

Quelques problèmes d'optimisation sur les bobines de stellarators

Rémi ROBIN, Laboratoire Jacques-Louis Lions - Paris

Francesco VOLPE, Renaissance Fusion - Grenoble

Sigalotti MARIO, Inria - Paris

Privat YANNICK, IRMA - Strasbourg

Les stellarators sont un type de réacteur à confinement magnétique pour la fusion nucléaire. Les tokamaks qui sont des dispositifs relativement proches sont axisymétriques, ce qui impose l'induction d'un courant au sein du plasma pour garantir le confinement. Les stellarators, bien que de forme toroidale, ne sont pas axisymétriques et permettent ainsi d'assurer le confinement magnétique du plasma uniquement grâce aux bobines extérieures ([1]).

L'utilisation de bobines hautement complexes et non planaires permet une stabilité accrue en régime permanent. Les stellarators n'ayant pas les propriétés de symétries des Tokamaks, ils présentent de nombreux problèmes d'optimisation intéressants. La conception d'un stellarator est typiquement le fruit de deux optimisations successives. Dans un premier temps il s'agit de trouver un champ magnétique qui possède de bonnes propriétés de confinement, puis dans un second temps de réaliser ce champ à l'aide de bobines supraconductrices.

Nous nous intéresserons seulement à cette deuxième étape. Nous avons donc un champ magnétique cible qu'il convient de réaliser à l'aide de bobines en intégrant des contraintes d'ingénierie. Il est commun de résoudre ce problème en introduisant une Coil Winding Surface (CWS) qui modélise une surface toroidale imaginaire sur laquelle seront disposées les bobines. Il convient alors de minimiser sur cette surface les champs à divergence nulle modélisant des distributions surfacique de courant électrique (cf [3]).

Ce problème inverse (déterminer la distribution surfacique de courant sur la CWS connaissant le champ magnétique à générer à l'intérieur du plasma) bien que résolu par des méthodes classiques (cf [2]) présente de nombreuses variations intéressantes.

Nous introduirons dans un premier temps les forces de Laplace sur cette surface afin de les prendre en compte dans la minimisation multi-objective. La réduction de ces forces est un enjeu important pour la compactification (et donc réduction des coûts) des dispositifs. Un rayon principal plus faible appelant des champs plus forts pour maintenir le confinement et donc des courants plus élevés. Tout cela implique un accroissement quadratique des forces de Laplace. Cependant la discontinuité magnétique autour d'un courant de surface rend la définition de ces forces non triviale. Nous donnerons une définition naturelle que nous justifierons rigoureusement avant de présenter quelques simulations numériques. Ces travaux sont disponibles en préprint [4]. Dans un second temps nous nous intéresserons au problème d'optimisation de la forme de la CWS.

- [1] P. Helander. *Theory of plasma confinement in non-axisymmetric magnetic fields*. Reports on progress in physics. Physical Society, 2014. doi :10.1088/0034-4885/77/8/087001.
- [2] M. Landreman. *An improved current potential method for fast computation of stellarator coil shapes*. Nuclear Fusion, **57(4)**, 046003, 2017. doi :10.1088/1741-4326/aa57d4.
- [3] P. Merkel. *Solution of stellarator boundary value problems with external currents*. Nuclear Fusion, **27(5)**, 867–871, 1987. doi :10.1088/0029-5515/27/5/018. Publisher : IOP Publishing.
- [4] R. Robin, F. Volpe. *Minimization of magnetic forces on stellarator coils*, 2021.