

## **Vertical air speed in thunderstorms as seen by C2OMODO**

### **La vitesse verticale de l'air dans les tempêtes convectives vue par C2OMODO**

Updrafts in convective cores varies greatly depending on the growth phase and organization of thunderstorms, reaching vertical air speed up to 200 km/h locally. This makes the vertical air speed an essential climate variable, especially in the tropics where convection is the dominant term of vertical transport. However, the vertical air speed is still very poorly known because it is little or not measured. It is thus one of the most uncertain meteorological variables in kilometer-resolution models (Varble et al. 2014).

The C2OMODO project (Convective Core Observations through MicrOwave Derivatives in the trOpics, <http://c2omodo.ipsl.fr/>) is a concept of a tandem of microwave radiometers separated by several tens of seconds (Brogniez et al. 2022). Its main objective is to infer the vertical air speed in thunderstorms. Inferring this information would be very valuable as it would provide an observational constraint that is currently lacking. From synthetic C2OMODO observations at kilometer resolution, a preparatory study has shown that it would be possible to deduce the vertical air speed inside deep convective systems in growth phase (Auguste and Chaboureau 2022).

The aim of the PhD project is to evaluate what C2OMODO data could contribute to our knowledge of the variability of vertical air speed as a function of the life cycle and organization of thunderstorm systems and the environmental conditions in which they develop (ocean or land, clean or polluted air, wind shear or not, etc.). It will be based on a dataset of large-eddy simulations (LESs) of several thunderstorms observed during past field campaigns (EXAEDRE, HAIC-Darwin, CADDIWA, etc.) in the tropics that is currently built for the C2OMODO project using the GPU version of Meso-NH (Escobar et a. 2024). The fine resolution offered by LESs is crucial to correctly reproduce updrafts and downdrafts as well as to capture the most energetic turbulent eddies.

The first step will be to set up the experimental protocol for a simulated thunderstorm. This will include (i) evaluating the LES against radar and satellite observations, (ii) analyzing the updrafts in terms of size and intensity during their life cycle, (iii) emulating the C2OMODO images and derived geophysical products, and (iv) mapping their information in the vertical air speed to the updraft size and intensity. In a second step, this protocol will be repeated to other thunderstorms.

This PhD project will contribute to the design of the C2OMODO microwave radiometer tandem, the geophysical products that will be derived from this observation system and the future field campaigns dedicated to the calibration and validation of C2OMODO. It is intended for a motivated student interested in the study of thunderstorms through numerical simulations and satellite observations.

The supervision team has a strong expertise in fine-scale meteorological modeling and high performance computing. The thesis work will be based on the French community code Meso-NH (Lac et al. 2018, <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/>) initially developed by LAERO (University of Toulouse, CNRS, IRD) and the Centre National de Recherches Météorologiques (Météo-France, CNRS, University of Toulouse). The code will be used at high resolution (100 m) on large grids in order to explicitly resolve both the entire storm and the updrafts, downdrafts and turbulent circulations within it. The ambition of the PhD project is thus to reach a computational realism at the cutting edge of

numerical simulations in atmospheric modeling. A first handling of the Meso-NH model will be performed during the four-day training course at Météo-France in the fall of 2025.

C2OMODO is the French instrumental contribution to the Atmosphere Observing System program (AOS, <https://aos.gsfc.nasa.gov/>). AOS, the next major NASA program involving CNES, CSA, DLR and JAXA, has the overall goal of better understanding the relationships between aerosols, clouds, convection and precipitation. Collaborations in the framework of the C2OMODO project and the international AOS program will be encouraged.

Auguste, F. and J.-P. Chaboureau, 2022: Deep convection as inferred from the C2OMODO concept of a tandem of microwave radiometers, *Front. Remote Sens.*, 3, 2022.852610. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.852610>

Brognez, H., R. Roca, F. Auguste, J.-P. Chaboureau, Z. Haddad, S. J. Munchak, X. Li, D. Bouniol, A. Dépée, T. Fiolleau, and P. Kollias, 2022: Time-delayed tandem microwave observations of tropical deep convection: Overview of the C2OMODO mission, *Front. Remote Sens.*, 3, 852610. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.854735>

Escobar, J., P. Wautelet, J. Pianezze, F. Pantillon, T. Dauhut, C. Barthe, and J.-P. Chaboureau, 2024: Porting the Meso-NH atmospheric model on different GPU architectures for the next generation of supercomputers (version MESONH-v55-OpenACC), *Geosci. Model Dev.*, <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-2879>

Lac, C., J.-P. Chaboureau, et al., 2018: Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1929-1969, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1929-2018>

Varble, A., E. J. Zipser, A. M. Fridlind, P. Zhu, A. S. Ackerman, J.-P. Chaboureau, S. Collis, J. Fan, A. Hill, and B. Shipway, 2014: Evaluation of cloud-resolving and limited area model intercomparison simulations using TWP-ICE observations. Part 1: Deep convective updraft properties, *J. Geophys. Res.*, 119, 13,891-13,918. <https://dx.doi.org/10.1002/2013JD021371>

Les ascendances dans les cœurs convectifs varient grandement en fonction de la phase de croissance et de l'organisation des systèmes orageux, jusqu'à atteindre des vitesses verticales de 200 km/h localement. Cette dernière est ainsi une variable climatique essentielle, en particulier dans les tropiques où la convection est le terme dominant du transport vertical. La vitesse verticale de l'air reste pourtant très mal connue car peu ou pas mesurée. C'est ainsi l'une des variables des modèles à résolution kilométrique les plus incertaines (Varble et al. 2014).

Le projet C2OMODO (Convective Core Observations through MicrOwave Derivatives in the trOpics, <http://c2omodo.ipsl.fr/>) est un concept d'un tandem de radiomètres micro-ondes séparés par plusieurs dizaines de secondes (Brogniez et al. 2022) visant à caractériser les ascendances dans les orages. Des observations C2OMODO, une étude préparatoire a montré qu'il serait possible de déduire la vitesse verticale à l'intérieur des systèmes convectifs profonds en phase de croissance (Auguste et Chaboureau 2022).

Le sujet de la thèse vise à évaluer ce que les données C2OMODO pourraient apporter dans notre connaissance de la variabilité de la vitesse verticale de l'air en fonction du cycle de vie et de l'organisation des systèmes orageux et des conditions environnementales dans lesquelles ils se développent (océan ou terre, air propre ou pollué, cisaillement du vent ou non, etc.). Il s'appuiera sur un ensemble des simulations d'orages réalisées avec le modèle de recherche Méso-NH (<http://mesonh.aero.obs-mip.fr/>). Une première étape consistera à mettre en place le protocole expérimental, en l'occurrence, replacer les images C2OMODO des cœurs convectifs dans le cycle de vie d'un orage en particulier et les relier avec la taille et l'intensité des ascendances. Dans une deuxième étape, ce protocole sera appliqué à l'ensemble du bestiaire d'orages simulés.

LA thèse contribuera à la définition préliminaire de l'instrument C2OMODO. Il s'adresse à un(e) étudiant(e) attiré(e) par l'étude des orages à travers simulations numériques et observations spatiales. Une première prise en main du modèle sera faite au cours du stage de formation de Méso-NH de quatre jours à Météo-France en novembre 2025.

C2OMODO est la contribution instrumentale française au programme Atmosphere Observing System (AOS, <https://aos.gsfc.nasa.gov/>). AOS est le prochain grand programme de la NASA, auquel sont associés le CNES, le CSA, le DLR et la JAXA et dont l'objectif général est de mieux comprendre les relations entre aérosols, nuages, convection et précipitation. Les coopérations dans le cadre du projet C2OMODO et du programme international AOS seront encouragées.

## **Établissement**

Université de Toulouse

## **École doctorale**

SDU2E - Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace

## **Spécialité**

Océan, Atmosphère, Climat

## **Unité de recherche**

LAERO - Laboratoire d'Aérologie

## Encadrement

CHABOUREAU Jean-Pierre, directeur (HDR)

jean-pierre.chaboureau@univ-tlse3.fr

## Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant

L'équipe encadrante a une grande maîtrise de la modélisation météorologique à échelle fine et du calcul intensif. Le travail de thèse s'appuiera sur le code communautaire français Méso-NH initialement développé par le LAERO (Université de Toulouse, CNRS, UT3, IRD) et le Centre National de Recherches Météorologiques (Météo-France, CNRS, Université de Toulouse). Le code sera employé à résolution hectométrique afin de résoudre explicitement les circulations turbulentes à l'intérieur des orages et sur des grandes grilles de calcul pour couvrir la totalité de ces orages. L'ambition de la thèse est ainsi d'atteindre un réalisme de calcul au niveau des « simulations frontières » en modélisation de l'atmosphère. Un comité de thèse suivra l'avancée des travaux du doctorant et une formation au code Méso-NH sera proposée en début de thèse.

## Financement

du 01-10-2025 au 30-09-2028

**origine** Université de Toulouse

**Employeur** Université de Toulouse

Concours pour un contrat CNES

**Début de la thèse** 1er octobre 2025

**Date limite de candidature** 14/03/2025 sur <https://recrutement.cnes.fr/fr/annonces> (à partir du 3 février)

**Mots clés** orages, météorologie, climat, satellites, simulations numériques

**Keywords** thunderstorms, meteorology, climate, satellites, numerical simulations

## Profil et compétences recherchées Profile and skills required

Un excellent master en sciences de l'atmosphère ou physique ainsi que des compétences en programmation sont nécessaires. Une expérience en modélisation de méso-échelle et des connaissances du traitement de grandes quantités de données sont souhaitables. Une forte curiosité intellectuelle et un esprit d'initiative sont appréciés, ainsi qu'une bonne capacité à communiquer à l'oral comme à l'écrit en anglais. Les candidatures féminines sont encouragées.

An excellent masters degree in atmospheric sciences or physics as well as programming skills are mandatory. Experience in mesoscale modeling and analysis of large data amounts are wished. Strong intellectual curiosity and initiative are appreciated, as well as good oral and written communication skills. Female candidates are encouraged to apply.

**Niveau de français requis** : aucun

**Niveau d'anglais requis** : High Intermediate: You can use the language in a effective way and express you exactly

## **Description de la problématique de recherche    Project description    4000 caractères**

Les systèmes convectifs de méso-échelle (lignes de grain, complexes, cyclones, ...) font partie des catastrophes naturelles les plus destructrices. Ils sont l'objet de nombreuses études, tant fondamentales pour mieux comprendre leur dynamique aux échelles météorologiques qu'appliquées pour évaluer leur fréquence et leur intensité aux échelles climatiques. On a pu ainsi comprendre les processus dynamiques et thermodynamiques particuliers mis en jeu dans ces différents systèmes conduisant à des modes d'organisation très variés. Cependant, les ascendances rapides au sein de ces systèmes restent très mal connues car peu ou pas mesurées. Elles n'ont plus été étudiées directement du fait de leur nature turbulente et de leur petite échelle, inaccessibles aux modèles de prévision numérique du temps. Le but de ce projet est d'exploiter les possibilités actuelles de modélisation à très haute résolution pour comprendre les processus responsables de la variabilité des ascendances rapides dans les systèmes convectifs de méso-échelle.

Mesoscale convective systems (squall lines, complexes, cyclones, ...) are among the most destructive natural disasters. They are the subject of numerous studies, both fundamental, to better understand their dynamics on meteorological scales, and applied, to assess their frequency and intensity on climatic scales. We have thus been able to understand the specific dynamic and thermodynamic processes at play in these different systems, leading to highly varied modes of organization. However, little is known about rapid updrafts within these systems, as little or nothing has been measured. They have not been studied directly due to their turbulent nature and small scale, inaccessible to numerical weather prediction models. The aim of this project is to exploit the current possibilities of very high-resolution modeling to understand the processes responsible for the variability of rapid updrafts in mesoscale convective systems.

### **Thématiques /Domaine**

Compréhension de l'intensité des courants ascendants dans les systèmes convectifs de méso-échelle

Météorologie et climat

### **Objectifs**

L'objectif est de comprendre les processus responsables de l'intensité des ascendances dans les systèmes convectifs de méso-échelle.

### **Contexte**

Les capacités de calcul de haute performance du modèle atmosphérique Méso-NH permettent de réaliser des simulations sur de très grandes grilles alliant fine résolution et domaine étendu. Elles rendent ainsi accessibles des simulations résolvant explicitement à la fois les courants ascendants à l'échelle de la centaine de mètres (simulations aux grands tourbillons) et la structure entière des systèmes convectifs de méso-échelle et leur propagation sur plusieurs centaines de kilomètres. Par ailleurs, des mesures radar réalisées lors de campagnes de terrain dédiées aux systèmes convectifs permettent de valider les contenus en hydrométéores simulés en leur sein. Ces données sont disponibles pour de nombreuses campagnes mais restent peu exploitées à l'heure actuelle. Elles seront complétées par les observations obtenues par satellite. Ce travail s'inscrit dans le projet C2OMODO,

un concept d'un tandem de radiomètres micro-ondes séparés par deux minutes (Brogniez et al. 2022) qui pourrait mesurer les ascendances dans les orages en croissance (Auguste et Chaboureau 2022).

## **Méthode**

Dans un premier temps, une simulation Méso-NH à échelle décamétrique sera réalisée ou sélectionnée parmi le jeu de systèmes convectifs de méso-échelle de la base de données synthétiques C2OMODO en cours de création au LAERO. Le choix se portera sur un cas bien reproduit par Méso-NH par rapport aux observations de campagne et par satellite. Les courants ascendants seront ensuite identifiés, leurs propriétés caractérisées (taille, intensité, contenu en glace, signature satellite), leur environnement décrit (instabilité, cisaillement de vent) et les processus formateurs déterminés. Différentes méthodes faisant appel à l'intelligence artificielle seront testées afin d'exploiter le grand volume de données résultant de telles simulations.

## **Résultats attendus**

Une meilleure compréhension de la variation de l'intensité des ascendances au sein des systèmes convectifs de méso-échelle est attendue.

## **Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du programme de recherches**

Pas de conditions particulières.

## **Ouverture internationale**

Le sujet de thèse s'inscrit dans le cadre du projet C2OMODO, la contribution instrumentale française au programme Atmosphere Observing System (AOS, <https://aos.gsfc.nasa.gov/>). AOS est le prochain grand programme de la NASA, auquel sont associés le CNES, le CSA, le DLR et la JAXA et dont l'objectif général est de mieux comprendre les relations entre aérosols, nuages, convection et précipitation. Plus spécifiquement, le projet international AOS et le consortium national C2OMODO permettront une visibilité internationale et des échanges avec des laboratoires français.

## **Collaborations envisagées**

Des collaborations sont envisagées dans le cadre du projet international AOS et le consortium national C2OMODO.

## **Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et droit à la propriété intellectuelle**

Le travail sera valorisé par des publications dans des revues internationales à comité de lecture et sera diffusé lors d'ateliers et de conférences nationales et internationales. La participation à des manifestations de vulgarisation scientifique et la publication de brèves scientifiques pour le grand public seront encouragées.

## **Lien web avec complément sur le sujet :**

<http://c2omodo.ipsl.fr/>

## **Références bibliographiques**

- Auguste, F. and J.-P. Chaboureau, 2022: Deep convection as inferred from the C2OMODO concept of a tandem of microwave radiometers, *Front. Remote Sens.*, 3, 2022.852610. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.852610>
- Brognez, H., R. Roca, F. Auguste, J.-P. Chaboureau, Z. Haddad, S. J. Munchak, X. Li, D. Bouniol, A. Dépée, T. Fiolleau, and P. Kollias, 2022: Time-delayed tandem microwave observations of tropical deep convection: Overview of the C2OMODO mission, *Front. Remote Sens.*, 3, 852610. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.854735>
- Escobar, J., P. Wautelet, J. Pianezze, F. Pantillon, T. Dauhut, C. Barthe, and J.-P. Chaboureau, 2024: Porting the Meso-NH atmospheric model on different GPU architectures for the next generation of supercomputers (version MESONH-v55-OpenACC), *Geosci. Model Dev.*, <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-2879>
- Varble, A., E. J. Zipser, A. M. Fridlind, P. Zhu, A. S. Ackerman, J.-P. Chaboureau, S. Collis, J. Fan, A. Hill, and B. Shipway, 2014: Evaluation of cloud-resolving and limited area model intercomparison simulations using TWP-ICE observations. Part 1: Deep convective updraft properties, *J. Geophys. Res.*, 119, 13,891-13,918 <http://dx.doi.org/10.1002/2013JD021371>