

Intermittence et transferts d'énergie en turbulence stratifiée

Porteur : Andrea Maffioli

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique

Partenaires : Anne Cadiou

Nature du financement demandé : Stage de M2

Montant de la demande de financement : 3600 €

Résumé : (200 mots)

La turbulence stratifiée est un modèle de la turbulence océanique et atmosphérique. Elle est organisée en couches composées à la fois de zones activement turbulentes et de zones plus calmes : elle est alors qualifiée d'intermittente. En analysant l'intermittence de la turbulence stratifiée, ce stage vise à comprendre si et comment des instabilités de cisaillement prennent part aux transferts d'énergie vers les petites échelles. Ces instabilités ont déjà été observées dans des simulations de turbulence stratifiée mais leur importance dans les transferts globaux est encore mal quantifiée. Le travail exploitera des résultats de simulations numériques directes, en déterminant l'intermittence de l'écoulement et son effet sur les spectres d'énergie. À partir des formes précises des spectres d'énergie des zones turbulentes/quiescentes, les caractéristiques des transferts d'énergie seront déduites et l'importance des instabilités de cisaillement sera évaluée. Les résultats de cette étude formeront un pas en avant important dans notre compréhension de la dynamique de la turbulence stratifiée.

Sujet développé :

Différentes couches de l'atmosphère et de l'océan sont composées de fluides stablement stratifiés. Il s'agit de fluides dont la masse volumique décroît dans la direction verticale ascendante. La gravité a tendance à maintenir cette configuration stratifiée, qui est donc stable. Les variations de masse volumique dans l'atmosphère et l'océan sont dues aux variations de température et, dans l'océan, également aux variations de salinité. En outre, la plupart des écoulements géophysiques sont turbulents et on est donc souvent en présence d'une turbulence dite stratifiée. La turbulence stratifiée peut être étudiée par simulation numérique directe (DNS), dans des domaines périodiques et en présence d'un forçage idéalisé à grande échelle. Une théorie de la turbulence stratifiée a émergé pendant les vingt dernières années ; cette théorie a été formulée au fur et à mesure que l'on trouvait des nouveaux résultats des DNS [1,2,3,4]. Une des hypothèses de la théorie, émise dans l'étude [2], est que la turbulence stratifiée évolue via une cascade d'énergie active uniquement dans la direction horizontale, non-soumise à la gravité, qui emmènerait l'énergie des grandes aux petites échelles horizontales. Cette cascade expliquerait la forme des spectres d'énergie en fonction du nombre d'onde horizontal mais aucun mécanisme physique n'a été proposé jusqu'à présent qui la provoquerait. En revanche, il existe des preuves que des instabilités de Kelvin-Helmholtz sont déclenchées en turbulence stratifiée [3]. Ces instabilités, dues au cisaillement vertical qui se crée naturellement dans les écoulements stratifiés, constituent un transfert d'énergie ponctuel des grandes aux petites échelles horizontales, « en un seul coup », et pas via une cascade continue. L'étude présente se propose d'examiner cette route ponctuelle, en se focalisant sur un aspect peu étudié : la forte intermittence, en espace et en temps, de la turbulence stratifiée. Une étude récente a montré qu'un champ spatial de DNS est fortement intermittent et que les zones activement turbulentes peuvent occuper moins de 5% du volume total simulé [5]. Une forte intermittence pourrait mettre en cause l'hypothèse d'homogénéité de la turbulence sur laquelle se base le calcul des spectres d'énergie dans les DNS et donc mettre en cause la forme obtenue pour ces spectres qui constitue la base de l'hypothèse de cascade directe.

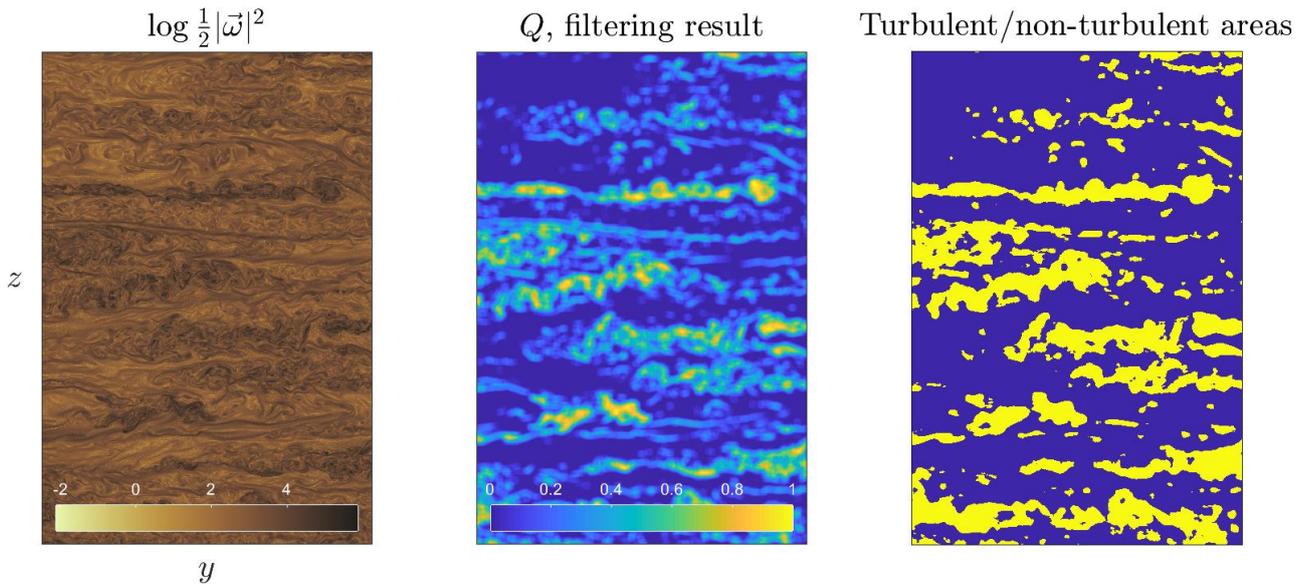


Figure 1. Découpage d'un plan vertical d'une simulation DNS en zones turbulentes et quiescentes. De gauche à droite : visualisation de l'ensrophie sur la section (calculée à partir de la vorticité de l'écoulement), calcul de la grandeur Q après application d'un filtrage avec « coarse graining » et découpage en zones sur la base d'un seuil sur Q .

Le stage proposé consiste en une réinterprétation des spectres d'énergie issus des DNS sur la base de l'intermittence de l'écoulement. En partant des résultats de DNS à haute résolution qui ont été menées par notre équipe, le travail du stage consiste d'abord en des post-traitements des champs 3D, en les filtrant pour obtenir les zones activement turbulentes et les séparer des zones quiescentes à l'intérieur du volume de fluide simulé. Un exemple de cette procédure est présenté sur la Figure 1. La suite du travail consiste à former des spectres d'énergie des zones turbulentes et à observer quelle est leur influence sur le spectre d'énergie conventionnel, calculé sur tout le domaine numérique. La fraction volumique des zones turbulentes est également d'intérêt ; on souhaite comprendre comment elle varie en fonction des paramètres externes de chaque simulation (les nombres de Reynolds et de Froude). La dissipation et le mélange seront aussi quantifiés au niveau des zones turbulentes. Le but est de proposer des nouvelles formulations des moyenne volumiques de ces grandeurs sur la base de l'intermittence, en particulier de la fraction volumique turbulente. Il est possible d'appliquer la même procédure au niveau des spectres d'énergie. L'objectif final est de montrer comment les différentes régions spatiales turbulentes/quiescentes influencent les résultats globaux. On pourra alors en déduire quels sont les transferts d'énergie actifs au sein de la turbulence stratifiée, quelle est leur direction (horizontale, verticale ou isotrope) et s'ils sont locaux ou non-locaux. L'importance des instabilités de cisaillement de type Kelvin-Helmholtz au niveau des transferts d'énergie pourra ainsi être quantifiée. L'enjeu est majeur puisque on pourrait mettre fin à un débat qui dure depuis la formulation de la théorie [2]. Les résultats pourront également avoir des répercussions plus larges en facilitant la comparaison entre DNS et mesures de turbulence géophysique qui sont faites par les océanographes et les physiciens de l'atmosphère [6].

[1] Billant P & Chomaz J-M (2001), Self-similarity of strongly stratified inviscid flows, *Phys. Fluids*, 13, 1645.

[2] Lindborg E (2006), The energy cascade in a strongly stratified fluid, *J. Fluid Mech.*, 550, 207-242.

[3] Augier P, Billant P & Chomaz J-M (2015), Stratified turbulence forced with columnar dipoles: Numerical study, *J. Fluid Mech.*, 769, 403-443.

[4] Maffioli A, Brethouwer G & Lindborg E (2016), Mixing efficiency in stratified turbulence, *J. Fluid Mech.*, 794, R3.

[5] Portwood GD, de Bruyn Kops SM, Taylor JR, Salehipour H & Caulfield CP (2016), Robust identification of dynamically distinct regions in stratified turbulence, *J. Fluid Mech.*, 807, R2.

[6] Gregg MC, D'Asaro EA, Riley JJ & Kunze E (2018), Mixing efficiency in the ocean, *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 10, 9.1-9.31.