

Optimisation du rendement énergétique d'une voiture miniature à propulsion élastique

Maël DAOUD-BEURTEAUX, MP1-MPi, 2025-2026

Professeur encadrant : CHAUCHAT A.

Motivations pour le choix du sujet

Depuis mon enfance, j'ai toujours été passionné par la conception de véhicules miniatures, notamment en Lego. Cet intérêt m'a conduit à m'interroger sur l'efficacité et les limites de systèmes de propulsion simples, ce qui m'a amené à m'intéresser au cas d'une voiture à propulsion élastique.

Ancrage du sujet au thème de l'année

Ton lien avec cycle boucle est plutôt l'aspect cycle d'hystérésis qui va conduire à de la dissipation d'énergie et pas rotation des roues.

Le thème « Cycles, boucles » repose sur la présence de mouvements du système étudié. La propulsion de la voiture met en jeu la rotation des roues, élément central de la transformation du mouvement de l'énergie élastique en mouvement de translation. Le mécanisme d'accélération du véhicule.

Positionnement thématique

Mécanique, Physique théorique

Mots-clefs

Mots-clefs – Rendement — Énergie — Élastique — Frottements — Voiture

Keywords – Efficiency — Energy — Elastic — Friction — Car

Bibliographie commentée

La conversion d'énergie potentielle élastique en énergie cinétique constitue un principe fondamental de la mécanique. Dans un ressort ou un élastique, l'énergie stockée lors de la déformation est proportionnelle au carré de l'allongement, relation issue de la loi de Hooke et largement utilisée pour modéliser les systèmes élastiques idéaux.

Dans un système mécanique réel, cette conversion n'est jamais totale. Une partie de l'énergie initialement stockée est dissipée par des mécanismes non conservatifs apparaissant lors du mouvement. Une première source importante de dissipation est le frottement mécanique dans les liaisons pivot reliant les axes des roues au châssis. Ces frottements résultent de l'interaction entre surfaces solides en contact et transforment une partie de l'énergie mécanique en chaleur.

Une autre source de perte d'énergie est le frottement de roulement entre les roues et le sol. Contrairement au frottement de glissement, la résistance au roulement provient essentiellement de la déformation des matériaux au niveau de la zone de contact. Dans le cas de matériaux déformables, cette déformation n'est pas parfaitement réversible et engendre des pertes par hystérésis. L'hystérésis correspond à la dissipation d'énergie observée lors d'un cycle de charge et de décharge, caractérisée par une boucle contrainte-déformation dont l'aire représente l'énergie perdue [1].

La résistance au roulement est donc fortement liée au comportement visco-élastique des matériaux. Des études sur les matériaux élastomères montrent que la dissipation d'énergie par hystérésis interne constitue un mécanisme dominant des pertes lors du roulement [2]. Ces pertes dépendent des propriétés intrinsèques du matériau, mais également de la vitesse de déformation et de la charge appliquée.

Des modèles analytiques développés pour des systèmes roulants, tels que les pneus, permettent de relier quantitativement l'énergie dissipée aux propriétés visco-élastiques du matériau. Ces modèles montrent que l'énergie perdue par hystérésis et frottement interne peut être exprimée en fonction des paramètres mécaniques du matériau et des conditions de contact, confirmant le rôle central de ces phénomènes dans la résistance au mouvement [3].

Les matériaux élastiques utilisés pour stocker l'énergie, comme les bandes élastiques, présentent eux aussi un comportement visco-élastique. Lorsqu'ils sont soumis à des cycles répétés de traction et de relaxation, une partie de l'énergie mécanique est dissipée à l'intérieur du matériau. Des études expérimentales sur des polymères et des élastomères mettent en évidence une perte d'énergie liée à l'hystérésis, dépendante de la fréquence et de l'amplitude de sollicitation [4]. Cette dissipation interne limite directement la quantité d'énergie effectivement restituée au système lors de la propulsion.

Enfin, les mécanismes de friction et d'hystérésis sont influencés par la rugosité

peut-être
évoquer
l'hystérésis
ferromagn
étique,
facile à
observer
au lycée
comme
point de
comparais

des surfaces et les phénomènes d’adhésion locale. Les revues scientifiques consacrées à la friction des matériaux élastiques montrent que l’énergie dissipée lors du mouvement résulte à la fois de la déformation visco-élastique interne et des interactions au niveau des surfaces de contact [5].

Ainsi, bien que la conversion d’énergie potentielle élastique en énergie cinétique soit bien définie théoriquement, les frottements mécaniques, la résistance au roulement et l’hystérésis des matériaux élastiques expliquent la diminution du rendement énergétique observée dans un système réel à propulsion élastique.

Problématique retenue

Comment améliorer et quantifier le rendement d’un système de propulsion reposant sur l’énergie potentielle élastique, en identifiant les principales sources de pertes et en proposant des solutions pour maximiser l’énergie cinétique restituée par le véhicule miniature ?

Objectifs du TIPE)

1. Concevoir un modèle mécanique permettant de représenter fidèlement la voiture et ses différentes sources de pertes d’énergie.
2. Identifier les paramètres clés influençant le rendement énergétique du système.
3. Proposer et tester des modifications sur le modèle et la voiture afin de réduire les pertes lors de la conversion de l’énergie élastique en énergie cinétique.
4. Comparer les résultats expérimentaux et théoriques pour comprendre et expliquer les écarts observés, et établir des conclusions sur l’efficacité des différentes améliorations proposées.

Références

- [1] R XU, F ZHOU et BNJ PERSSON : Friction dynamics : displacement fluctuations during sliding friction. *Soft Matter*, 21(39):7594–7609, 2025.
- [2] Jukka HYTTINEN, Rickard ÖSTERLÖF, Jenny JERRELIND et Lars DRUGGE : A semi-physical thermodynamic transient rolling resistance model with nonlinear viscoelasticity. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 28(3):895–916, 2024.
- [3] BNJ PERSSON : Rolling friction for hard cylinder and sphere on viscoelastic solid. *The European Physical Journal E*, 33(4):327–333, 2010.

- [4] Randy H EWOLDT, Gareth H MCKINLEY et AE HOSOI : Fingerprinting soft materials : A framework for characterizing nonlinear viscoelasticity. *arXiv preprint arXiv :0710.5509*, 2007.
- [5] Edvige PUCCI et Giuseppe SACCOMANDI : On the nonlinear theory of viscoelasticity of differential type. *Mathematics and mechanics of solids*, 17(6):624–630, 2012.