Optimisation de l’absorption des chocs à l’aide d’un fluide magnétorhéologique

Motivation du choix du sujet

L’absorption des chocs est un enjeu important dans les transports, l’aéronautique, la robotique et les équipements de protection. Les systèmes classiques sont peu adaptables. Les fluides magnétorhéologiques offrent une alternative intéressante : leurs propriétés mécaniques peuvent être modifiées par l’application d’un champ magnétique.

Ancrage au thème annuel

Ce projet s’inscrit dans le thème « Sobriété, efficacité, optimisation ». L’utilisation d’un fluide magnétorhéologique permet d’étudier comment un champ magnétique peut adapter l’absorption d’un choc. L’objectif est de rechercher un compromis entre efficacité mécanique, adaptabilité du système et énergie nécessaire à son activation.

Positionnements thématiques

1. PHYSIQUE — Mécanique
2. PHYSIQUE — Physique de la Matière
3. SCIENCES INDUSTRIELLES — Génie Mécanique

Mots-clés

Français	Anglais
Fluide magnétorhéologique	Magnetorheological fluid
Rhéologie	Rheology
Champ magnétique	Magnetic field
Absorption des chocs	Shock absorption

Bibliographie commentée (maximum 650 mots)

Les fluides magnétorhéologiques (FMR) sont des suspensions dont les propriétés rhéologiques évoluent sous l’action d’un champ magnétique. Leur capacité à modifier rapidement leur comportement mécanique en fait des matériaux intéressants pour les systèmes d’amortissement adaptatifs. L’étude de leur fonctionnement, de leur formulation et de leur utilisation dans les amortisseurs constitue ainsi le point de départ de ce TIPE.

L’article de **de Vicente, Klingenberg et Hidalgo-Álvarez (2011)**, *Magnetorheological fluids: a review*, présente une synthèse générale du fonctionnement des fluides

magnétorhéologiques. Il permet de comprendre comment l'application d'un champ magnétique provoque l'organisation des particules en structures orientées, modifiant ainsi la résistance à l'écoulement. Cette référence apporte les bases physiques nécessaires pour relier le champ magnétique aux propriétés mécaniques du fluide.

Les travaux d'**Ashtiani, Hashemabadi et Ghaffari (2015)**, consacrés à la préparation et à la stabilisation des fluides magnétorhéologiques, complètent cette première approche. Ils mettent en évidence l'importance de la composition du fluide et les difficultés liées à sa stabilité, notamment la sédimentation des particules. Ces éléments sont essentiels pour réfléchir à la formulation d'un fluide expérimental et aux limites d'un matériau préparé à petite échelle.

La thèse de **Seval Genç (2002/2003)**, *Synthesis and Properties of Magnetorheological (MR) Fluids*, étudie la synthèse des fluides magnétorhéologiques ainsi que leurs propriétés rhéologiques et leur stabilité. Les résultats présentés montrent notamment que la concentration et les caractéristiques des particules influencent la contrainte seuil obtenue sous champ magnétique. Cette étude fournit des pistes pour identifier les paramètres de formulation susceptibles d'influencer la réponse mécanique du fluide.

Pour passer de l'étude du matériau à celle du système mécanique, l'article de **Milecki et Hauke (2012)**, *Application of magnetorheological fluid in industrial shock absorbers*, examine l'utilisation de ces fluides dans des amortisseurs industriels. Il montre l'intérêt de contrôler l'amortissement en fonction des conditions de fonctionnement. Cette référence établit le lien direct entre les propriétés du fluide et l'objectif du TIPE : améliorer l'absorption d'un choc.

Enfin, l'étude de **Sun et al. (2022)**, *Analysis of Damping Characteristics of Magnetorheological Damper under Impact Load*, porte sur les caractéristiques d'amortissement d'un dispositif magnétorhéologique soumis à une charge d'impact. Elle est particulièrement pertinente pour envisager des indicateurs expérimentaux permettant d'évaluer l'efficacité d'un amortisseur. L'article de **Wang et al. (2022)**, consacré à la conception et aux performances d'un amortisseur magnétorhéologique soumis à des impacts, complète cette approche en soulignant l'importance de la conception mécanique du dispositif.

Ces références conduisent à étudier l'influence de paramètres tels que la formulation du fluide et l'intensité du champ magnétique sur la réponse à un choc. L'objectif expérimental sera de comparer des conditions de fonctionnement à l'aide de grandeurs mesurables, par exemple la hauteur de rebond et l'énergie mécanique dissipée, afin de rechercher un compromis entre efficacité d'amortissement, adaptabilité et consommation énergétique. 1

Problématique retenue

Comment les paramètres d'un fluide magnétorhéologique et l'intensité du champ magnétique influencent-ils l'absorption d'un choc, et comment optimiser le compromis entre efficacité mécanique, adaptabilité et consommation énergétique ? 0

Objectifs du TIPE

Comprendre le comportement rhéologique d'un fluide magnétorhéologique et le mécanisme de modification de ses propriétés sous champ magnétique. Élaborer et caractériser un pseudo-

fluide magnétorhéologique. Concevoir un banc expérimental permettant d'étudier son comportement lors d'un choc. Étudier l'influence de paramètres de formulation, notamment la concentration et la viscosité du fluide porteur, ainsi que de l'intensité du champ magnétique. Comparer les performances obtenues à partir de grandeurs mesurables, notamment l'énergie dissipée et la hauteur de rebond, afin d'identifier les conditions permettant une absorption efficace et adaptable. 1

Liste de références bibliographiques

[1] de Vicente, J., Klingenberg, D. J., Hidalgo-Alvarez, R. *Magnetorheological fluids: a review*. Soft Matter, vol. 7, 2011, p. 3701–3710. DOI : https://doi.org/10.1039/C0SM01221A.

[2] Ashtiani, M., Hashemabadi, S. H., Ghaffari, A. *A review on the magnetorheological fluid preparation and stabilization*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 374, 2015, p. 716–730. DOI : https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.09.020.

[3] Kumar, J. S., Paul, P. S., Raghunathan, G., et al. *A review of challenges and solutions in the preparation and use of magnetorheological fluids*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering, vol. 14, article 13, 2019. DOI : https://doi.org/10.1186/s40712-019-0109-2.

[4] Genç, S. *Synthesis and Properties of Magnetorheological (MR) Fluids*. Thèse de doctorat, University of Pittsburgh, soutenue en 2002, déposée en 2003. https://d-scholarship.pitt.edu/8924/.

[5] Pei, P., Peng, Y., et al. *Constitutive modeling of magnetorheological fluids: A review*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 550, article 169076, 2022. DOI : https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169076.

[6] Milecki, A., Hauke, M. *Application of magnetorheological fluid in industrial shock absorbers*. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 28, 2012, p. 528–541. DOI : https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2011.11.008.

[7] Sun, M., Li, X., Zhou, Z., et al. *Analysis of Damping Characteristics of Magnetorheological Damper under Impact Load*. Materials, vol. 15, no. 12, article 4161, 2022. DOI : https://doi.org/10.3390/ma15124161.

[8] Wang, C., Zhang, J., Liu, G., Shang, H., Wei, X. *Design and Performance Analysis of a Double-Outlet-Rod Magnetorheological Damper for Impact Load*. Machines, vol. 10, no. 11, article 1099, 2022. DOI : Design and Performance Analysis of a Double-Outlet-Rod Magnetorheological Damper for Impact Load. 2

DOT

A compléter

Note = 4/10