisé dans le domaine de la mécanique ;
- Bon niveau en programmation, dans au moins un langage de programmation ;
- Capacité à lire et comprendre des articles scientifiques en anglais ;
- Capacité à résumer ses travaux dans un rapport scientifique, en français et/ou en anglais ;
- Capacité à travailler en équipe.

Compétences acquises

A la fin du stage, l'étudiant(e) aura :

- Réalisé une synthèse bibliographique ;
- Développé ses compétences sur les logiciels de calcul scientifique (Python) ;
- Eté familiarisé avec la dynamique des bipoteurs à deux roues en ligne (vélos, trottinettes, motos)
- Acquis une expertise sur la dynamique (stabilité, maniabilité) des bipoteurs à deux roues en ligne (vélos, trottinettes, motos) ;
- Acquis une expertise sur les méthodes d'optimisation paramétriques ;
- Travaillé en collaboration avec différentes équipes de recherches.

Références

Cooper, G., & Harper, R. (1969). The use of pilot ratings in evaluation of aircraft handling qualities. NASA Ames Technical Report.

Gilboa, R., Kubicki, A., Toribio, A., Hubbard, M., & Moore, J. K. (2019). Practical Realization of a Theoretical Optimal-Handling Bicycle. 11.

Kooijman, J. D. G., & Schwab, A. L. (2013). A review on bicycle and motorcycle rider control with a perspective on handling qualities. *Vehicle System Dynamics*, 51(11), 1722-1764. <https://doi.org/10.1080/00423114.2013.824990>

Meijaard, J. P., Papadopoulos, J. M., Ruina, A., & Schwab, A. L. (2007). Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle : A benchmark and review. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463(2084), 1955-1982. <https://doi.org/10.1098/rspa.2007.1857>

- Moore, J. K., & Hubbard, M. (2019). Expanded Optimization for Discovering Optimal Lateral Handling Bicycles. Proceedings, Bicycle and Motorcycle Dynamics 2019, 12.
- Moore, J. K., Hubbard, M., & Hess, R. A. (2016). An Optimal Handling Bicycle. Proceedings, Bicycle and Motorcycle Dynamics 2016 Symposium on the Dynamics and Control of Single Track Vehicles, 14.
- Roa, S., Doria, A., & Muñoz, L. (2018). Optimization of the Bicycle Weave and Wobble Modes. V003T01A022. <https://doi.org/10.1115/DETC2018-86132>
- Schwab, A. L., Kooijman, J. D. G., & Nieuwendijk, J. (2012). On the Design of a Recumbent Bicycle With a Perspective on Handling Qualities. Volume 6: 1st Biennial International Conference on Dynamics for Design; 14th International Conference on Advanced Vehicle Technologies, 303-308. <https://doi.org/10.1115/DETC2012-70391>

Mots-clefs : Optimisation paramétrique, dynamique véhicule, contrôle, vélos, maniabilité.