
Écoulement dans une très grande coquille sphérique

Juan Cruz Gonzalez Sembla*¹ and Laurette Tuckerman¹

¹Physique et mécanique des milieux hétérogènes – Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris Cité – France

Résumé

Les sphères et les coquilles sphériques sont les domaines naturels de la géophysique et de l'astrophysique, mais les simulations dans ces domaines sont plus complexes et coûteuses en temps de calcul que celles effectuées dans des domaines cartésiens plans. Nous avons formulé un système d'équations et un code numérique destinés à l'étude des écoulements dans des coquilles sphériques de grand rayon. Notre approche incorpore la topologie sphérique mais néglige la faible courbure et utilise une résolution radiale réduite afin de couvrir une très grande surface sphérique de façon économique.

Pour l'écoulement de Couette plan, des telles simulations ont réussi à reproduire les motifs laminaires-turbulents en bandes, y compris leurs longueurs d'onde et leurs angles. De tels motifs seraient aussi présents entre deux sphères, puisqu'ils sont observés entre deux cylindres (ressemblant à l'équateur) et aussi entre deux disques (ressemblant aux pôles) lorsque les dimensions horizontales sont très grandes par rapport à l'épaisseur. Entre deux sphères en contra-rotation exacte et dont le rayon moyen est 50 fois l'entrefer, nous avons observé une séquence d'écoulements très riche, allant de tourbillons axisymétriques aux ondes et enfin à la turbulence, en utilisant l'approche décrite ci-dessous :

a) Nous conservons la topologie sphérique en représentant tous les champs par des développements en harmoniques sphériques, avec l'aide de la bibliothèque SHTns. Une économie supplémentaire peut être réalisée en n'étudiant qu'un secteur de la sphère, comme le permet SHTns. Ceci exclut les variations de grande échelle en longitude, tout en conservant les variations plus fondamentales en latitude.

b) Nous adoptons l'approximation de faible épaisseur radiale ("narrow-gap approximation"), qui consiste à négliger les termes dus à la courbure.

c) Sur les sphères, nous imposons des conditions aux limites de glissement libre, plus réaliste que des conditions rigides dans des situations telles que les atmosphères. Ces conditions n'engendrent pas de couches limites, réduisant la résolution requise non seulement dans la direction radiale, mais aussi angulaire puisque les structures hydrodynamiques ont généralement des dimensions comparables dans toutes les directions. En revanche, le manque de cisaillement aux bords exige l'ajout d'une force motrice azimutale pour produire la rotation.

d) Grâce à (b) et (c), nous pouvons représenter la dépendance radiale à l'aide de développements trigonométriques. Finalement nous utilisons une troncature radiale drastique.

*Intervenant