

## M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : CNRM

Titre du stage : **Identification et caractérisation des structures cohérentes au sein des nuages convectifs**

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : Dr Didier Ricard (HDR)

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage : 05. 61.07.93.78 [didier.ricard@meteo.fr](mailto:didier.ricard@meteo.fr)

Sujet du stage : L'objectif général de ce sujet est de caractériser la turbulence dans les nuages convectifs profonds en utilisant des simulations à très fine échelle de type LES (Large Eddy Simulation). On cherchera en particulier à extraire les structures cohérentes présentes au sein de ces nuages convectifs en mettant en place une analyse en ondelettes.

Dans un écoulement turbulent, les grosses structures tourbillonnaires transfèrent leur énergie cinétique à des structures de taille inférieure, les tourbillons continuent de se diviser ainsi jusqu'à atteindre l'échelle de dissipation, c'est la cascade d'énergie de Kolmogorov (1941). Toute une gamme de tourbillons coexiste avec un transfert d'énergie des grandes structures vers les petites à taux constant ; les spectres d'énergie cinétique permettent de visualiser cette zone inertielle qui se caractérise par une pente en  $-5/3$ . Cependant, il peut exister au sein des écoulements turbulents des tourbillons cohérents qui ont une durée de vie grande devant leur temps de retournement. Ainsi, dans la couche limite planétaire, on peut identifier typiquement des ascendances thermiques ou des structures en rouleaux. Verrelle et al (2017) ont montré que des structures à contre-gradient étaient présentes au sein des nuages à l'échelle kilométrique. Comme définies par Deardorff (1966), ces structures correspondent à des zones positives pour le produit du flux vertical d'une quantité avec son gradient vertical. Ces zones positives indiquent une turbulence non locale liée à la présence de structures cohérentes.

On souhaite identifier de manière objective ces structures cohérentes dans des LES de convection profonde. On dispose de deux LES déjà réalisées avec des fichiers de sorties toutes les 5 minutes. Différentes méthodes mathématiques et numériques seront testées et comparées afin d'isoler ces parties cohérentes et caractériser au mieux ces structures (taille, forme, durée de vie, localisation dans le nuage, nombre ...)

Tout d'abord, une analyse en ondelettes sera appliquée sur ces LES, cet outil sera élaboré en Python. L'analyse par ondelettes est fréquemment utilisée dans les sciences atmosphériques pour extraire de l'information (e.g. Torrence and Compo, 1998 ; Yano et al, 2004 ; Domingues et al, 2005), et c'est aussi un outil puissant pour mettre en évidence les structures cohérentes dans un écoulement turbulent (Farge 1992). Les tourbillons cohérents sont reconstruits à partir des coefficients en ondelettes les plus intenses (Farge et al, 1999 ; Sakurai et al, 2016), les coefficients restants représentant l'écoulement bruité. Il s'agira tout d'abord de choisir les ondelettes les plus adaptées à notre étude (parmi toutes les ondelettes existantes : Morlet, Meyer, Haar, Daubechies, Coiflet ...) et déterminer de manière objective le seuil pour distinguer la partie cohérente du bruit de fond. Un filtre spectral passe-bande pourra également être utilisé. Les bornes du filtre spectral seront déterminées soit en identifiant des pics d'énergie sur les spectres d'énergie cinétique soit en estimant une gamme d'échelles avec une détection objective de contours de tourbillon ou en utilisant des diagnostics d'autocorrélation sur le champ de tourbillon.

Un outil de visualisation 3D adapté aux grands volumes de données (de type ParaView) sera utilisé pour mettre en évidence ces structures cohérentes. Les caractéristiques sur les structures turbulentes obtenues à l'aide de ces méthodes fourniront des indications utiles pour la paramétrisation de la turbulence non locale dans les nuages. En particulier, la taille caractéristique de ces structures sera à comparer à la longueur de mélange utilisée dans le schéma de turbulence, ce qui pourra donner des pistes d'amélioration dans la formulation de cette longueur.

Ce stage de recherche nécessite de la part du candidat un goût prononcé pour la modélisation numérique (afin de réaliser si nécessaire d'autres LES avec des sorties plus fréquentes) et les méthodes mathématiques (afin de mettre en place la décomposition en ondelettes).