



**université PARIS-SACLAY**

# **«ASSIMILATION VARIATIONNELLE D OBSERVATIONS MULTI-ÉCHELLES : APPLICATION À LA FUSION DE DONNÉES HÉTÉROGÈNES POUR L'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE MICRO ET MACROPHYSIQUE DES SYSTÈMES PRÉCIPITANTS» PAR FRANÇOIS MERCIER**

**Présentée par : François Mercier Discipline : météorologie, océanographie physique de l'environnement Laboratoire : LATMOS**

## **Résumé :**

L'étude des précipitations est généralement abordée d'un point de vue soit macro physique soit microphysique. Dans le premier cas on se place à l'échelle des cellules de pluie, caractérisées par des quantités intégrées (taux de pluie) tandis que dans le second cas, la pluie étant caractérisée par ses distributions en tailles des gouttes (DSD - Drop Size Distribution), on travaille à l'échelle de la goutte et des phénomènes physiques qui l'affectent. Il existe une grande variété d'instruments permettant de caractériser les précipitations. Cependant, ils mesurent des grandeurs différentes à des échelles spatiotemporelles diverses. Cette thèse - en se basant sur l'assimilation de données - s'

intéresse au développement d'algorithmes fusionnant des mesures hétérogènes en vue d'améliorer la restitution des précipitations à fine échelle et faciliter ainsi l'étude de leur variabilité spatio-temporelle à échelles macro et microphysiques. Cette approche est dénommée VAMOS (Variational Assimilation of Multi-scale Observations for rain Studies). Dans un premier temps, nous nous intéressons à la restitution de cartes de pluie par assimilation de mesures d'atténuation d'ondes provenant de satellites géostationnaires TV-SAT en bande Ku (10,7-12,7 GHz). L'atténuation, due aux gouttes présentes sur la liaison, dépend du taux de pluie via une loi puissance. On dispose de séries temporelles d'atténuation provenant de 4 satellites permettant de couvrir au sol quelques dizaines de km<sup>2</sup>. On suppose que les champs de pluie sont transportés sans déformations par le vent (advection pure). On utilise ainsi un algorithme d'assimilation 4D-VAR pour reconstituer la carte de pluie à l'instant initial qui, propagée par le modèle, expliquera au mieux les observations. Cette méthode est appliquée à un événement enregistré dans le sud de la France durant la campagne HyMeX. On obtient des cartes de précipitations similaires à celles obtenues par un radar de Météo France. Cette méthode pourrait être adaptée pour couvrir des zones où les radars sont absents, ou pour l'hydrologie urbaine et la gestion des crues éclaircies.

Dans l'étude précédente, la microphysique n'était pas prise en compte. Sa compréhension et l'étude de sa variabilité sont pourtant d'une grande importance pour la paramétrisation de la pluie dans les modèles météorologiques ou pour l'estimation du taux précipitant à partir de la réflectivité radar (loi Z-R). Il convient donc d'étudier la DSD et sa variabilité. Dans cette optique, une nouvelle approche consistant à coupler des observations co-localisées (disdromètres et spectres Doppler de radars micro-ondes à visée verticale) dans un modèle de propagation via un algorithme d'assimilation 4D-VAR est présentée. Il s'agit de restituer DSD et vents verticaux à la verticale des instruments. Le modèle de propagation représente la chute des gouttes modulée par le vent vertical, la turbulence et l'évaporation. L'impact du vent horizontal est étudié indépendamment de l'algorithme d'assimilation. En appliquant ce travail à 3 cas d'études dans divers contextes instrumentaux et météorologiques, on montre que l'on restitue DSD et vents cohérents physiquement. Ces restitutions sont validées grâce à une autre méthode utilisant 2 radars. On met aussi en évidence pour chaque cas l'importance des différents phénomènes physiques et leur signature sur les cartes radar. Ce travail pourrait être étendu pour prendre en compte, contrôler et paramétrer d'autres phénomènes physiques ou instrumentaux.

### **Abstract :**

The study of rainfall is generally viewed at macro or microscopic scales. In the first case, we work at the rain cell level. The rain cells are characterized by integrated parameters,

such as the rainfall rate. In the second case, rain is characterized by its Drop Size Distribution – DSD. So we focus at the raindrop level, and we study the physical phenomena ruling the microphysics. There are various instruments monitoring rainfall at different scales, whether directly (f.i. rain gages) or indirectly (f.i. radars). In this thesis, thanks to data assimilation, we develop algorithms fusing heterogeneous measurements to improve rainfall retrievals at fine scale and to allow the study of its spatiotemporal variability both at macro and microscopic scales. This approach is called VAMOS (Variational Assimilation of Multi-scale Observations for rain Studies).

First, we rebuild rainfall maps with an assimilation algorithm using measurements of attenuations of microwaves. These microwaves, coming from geostationary TV-SAT, are in the Ku-band (10,7-12,7 GHz). The attenuation, mostly due to raindrops in the satellite-Earth link, depends on the rain rate via a power law. In this study, we have time serie of attenuations coming from 4 satellites covering an area of a few dozen of square kilometers on the ground. Moreover we assume that the rain field at the initial time is advected by the wind field without any distortion. Consequently, we use a 4D-VAR assimilation algorithm to retrieve this initial rain map which, once propagated by the model, appears able to reproduce the measured attenuations. This method is applied to a rain event located in the south of France. We retrieve rain maps with features comparable with Météo France radar ones. This method could be adapted to monitor rainfall in areas not covered by operational radar networks, or applied to urban hydrology problems and flash flood monitoring.

So far, microphysical phenomena have not been taken into account. But their understanding and spatiotemporal variability are crucial for rainfall parameterization in models or for the radar reflectivity/rainfall relations accuracy (the so-called Z-R relationship). Understanding rain microphysics implies the study of the DSD and its variability. For this purpose, we present a novel approach which consists in coupling colocalized observations (disdrometer data and Doppler spectra from vertically pointing microwave radars) in a numerical model using 4D-VAR data assimilation. The numerical model simulates the drop fall modulated by vertical wind, turbulence and evaporation allowing the retrieval of DSD and vertical winds above the instruments. The influence of the horizontal wind is studied apart from the assimilation algorithm. Through 3 case studies, with different instruments and meteorological conditions, we show that we retrieve DSD and winds physically coherent. These retrievals are validated thanks to another method using 2 radars. We also show for each event the relative importance of the different phenomena and their signatures on the radar maps. This work could be extended to take into account, control and parameterize other physical or instrumental effects.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**Hervé ANDRIEU**, Directeur de Recherche, à l'IFFSTAR - Laboratoire Eau et Environnement - Nantes - Rapporteur

**Remko UIJLENHOET**, Professeur des Universités, à l'Université de Wageningen - Wageningen (Pays-Bas) - Rapporteur

**Laurent BARTHES**, Maître de Conférences, Habilité à Diriger des Recherches, à l'Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) - Guyancourt - Directeur de thèse

**Aymeric CHAZOTTES**, Maître de Conférences, à l'Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) - Guyancourt - Co-Encadrant de thèse

**Eric BLAYO**, Professeur des Universités, à l'Université Joseph Fourier de Grenoble /Laboratoire Jean Kuntzmann - Grenoble - Examineur

**Pierre TABARY**, Ingénieur en Chef des Eaux, des Ponts et des Forêts, au CNES - Toulouse - Examineur

**Sylvie THIRIA**, Professeur des Universités, à l'Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire d'Océanographie et du Climat Expérimentation et Approches Numériques (LOCEAN) - Paris - Examinatrice

**Contact :** [dredval service FED : theses@uvsq.fr](mailto:dredval.service.FED@theses@uvsq.fr)