

Local Energy Transfer in Geophysical Fluids and Space Plasmas

Keywords: *turbulence, waves, stratification, intermittency, geophysical flows, space plasmas, space-filtering*

Turbulence in geophysical fluids and space plasmas compete with internal waves in transferring the energy across scales. Evidences point to the possibility that an upscale energy transfer, resembling the case of two-dimensional turbulent flows, may develop in the atmosphere and in the oceans, under the effect of rotation, perhaps helped by the large aspect ratio of the domain. Indeed, bi-directional energy transfers (to large and small scales) have been observed in different natural contexts, in the oceans, for instance, but also in kinetic plasmas, in which magnetic fields support the propagation of waves, and magnetic reconnection contributes to make the dynamics of these flows even richer. In these frameworks, characterized by strong inhomogeneity and anisotropy, standard analysis tools can only provide partial information on how energy is distributed over the various scales. In order to achieve a more exhaustive characterization of the energy transfer, in this thesis we employed the so-called space-filtering (SF) technique to investigate the energetics of stratified turbulent flows of geophysical interest, and of plasmas in the kinetic regime, the latter being relevant to understand the dynamics of the interplanetary medium. In particular, we targeted two major phenomena, the extreme vertical drafts developing in the stratified geophysical flows, and the reconnection events observed in heliospheric and magnetospheric plasmas, always using simulation data.

After further refining the SF technique, we used it to analyze a set of direct numerical simulations of stratified flows, varying the Froude number, focusing on the feedback of developing extreme vertical drafts on the energy transfer, locally in the physical and the Fourier space. We were able to verify that vertical drafts do actually inject energy, ultimately enhancing turbulence and dissipation, affecting the mixing properties of geophysical flows. The same approach was finally implemented on the outputs of hybrid-kinetic plasma simulations to assess the effects of magnetic reconnection events on the energy transfer at the sub-ion scales. Our analysis emphasized for the first time the role of reconnection as a trigger for dual energy transfers, simultaneously towards scales larger and smaller than the scales associated to the observed reconnection events.

Transfert Local d'Énergie dans les Fluides Géophysiques et les Plasmas Spatiaux

Mots clés: *turbulence, onde, stratification, intermittence, fluides géophysiques, plasmas spatiaux, filtrage spatial*

La turbulence dans les fluides géophysiques et les plasmas spatiaux entre en concurrence avec les ondes internes pour transférer l'énergie à travers les échelles. Des preuves pointent vers la possibilité qu'un transfert d'énergie vers les grandes échelles, ressemblant au cas des écoulements turbulents bidimensionnels, puisse se développer dans l'atmosphère et dans les océans, sous l'effet de la rotation, éventuellement aidé par le grand rapport d'aspect du domaine. En effet, des transferts d'énergie bidirectionnels (à grande et petite échelles) ont été observés dans différents contextes naturels, dans les océans par exemple, mais aussi dans les plasmas cinétiques, dans lesquels les champs magnétiques favorisent la propagation des ondes et la reconnexion magnétique contribue à rendre la dynamique de ces flux encore plus riche. Dans ces situations, caractérisées par une forte inhomogénéité et anisotropie, les outils d'analyse standards ne peuvent fournir qu'une information partielle sur la répartition de l'énergie aux différentes échelles. Afin de parvenir à une caractérisation plus exhaustive du transfert d'énergie, dans cette thèse, nous avons utilisé la technique du filtrage spatial (SF) pour étudier l'énergétique des écoulements turbulents stratifiés, d'intérêt géophysique, et des plasmas dans le régime cinétique, ce dernier étant pertinent pour comprendre la dynamique du milieu interplanétaire. En particulier, nous avons ciblé deux phénomènes majeurs, les courants verticaux extrêmes se développant dans les écoulements géophysiques stratifiés et les événements de reconnexion observés dans les plasmas héliosphériques et magnétosphériques, toujours à l'aide de données de simulation.

Après avoir encore plus affiné la technique SF, nous l'avons utilisée pour analyser un ensemble de simulations numériques directes d'écoulements stratifiés, en faisant varier le nombre de Froude, en nous concentrant sur la rétroaction du développement des vents verticaux extrêmes sur le transfert d'énergie, localement dans l'espace physique et de Fourier. Nous avons pu vérifier que les courants verticaux injectent effectivement de l'énergie, renforçant finalement la turbulence et la dissipation, et affectant les propriétés de mélange des écoulements géophysiques. La même approche a finalement été mise en œuvre sur les sorties des simulations de plasma hybride-cinétique, afin d'évaluer les effets des événements de reconnexion magnétique sur le transfert d'énergie aux échelles sub-ioniques. Notre analyse a souligné pour la première fois le rôle de la reconnexion comme déclencheur de transferts double d'énergie simultanément vers des échelles plus grandes et plus petites que les échelles associées aux événements de reconnexion observés.