

Solution périodique exacte d'une dynamo non-linéaire pour un écoulement Keplerien

J. Herault¹ & F. Rincon²

¹ Laboratoire de physique statistique ENS Paris

² Laboratoire d'astrophysique Toulouse-Tarbes

jherault@lps.ens.fr

La génération de structures cohérentes magnétiques dans les écoulements de fluides conducteurs d'électricité est depuis longtemps une problématique fondamentale en magnétohydrodynamique, qui a été la plupart du temps étudiée en terme d'analyse linéaire en champ moyen (Moffat 1977). L'analyse des processus dynamo via l'étude de structures cohérentes est une voie prometteuse (Rincon 2007) pour l'étude des écoulements cisailés et alternative aux méthodes d'analyse en champ moyen. Le problème de la dynamo-magnétorotationnelle (MRI Balbus 1998) pour un écoulement Keplerien offre un cadre particulièrement intéressant pour démontrer la pertinence de la description en terme de structures cohérentes.

Dans ce résumé, nous exposons la découverte numérique de la première solution cyclique exacte d'une dynamo 3D non-linéaire à nombre de Reynolds cinétique et magnétique modérés pour un écoulement Keplerien. Nous avons utilisé une approche numérique type "shearing box" pour les écoulements en rotation différentielle.

Les précédents travaux ont montré que deux modes étaient nécessaires à la dynamo (Rincon 2008) : un champ magnétique grande échelle support de la MRI ainsi que des ondes de cisaillement entretenant le champ magnétique grande échelle. Nous démontrons que l'ajout d'un nouveau mode médiateur axisymétrique régénérant les ondes de cisaillement, permet et suffit à l'auto-entretien de la dynamo.

Afin de restreindre la dynamique turbulente du système, nous avons initié et forcé numériquement le système à évoluer dans une sous-symétrie introduite dans un article de Nagata (1986). Nous avons alors convergé vers un cycle limite en modifiant le rapport de forme du volume de simulation afin de permettre l'accrochage entre la fréquence de cisaillement des ondes et la fréquence du champ magnétique grande échelle. Finalement, un solveur Newton-Krylov nous a assuré la convergence précise vers un cycle limite.

L'identification du cycle nous a permis de comprendre l'interaction des trois modes physiques cités précédemment et donc de décrire précisément un processus dynamo en terme de structure non-linéaire cohérente. Le cycle est caractérisé par une hélicité moyenne quasiment nulle et une relation non-linéaire entre la force électromotrice et le champ magnétique grande échelle. Ces deux points montrent que le formalisme en terme de dynamo α est complètement inapproprié pour ce type de dynamo. De plus, ce cycle montre des propriétés de transport de moment cinétique comparables aux valeurs obtenues avec des simulations de configurations similaires (Fromang 2008), résultats prometteur pour le problème du transport dans les disques d'accrétion.

Références

- Moffat H. K. , *Magnetic field generation in electrically conducting fluids* (1977)
Rincon, F. and Ogilvie, G. I. and Proctor, M. R. E., *Physical Review Letters*, (2007)
Balbus, S. A. and Hawley J. F. , *Rev. Mod. Phys.*, (1998)
Rincon, F. and al. , *Astronomische Nachrichten*, (2008)
Nagata, M., *Journal of Fluid Mechanics*, (1986)
Fromang, S. and Papaloizou, J. and Lesur, G. and Heinemann, T. , *A & A*, (2008)