

Étude et modélisation d'un accélérateur Magnétohydrodynamique (MHD)

La Magnétohydrodynamique (MHD) qui m'était jusqu'à peu encore inconnue m'a interpellé par son fonctionnement et sa versatilité. Elle présente en effet la particularité de lier mécanique des fluides, électromagnétisme et électrochimie. De plus, elle se distingue parmi les technologies encore à exploiter et aux nombreuses applications prometteuses.

Les alternatives aux énergies fossiles représentent un domaine de recherche primordial afin de réduire nos émissions. De la propulsion aux circuits de refroidissement, les propriétés de cette technologie ne nécessitant ni pétrole, ni partie mobile, possèdent donc des intérêts conséquents dans les domaines relevant des enjeux sociétaux actuels.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- DUBAIL Simon

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), CHIMIE (Chimie Théorique - Générale).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>A c c é l é r a t e u r</i>	<i>Magnetohydrodynamic</i>
<i>Magnétohydrodynamique</i>	<i>accelerator</i>
<i>Ecoulement</i>	<i>Flow</i>
<i>Champ magnétique</i>	<i>Magnetic Field</i>
<i>Simulation informatique</i>	<i>Computer simulation</i>
<i>Electrochimie</i>	<i>Electrochemistry</i>

Bibliographie commentée

Depuis les années 1960, la MHD fait l'objet de nombreuses études et expérimentations, visant à mieux comprendre son fonctionnement et à optimiser différents types d'accélérateurs MHD aux applications industrielles variées.

Le principe physique de la MHD se fonde sur l'action d'un champ électrique et magnétique dans un fluide ionique, dont résulte une force de Laplace appliquée au dit fluide[1]. De fait, le champ électrique met en mouvement de sens opposés les charges positives et négatives du fluide, induisant une densité de courant, sans déplacement global du fluide. Ces charges sont ensuite déviées dans la même direction et sens par le champ magnétique. La force de Laplace résultant alors du produit de la densité de courant et du champ magnétique engendre une dépression à l'entrée de l'accélérateur

qui permet la mise en mouvement du fluide[2][3]. L'étude de la MHD fait donc intervenir les principes d'électromagnétisme et de mécanique des fluides[4][5].

Dans le cadre de la MHD en eau de mer, le couplage électromagnétique est faible : seul le champ magnétique diffusé par les aimants utilisés est considéré, celui induit par les charges en mouvement dans le fluide étant négligeable du fait de la faible conductivité de l'eau, tandis que les courants induits et imposés sont du même ordre, leur rapport étant traduit par le facteur de charge[6].

Les géométries des accélérateurs MHD sont diverses, selon l'application industrielle envisagée pour ce mode de propulsion de fluide. Ils se présentent souvent sous la forme d'une tuyère à écoulement interne[4][7], bien que d'autres alternatives à écoulement externe soient envisageables[1]. Dans l'optique d'une propulsion marine, la poussée imposée au fluide, par exemple dans une tuyère, permet de propulser un bateau ou sous-marin par conservation de la quantité de mouvement. De fait, un bateau japonais à propulsion MHD est né dans les années 90, le Yamato 1 [8], et bien que le rendement de tels propulseurs reste faible, l'existence de ce bateau illustre les possibilités offertes par la MHD. Elle est en effet déjà employée dans le domaine spatial, l'éjection de plasma à très grande vitesse permettant également la propulsion.

Cependant la propulsion n'est pas son seul domaine d'application : elle permet notamment de pomper des fluides ioniques sans s'encombrer de parties mécaniques[3], ce qui présente une dimension sécuritaire très avantageuse pour l'entraînement de métaux liquides comme dans les systèmes de refroidissement de centrale nucléaire, ou encore dans le domaine biomédical pour la manipulation de fluides dans des dispositifs microscopiques.

Néanmoins, les accélérateurs MHD restent à ce jour peu utilisés dans le domaine de la propulsion maritime du fait de leur faible rendement, pourtant primordial si l'on envisage des applications industrielles.

La MHD présente en effet une perte par effet Joule non négligeable[6], ainsi que des contraintes physico-chimiques liées à la corrosion des électrodes utilisées, par électrolyse avec l'eau salée. Il est donc nécessaire de déterminer les différents paramètres influents sur l'efficacité d'un dispositif MHD dans le but de trouver un point de fonctionnement où le rendement est optimal. Le rendement dépend majoritairement du facteur de charge[6][3], ainsi la géométrie de la tuyère, le volume de fluide mis en mouvement, l'amplitude des champs électrique et magnétique, ou encore la conductivité du fluide sont autant de paramètres à exploiter pour déterminer un modèle d'accélérateur MHD avec un rendement suffisant pour être viable[3][7].

La recherche s'appuie notamment sur l'utilisation d'aimants supraconducteurs[9], pouvant atteindre jusqu'à 10 Tesla, pour lesquels les rendements théoriques s'élèvent de 50 à 80 % en eau de mer, tandis qu'à une vitesse de 15km/h, celui du Yamato est de 10% [6][8]. Certaines études s'accordent également à privilégier les rendements en faibles gammes de vitesses[4] pour de grands volumes de fluides déplacés[3] par écoulement interne[6].

Ainsi, l'élaboration d'un modèle d'accélérateur MHD en eau de mer, dans l'optique d'en étudier le débit, permettra d'illustrer la viabilité d'une telle technologie en comparaison aux solutions actuellement retenues.

Problématique retenue

Pour l'étude d'un accélérateur magnétohydrodynamique (MHD) dans un circuit fermé on retiendra la problématique suivante : Comment modéliser le fonctionnement d'un accélérateur MHD en eau salée? Quels sont les paramètres influant sur le débit dans un tel dispositif ?

Objectifs du TIPE

- Construire et faire fonctionner un accélérateur magnétohydrodynamique dans un circuit fermé et mesurer la vitesse en surface de l'écoulement

- Mettre en place une modélisation numérique de la tuyère MHD s'appuyant sur une étude électrochimique expérimentale et les mesures de la perte de charge du circuit et de la viscosité du fluide

- Déterminer l'influence des différents paramètres (conductivité du fluide, matériaux des électrodes, tension aux bornes des électrodes, dimension de la tuyère et disposition des aimants) sur le débit de notre dispositif

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] J.P.PETIT : Le mur du silence : 1992, [http://www.savoir-sans-](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/le_mur_du_silence.pdf)

[frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/le_mur_du_silence.pdf](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/le_mur_du_silence.pdf)

[2] L.P.AOKI, M.G.MAUNSELL, H.E.SCHULZ : A magnetohydrodynamic study of behavior in an electrolyte fluid using numerical and experimental solutions : 2012, DOI : 10.5380/reterm.v11i1-2.62001

[3] O.M. AL-HABAHBEH, M. AL-SAQQA, M. SAFI, T. ABO KHATER : Review of magnetohydrodynamic pump applications : 2016, DOI : 10.1016/j.aej.2016.03.001

[4] J.P.THIBAUT : Propulsion MagnetoHydroDynamique (MHD) en eau de mer : Octobre 2018, *La Revue 3EI n°94*

[5] C.TROPHIME : Modelisation numerique du couplage MagnetoHydroDynamique (M.H.D.) fort - Application a la propulsion M.H.D. navale : 1995, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01340645/>

[6] P.BOISSONNEAU : Magnetohydrodynamics propulsion: a global approach of an inner DC thruster : 1999, DOI : 10.1016/s0196-8904(99)00072-2

[7] D.CEBRON, S.VIROULET, J.VIDAL, J.P.MASSON, P.VRIOULET : Experimental and theoretical study of magnetohydrodynamic ship models : 2017, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0178599>

[8] Y.SASAKAWA, S.TAKEZAWA, Y.SUGAWARA, Y.KYOTANI : The superconducting MHD-propelled ship Yamato-1 : 1995, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19960000249.pdf>

[9] D.L.MITCHELL, D.U.GUBSER : Magnetohydrodynamic Ship Propulsion with Superconducting

DOT

[1] *Janvier 2020 à Mars 2020 : Choix du sujet et recherches sur celui-ci*

[2] *Avril 2020 à Juillet 2020 : Poursuite des recherches et élaborations d'un premier protocole expérimental*

[3] *Septembre 2020 à Décembre 2020 : Mise en place du dispositif expérimental, réalisation des premières mesures et d'un premier modèle numérique*

[4] *Janvier 2021 à Mars 2021 : Réalisation d'expériences supplémentaires afin de corriger notre modèle numérique : étude électrochimique, mesure des pertes de charge et de la viscosité*

[5] *Mars 2021 à Mai 2021 : Exploitation des résultats expérimentaux et du modèle numérique pour étudier l'influence de différents paramètres sur le fonctionnement de notre accélérateur magnétohydrodynamique*