

Thesis title: Dynamics driven by emerging vertical drafts in stratified turbulent flows

Abstract

Intermittency is a characteristic feature of turbulent flows. Typically observed as the localized enhancement of small-scale field fluctuations, it is at the origin of the bursty behavior of the energy dissipation in fluids. Though, the intermittent character of the velocity and the temperature fields has been reported in many observations in geophysical flows also in the large scales.

The purpose of this thesis is precisely to characterize the emergence of large-scale intermittent vertical velocity drafts and temperature bursts in stratified turbulent flows of geophysical interests, as detected in the atmosphere and the oceans. In particular, using direct numerical simulations (DNSs) of the Boussinesq equations (with or without rotation), I explored the parameter space for the aim of investigating dynamics and energetics in stratified flows in which the interplay of internal waves and turbulent motions produces powerful enhancements of the vertical velocity and temperature at the scale of the mean flow. This phenomenon, resulting from a resonant mechanism that I describe through a simple one-dimensional model, feeds back on the energy transport and dissipation property of the flow, influencing mixing.

The large-scale intermittency detected in stratified flows has been investigated here by means of high order statistics of the prognostic fields, and in particular through the kurtoses of the vertical velocity and temperature, which are found to have a non-monotonic behavior with the Froude number. The Eulerian fields are used to characterize the distribution of the energy across the scales and the exchanges between kinetic and potential energies within the resonant regime. Lagrangian tracers, instead, have been released in DNSs to investigate the dispersion in stratified turbulent flows developing extreme vertical drafts.

The first radar observation of an extreme event in the vertical velocity field in the mesosphere and lower thermosphere (MLT), interpreted here as a “super-bore”, is finally presented here together with a study of the diffusion of a passive scalar in a turbulent flow, preliminary to future characterizations of the passive scalar diffusion in a stratified environment in the resonant regime identified here in terms of the Froude number.

Key words: stratified turbulence, waves, geophysical flows, mixing, intermittency, rotation, Lagrangian particles

Titre de la thèse: Dynamique induite par brouillons verticaux émergents dans écoulements turbulents et stratifiés

Résumé

L'intermittence est un trait caractéristique des écoulements turbulents. Généralement observée comme l'amélioration localisée des fluctuations de champ à petite échelle, elle est l'origine du comportement en rafale de la dissipation et du taux de transfert d'énergie. Toutefois, le caractère intermittent des champs de vitesse et de température a été également documenté dans de nombreuses observations d'écoulements géophysiques à grande échelle.

L'objectif de cette thèse est précisément de caractériser l'émergence de brouillons verticaux intermittents et rafales de température, dans des turbulences stratifiées des écoulements d'intérêts géophysiques; comme ceux qui sont détectés dans l'atmosphère et les océans. En particulier, en utilisant des simulations numériques directes (DNS) des équations de Boussinesq (avec ou sans rotation), j'ai exploré l'espace des paramètres dans le but d'étudier la dynamique et l'énergétique des écoulements stratifiés dans lesquels l'interaction des ondes internes et des mouvements turbulents produit des puissantes améliorations de la vitesse verticale et de la température à l'échelle de l'écoulement moyen. Ce phénomène est le résultat d'un mécanisme résonant que je décris à travers un modèle simple à une dimension; il se répercute sur la propriété de transport et de dissipation d'énergie de l'écoulement, influençant le mélange.

L'intermittence à grande échelle détectée dans les écoulements stratifiés a été étudiée ici en utilisant de statistiques d'ordre élevé des champs pronostiques, et en particulier à travers les kurtoses de la vitesse verticale et de la température, qui ont un comportement non monotone avec le nombre de Froude. Les champs Eulériens sont utilisés pour caractériser la distribution de l'énergie à travers les échelles et les échanges entre énergies cinétiques et énergies potentielles dans le régime résonant. Au contraire, les traceurs Lagrangiens ont été libérés dans les DNS pour étudier la dispersion dans des écoulements turbulents stratifiés, développant des brouillons verticaux extrêmes.

En conclusion, la première observation radar d'un événement extrême dans le champ de vitesse verticale dans la mésosphère et la thermosphère inférieure (MLT), interprété ici comme un "super-bore", est présentée avec une étude de la diffusion d'un scalaire passif dans un écoulement turbulent, préalable à de futures caractérisations de la diffusion scalaire passive en milieu stratifié dans le régime résonant, identifié ici en termes de nombre de Froude.

Mots clés: turbulence stratifiée, ondes, écoulements géophysiques, mélange, intermittence, rotation, particules Lagrangian