

Instabilité de Taylor et convection thermique dans les batteries à métaux liquides

J. Commenge^{1,2}, W. Herreman¹, C. Nore¹, J.-L. Guermond²

¹LIMSI-CNRS – Université Paris-Sud, ²Department of Mathematics – Texas A&M

Contact : LIMSI-CNRS, Campus Universitaire bât 508, rue John von Neumann, 91405 Orsay cedex / julien.commenge@limsi.fr / Département MEP

Batteries à métaux liquides

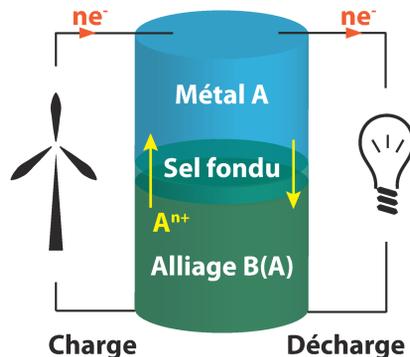
Introduction

Avec le déploiement massif des sources d'énergies renouvelables, il devient indispensable de trouver un moyen peu coûteux et à grande échelle de stocker de l'électricité. Les batteries à métaux liquides suscitent de plus en plus d'intérêts. Une startup, Ambri, fondée par D. Sadoway (MIT) développe ces batteries (investisseurs: B. Gates, Total, ...).

► **Batterie à métaux liquides** 3 fluides conducteurs de densités différentes et superposés. Quelques mètres de haut et de large et entre 300°C et 700°C

► **Fonctionnement** réactions rédox réversibles aux interfaces des fluides

► **Matériaux candidats** Mg||Sb, Na||Bi, Li||Sb-Pb, abondants et peu coûteux

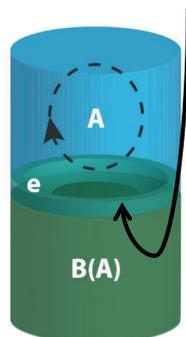


Notre étude

Initialement au repos, des écoulements peuvent se développer spontanément dans la batterie, suite à des instabilités magnétohydrodynamiques. Celles-ci mettent en mouvement les interfaces et peuvent provoquer un court-circuit si l'électrolyte se retrouve pincé.

► **Instabilité de Taylor** lorsque le courant électrique traversant la batterie est trop important^a

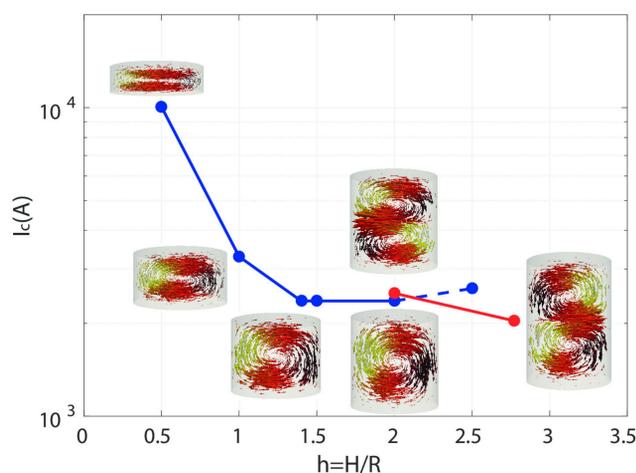
► **Convection thermique** due au chauffage du fluide par les pertes ohmiques dans l'électrolyte



Le métal liquide en zone A semble la partie la plus sensible aux instabilités. Nous considérons alors un cylindre monophasique chauffé uniformément par le bas et traversé par un courant électrique. A l'aide de modélisations théoriques et de simulations numériques avec le code SFEMaNS (collab. LIMSI et Texas A&M), nous étudions l'instabilité de Taylor, la convection thermique et le couplage des deux.

Instabilité de Taylor^a

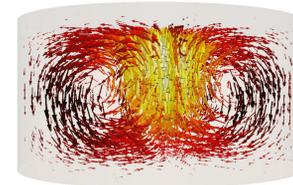
Au-delà d'un courant électrique critique, des vortex successivement contrarotatifs apparaissent. Suivant la taille de l'enceinte, plus précisément suivant le rapport de forme h défini comme le rapport entre la hauteur H et le rayon R du cylindre, le nombre de vortex diffère.



Cas d'une batterie au magnésium liquide

Convection thermique

Au-delà d'un chauffage critique par le bas, un écoulement se met en place dans le cylindre. Il y a divers topologies : ça peut aller du simple tore (figure ci-après) jusqu'à des profils plus compliqués. Aussi, la topologie radiale peut varier. Tout ceci dépend également du rapport de forme du cylindre.



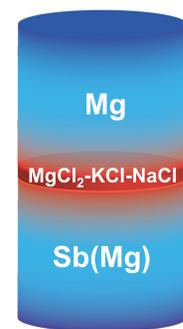
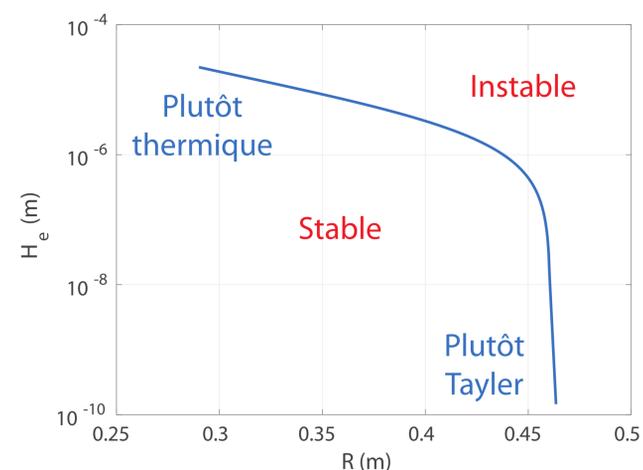
Couplage des 2 instabilités

La principale source de chaleur venant de l'électrolyte^b, la thermique sera stabilisante dans l'alliage et non stabilisante dans le métal. Pour étudier le couplage des 2 instabilités, considérons une batterie basée sur du magnésium liquide.

► **Température de fonctionnement^c** 700°C

► **Dimensions^b** $H_{tot} = 0,45$ m, R variable

► **Courant électrique^c** $J_0 = 3$ kA/m²



En pratique, $H_e \sim 1-5$ mm, donc toujours instable dans le graphe ci-dessus.

Conclusion & Perspectives

Pour une épaisseur d'électrolyte infiniment faible, la batterie à métaux liquides n'est sensible qu'aux effets MHD. Plus la batterie sera plate, moins elle sera sensible à l'instabilité de Taylor. Lorsque l'épaisseur de l'électrolyte augmente, les effets thermiques sont quasiment inévitables.

Nous prévoyons de faire des simulations numériques du système multiphasique dans son entier et nous étudions l'importance d'une autre instabilité de type "metal pad roll" qui provoque des ondes de gravité sur les interfaces.

Ces travaux ont bénéficié d'un accès aux moyens de calcul de l'IDRIS au travers de l'allocation de ressources 90254 attribuée par GENCI.

Références

^a W. Herreman, C. Nore, L. Cappanera, J.-L. Guermond, **Taylor Instability in liquid metal columns and liquid metal batteries**, *JFM* 771, 79-114, 2015

^b Y. Shen, O. Zikanov, **Thermal convection in a liquid metal battery**, *Theor. Comput. Fluid Dyn.* 30 (4), 275-294, 2016

^c D. J. Bradwell, H. Kim, A. HC Sirk & D. Sadoway, **Magnesium-antimony liquid metal battery for stationary energy storage**, *Journal of the American Chemical Society* 134 (4), 1895-1897, 2012.