
Fonction de structure des incréments anisotropes pour les grandes échelles, les tourbillons et les ondes de gravité en turbulence stratifié 3D

Thibault Leduque^{*1}, Alexandre Delache^{1,2}, and Fabien Godeferd¹

¹Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique – Ecole Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Centre National de la Recherche Scientifique – France

²Université Jean Monnet (EPSCPE) – université Jean Monnet – France

Résumé

La turbulence stratifiée est un cadre simplifié par rapport aux écoulements géophysiques réels, mais qui possède les trois éléments essentiels, à savoir les ondes, les tourbillons et les mouvements à grande échelle (mode de cisaillement horizontal). Par rapport au cadre de turbulence isotrope homogène, la présence de stratification impose une anisotropie qui influence grandement la cascade d'énergie via les ondes de gravité.

L'objectif de ces travaux est d'étudier les interactions entre les différents modes dans divers régimes de turbulence stratifiée stable. Grâce à des simulations DNS 2D de l'équation de Navier-Stokes dans l'approximation de Boussinesq, nous explorons des régimes allant d'un écoulement stratifié affecté par la viscosité ($Fr \ll 1$, $Re_b \ll 1$) à des écoulements fortement stratifiés affectés par la turbulence d'onde ($Fr \ll 1$, $Re_b < 1$) (1). Nous utilisons une méthode explicite pour séparer les grandes échelles \hat{b}^s (shearmodes), les ondes de gravité internes \hat{b}^w et les tourbillons \hat{b}^e pour les champs de vitesse et de densité (2). Un exemple de cette séparation est représenté Fig.1 où l'on peut voir que le champ de densité pour les ondes est plutôt lisse comparé à celui des tourbillons. Cette méthode de séparation capture les retournements (cf Fig.1) qui jouent un rôle important dans le mélange des couches verticales.

Une fois le champ de densité séparé en trois modes, on étudie les statistiques de chacun des champs en les comparant aux statistiques du champ total et aux résultats de la turbulence isotrope. On se concentre sur les incréments de densité: $\delta \hat{b}^l(x, r, t) = \hat{b}^l(x + r, t) - \hat{b}^l(x, t)$, $l=e$ (tourbillon) $l=w$ (onde), comme outil d'étude multi-échelle. Pour chacun des modes, nous nous concentrons sur les moments statistiques d'ordre p : $S^p_b(r) = \langle \delta \hat{b}(x, r, t)^p \rangle$ en fonction de r et θ . De cette façon, nous avons une mesure des échanges entre les modes (avec $p=2,3$), ainsi que des événements extrêmes pour les différentes échelles (avec $p=4$).

(1) H. Lam, A. Delache, and F. Godeferd. Energy balance and mixing between waves and eddies in stably stratified turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 923 :A31, 2021.
(2) H. Lam, A. Delache, and F. S. Godeferd. Partitioning waves and eddies in stably stratified turbulence. *Atmosphere*, 11(4) :420, 2020.

*Intervenant