

Freinage magnétique

J'ai choisi ce thème parce que je suis fasciné par les phénomènes magnétiques (train Maglev, supraconducteurs, lévitation). Ce TIPE est pour moi un moyen de mieux comprendre leur fonctionnement ainsi que d'étudier une application utile de ces phénomènes.

L'OMS estime qu'en 2018, les particules fines sont responsables de 7 millions de morts. Les freins à plaquettes produisent plus de particules que les moteurs et s'usent rapidement. Les freins magnétiques apparaissent donc comme une alternative à cet enjeu sanitaire et environnemental et posent un défi de sécurité.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Courants de Foucault</i>	<i>Eddy currents</i>
<i>induction</i>	<i>induction</i>
<i>électromagnétisme</i>	<i>electromagnetism</i>
<i>épaisseur de peau</i>	<i>skin effect</i>
<i>mécanique</i>	<i>mecanic</i>

Bibliographie commentée

Au début du 19ème siècle, François Arago découvre que la plupart des corps peuvent être magnétisés et développe le magnétisme rotatoire. Lenz énonce parallèlement sa loi de modération et Faraday construit les bases du magnétisme et de l'induction. Léon Foucault s'intéresse en premier aux courants qui plus tard porteront son nom: les courants de Foucault (Eddy currents en anglais). Ils existent dans tous les matériaux conducteurs sujets à des champs magnétiques variables. Ils tendent à s'opposer au flux qui leur a donné naissance. Il en résulte des pertes par effet Joule et un échauffement. Ces courants sont à la fois utiles dans le cadre des freins et des sondes non destructives mais aussi néfastes par leurs pertes et réactions s'opposant au courant dans les transformateurs ou machines électriques tournantes. En 1903, Steckel, un ingénieur américain publie le premier brevet [1] pour freinage magnétique qui s'applique à des objets du quotidien. Jusqu'aux années 1940 peu de progrès sont réalisés. En 1942, W R Smythe publie un article [2] suite aux demandes de l'industrie, et théorise en premier le freinage d'un disque dans l'entrefer d'un aimant. Il y présente un calcul complexe du champ et de la puissance dissipée par effet Joule. Un calcul similaire et une vérification théorique seront publiés en 1987 dans l'American Journal of Physics [3]. Le chapitre 6 de Classical Electrodynamics [4] de John David Jackson datant de 1962 englobe les connaissances nécessaires en électromagnétisme pour le problème. Richard L. Stoll dans The Analysis of eddy currents [5] publie en 1974 une étude générale des phénomènes liés aux courants de Foucault. Beaucoup de paramètres influent sur la performance du freinage: type de métal, épaisseur de peau, champs magnétiques, distance entre l'électroaimant. En 2004, une

publication dans le European Journal of Physics [6] trouve une non concordance entre la pratique et la théorie sous hypothèse de milieux linéaires (vecteur excitation H proportionnel à l'aimantation M) pour certains matériaux à l'exception du cuivre et de l'aluminium qui sont en accord. L'article américain de 1993 du American Journal of Physics [7] décrivant la mesure et les phénomènes liés et l'étude approfondie par André Deiber et Laurent Markiewicz dans le Bup de Mars 2000 [8] permettent une meilleure compréhension à la fois qualitative et théorique du freinage magnétique sur la chute d'un aimant.

Problématique retenue

Quels sont les phénomènes responsables du freinage magnétique et dans quelle mesure sont-ils adaptables aux voitures ?

Objectifs du TIPE

D'abord je vais étudier l'expérience de chute d'un aimant dans une tige métallique pour m'approprier le phénomène de freinage magnétique. Je chercherai à :

- Analyser les paramètres qui influent sur la chute, en particulier la nature de la tige conductrice
- Proposer un modèle théorique qui s'appuie sur les documents bibliographiques cités
- Valider le modèle avec l'expérience

Ensuite je vais étudier l'application au freinage d'un disque par un électroaimant avec pour objectifs:

- Étudier l'influence de la vitesse de rotation initiale et de l'intensité du champ magnétique sur le freinage
- Conclure quant à la pertinence de ce type de freinage adapté aux voitures

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ABRAM P. STECKEL : Brevet : ELECTRICAL CLUTCH AND BRAKE MECHANISM : <https://patentimages.storage.googleapis.com/4f/c8/6a/1fa8819a2370b8/US744423.pdf>
- [2] W. R. SMYTHE : On Eddy Currents in a Rotating Disk : *Electrical Engineering (Volume: 61, Issue: 9, Sept. 1942)* <https://doi.org/10.1109/EE.1942.6436528>
- [3] D. WIEDERICK, N. GAUTHIER, D A. CAMPBELL, P. ROCHON : Magnetic braking: Simple theory and experiment : *American Journal of Physics (June 1987)* <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1119%2F1.15103>
- [4] RICHARD L. STOLL : The Analysis of eddy currents : 0-19-859311-2 (rel.)
- [5] JOHN DAVID JACKSON : Classical Electrodynamics : (chapitre 6) 0-471-30932-X
- [6] MANUEL I GONZALEZ : Experiments with eddy currents: the eddy current brake : *Eur. J. Phys. 25 (2004) 463-468*
- [7] C S. MACLATCHY, P BACKMAN, L BOGAN : A quantitative magnetic braking experiment : *American Journal of Physics (61, 1096 (1993)) DOI: 10.1119/1.17356*
- [8] A DEIBER, L MARKIEWICZ, O KEMPF, F PAVIET, GRESEP : Phénomène d'induction associé au

mouvement d'un aimant dans un tube de cuivre : *Bull. Un. Phys., mars 2000, vol. 94, n° 822 (1), p. 487-509*

DOT

- [1] *Octobre 2020: Premières chutes d'aimants. Bobine de détections de laboratoire de Physique. Acquisition à l'oscilloscope. Signal très faible.*
- [2] *Vacances Toussaint : Approfondissement bibliographique. Achat aimant en néodyme. Problème de la qualité du signal.*
- [3] *Novembre : Fabrication bobines personnelles. Choix tiges. Découverte de l'acquisition avec Latis Pro, signal enfin propre.*
- [4] *Décembre : Manipulation expériences partie 1 et début d'analyse.*
- [5] *Janvier : Conception de l'expérience de la partie 2. Problème de la fixation de l'axe. Solution des roulements à billes.*
- [6] *Février : Réflexion sur la propulsion de l'axe et la mesure de la vitesse de rotation. Choix moteur à vitesse de rotation variable avec transmission magnétique et tachymètre pour la mesure de la vitesse.*
- [7] *Mars : Manipulation expériences partie 2*
- [8] *Mai/Juin : Analyse résultats, confrontation au modèle, calculs d'incertitudes et production des supports de présentation.*