

1 Positionnement thématique

Physique ondulatoire (Électromagnétisme), **Informatique Pratique** (Modélisation Informatique), **Physique des matériaux** (Paramagnétisme)

2 Mots clés

Français	Anglais
— Débris spatiaux	— Space debris
— Induction magnétique	— Magnetic induction
— Solénoïde fini	— Finite Solenoide
— Paramagnétisme	— Paramagnetism
— Modélisation informatique	— Computational modeling

3 Modélisation magnétique pour le retrait de débris spatiaux

La neutralisation des débris spatiaux en orbite autour de la Terre représente un enjeu majeur pour les futures missions spatiales prévues dans les prochaines années notamment par la Nasa et SpaceX. Des solutions se reposant sur le retrait par aimantation des débris peuvent être envisagées.

Nous proposons donc un modèle dans lequel un débris spatial pourrait être assimilé à un dipôle magnétique et pourrait être capté par un aimant modélisé par un solénoïde fini. Il s'agit donc d'évaluer la puissance du champ magnétique généré par un solénoïde fini et son efficacité sur un matériaux de type paramagnétique.

4 Bibliographie commune

Depuis la toute première mission spatiale de 1957, force est de constater qu'à chaque mise en orbite de satellites ou envoi de fusées, de multiples pièces et sections d'objets sont abandonnées pendant la lancée et se retrouvent en orbite non contrôlée. Plus de 500 000 débris spatiaux seraient enregistrés par la Nasa et à peu près autant seraient non détectables de par leur taille. Leurs vitesses de l'ordre de la dizaine de kilomètres par seconde en font un danger premier pour tous les objets en orbites dont nous faisons l'utilisation quotidienne comme les satellites permettant la localisation GPS, les télécommunications et les prévisions météorologiques. [1]

Des accidents comme la collision enregistrée en Février 2009 entre les deux satellites Iridium 33 et Cosmos 2251 [2] font le parfait exemple de l'enjeu d'une meilleure gestion des débris spatiaux. Cette collision qui a détruit un satellite parfaitement fonctionnel avec l'impact à un satellite hors service a notamment provoqué la production de près de deux milliers de nouveaux débris.

Quelques solutions [3] pour gérer les déchets spatiaux ont déjà été envisagées; d'une part, il s'agirait de les désorbiter. On identifie alors deux types de technologies : celles se basant sur une pratique d'interception de l'objet et celles reposant sur une poussée de l'objet hors de son orbite, notamment par exemple vers l'océan.

D'autre part, il s'agirait également de pouvoir prévenir une surproduction de déchets spatiaux ou du moins, de pouvoir contrôler cette production et de rendre la gestion des débris plus facile pour les générations à venir. Dans cette perspective, la compagnie Astroscale a débuté un premier test sur un système de docking en Mars 2021 [4] consistant à récupérer un satellite mis en orbite, comportant une plaque magnétique qui permettrait de l'intercepter. Cependant, cette solution ne permettrait pas de traiter les déchets déjà présents en orbite terrestre.

Ainsi, puisqu'à peu près tous les objets spatiaux en orbite sont composés d'alliages métalliques, il est possible d'imaginer un modèle reposant sur l'interception des débris spatiaux par aimantation de ces derniers. Les métaux sont en effet des matériaux paramagnétiques, auxquels on peut induire des propriétés d'aimantations sous l'effet d'un champ magnétique assez puissant [5]. Si à l'échelle macroscopique, la résultante des moments dipolaires élémentaires est un moment dipolaire global nul par la désorganisation des orientations des petits moments, au contact d'un champ magnétique extérieur, les moments élémentaires s'alignent avec les lignes du champ exciteur et forment un moment dipolaire macroscopique non nul. On peut alors espérer attirer des matériaux dès lors que leurs propriétés microscopiques permettent d'induire un moment dipolaire à l'échelle macroscopique.

Il s'agit donc d'évaluer l'aimantation que l'on peut induire dans un matériau qui n'en aurait à priori pas spontanément par l'étude du phénomène du paramagnétisme.

Il faut alors également imaginer un moyen de produire un champ magnétique extérieur assez puissant pour induire une telle aimantation. Un des outils les plus répandus à cet effet est le solénoïde fini traversé par un courant de plus ou moins grande intensité [6]. Il faut alors étudier les équations qui régissent le champ induit par un tel dispositif en prenant en compte les effets de bord habituellement négligés dans des approches simplifiées comme celle du solénoïde infini.

En modélisant numériquement ces équations du champ magnétique, il est possible d'évaluer la puissance des lignes de champs et leur portée pour diverses tailles de solénoïde et ordres de grandeur de courant utilisés.

5 Problématique retenue

Peut-on induire une aimantation à un déchet spatial pour l'intercepter ? Comment induire une aimantation à un matériau paramagnétique à l'aide d'un solénoïde fini ?

6 Objectifs du TIPE du candidat

Modéliser l'aimantation d'un matériau paramagnétique induite par un champ magnétique extérieur

Modéliser le champ magnétique d'un solénoïde fini

Prévoir la trajectoire d'un matériau paramagnétique dans les lignes de champ magnétique induit par un solénoïde fini

7 Références bibliographiques

Références

- [1] Kurzgesagt, *End of Space - Creating a Prison for Humanity* : <https://www.youtube.com/watch?v=yS1ibDIImAYU>
- [2] Nasa, *The Collision of Iridium 33 and Cosmos 2251 : The Shape of Things to Come* : <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20100002023/downloads/20100002023.pdf>
- [3] K. Wormnes, R. Le Letty, L. Summerer, R. Schonenborg, O. Dubois-Matra, E. Luraschi, A. Cropp, H. Krag, and J. Delaval, *ESA technologies for space debris remediation* : <https://www.esa.int/gsp/ACT/doc/MAD/pub/ACT-RPR-MAD-2013-04-KW-CleanSpace-ADR.pdf>
- [4] Elsa-D, Astroscale, <https://astroscale.com/elsa-d/>
- [5] Cours sur les matériaux magnétiques, *Les Matériaux Magnétiques* : <https://dossier.univ-st-etienne.fr/destoucn/www/Enseignements/CMmagn%C3%A9tismeND.pdf>
- [6] Edmund E. Callaghan and Stephen H. Maslen, *The Magnetic Field of a Finite Solenoid* : <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19980227402/downloads/19980227402.pdf>