

Soutenance de thèse CNRM

jeudi 19 février 2026 à 13h

IMPROVING AROME'S POLARIMETRIC RADAR SIMULATIONS : ASSESSMENT OF DIFFERENT MICROPHYSICS SCHEMES AND RADAR FORWARD OPERATOR OPTIONS

par Cloé DAVID (CNRM/GMME)

en salle Noilhan

Lien visio : [https://meteo.webex.com/meteo-fr/j.php?
MTID=mf4e60efeff1ca6a772cd5a823df82ee2](https://meteo.webex.com/meteo-fr/j.php?MTID=mf4e60efeff1ca6a772cd5a823df82ee2)

Titre de la thèse (français) : *Amélioration des simulations radar polarimétriques d'AROME : évaluation de différents schémas microphysiques et des options de l'opérateur d'observation radar*

Résumé en français :

Les orages comptent parmi les phénomènes météorologiques les plus destructeurs (fortes précipitations, vents violents, grêle, etc.). Ils sont de mieux en mieux prévus avec des modèles convectifs à haute résolution tels que AROME à Météo-France, mais des incertitudes subsistent quant à leur intensité et leur localisation. Une source d'incertitudes importante pour la prévision des orages résulte de la représentation des nuages dans le modèle. Un moyen de réduire l'erreur de prévision est donc d'améliorer les schémas microphysiques, tels qu'ICE3 et LIMA dans AROME. Pour cela, les observations radar polarimétriques, issues du réseau opérationnel métropolitain ARAMIS, apportent des informations essentielles sur les caractéristiques des hydrométéores (forme, orientation, composition, etc) avec une bonne résolution spatiale et temporelle. Une autre source d'incertitude provient des conditions initiales. Pour initialiser au mieux la prévision, l'assimilation de données fusionne les observations disponibles et la prévision la plus récente. Dans AROME, les observations radar représentent déjà plus de la moitié des observations assimilées les jours de pluie. Améliorer la représentation

CNRM, UMR 3589

des nuages dans le modèle, ainsi que l'opérateur d'observation qui permet d'en estimer les variables polarimétriques, est donc aussi crucial pour mieux assimiler ces observations. L'objectif de cette thèse est donc de mieux représenter les variables polarimétriques avec AROME, via l'amélioration conjointe des paramétrisations microphysiques et de l'opérateur d'observation OPERADAR (Augros et al., 2016). Pour ce faire, la capacité du modèle à reproduire correctement les structures orageuses et leurs signatures polarimétriques a d'abord été évaluée à partir de 34 jours convectifs. Un algorithme de détection des colonnes de ZDR, marqueurs des ascendances, a été mis en œuvre. Une méthode de suivi en mode objet a été déployée afin de concentrer l'évaluation sur les cœurs convectifs et les ascendances. En dessous de l'isotherme 0°C et au sein des cœurs convectifs, les simulations polarimétriques les plus réalistes ont été obtenues avec LIMA, ce qui indique une représentation plus réaliste de la taille des gouttes de pluie. LIMA a démontré une capacité remarquable à générer un nombre réaliste de colonnes de ZDR, ainsi que des caractéristiques physiques très proches des observations. Cependant, des divergences ont été mises en évidence entre les observations et le modèle pour des températures inférieures à 0°C, ainsi qu'entre les différentes microphysiques. La deuxième partie de cette thèse se concentre sur l'amélioration d'OPERADAR, en particulier sur les limites identifiées lors de l'évaluation d'AROME. Une étude de sensibilité a été menée pour comparer plusieurs paramétrisations existantes de la neige et de la glace. En conséquence, OPERADAR a fait l'objet d'améliorations techniques et physiques basées sur la littérature. On peut citer la prise en compte de l'oscillation, la flexibilité dans le choix du rapport d'axe et l'ajout de différentes formulations pour calculer la densité de la neige. La configuration choisie a permis d'augmenter les valeurs de KDP et ZDR en phase froide, en conservant la cohérence avec la microphysique. La nouvelle version d'OPERADAR a ensuite été comparée à la version de référence sur un cas convectif issu de la première étude. La présence de glace dans ICE3 sur toute la verticale, à des températures inférieures à 0°C, a permis d'obtenir des valeurs polarimétriques plus fortes grâce au nouveau rapport d'axe aplati des cristaux de glace. Cependant, aucune amélioration n'a été observée dans LIMA à cause d'un manque de glace. Ces travaux soulignent la nécessité d'améliorer à la fois la microphysique et l'opérateur d'observation radar, et préparent l'assimilation des variables polarimétriques dans AROME 3D-EnVar.

Mots clés (français) : double polarimétrie, microphysique, opérateur d'observation radar, convection

Titre de la thèse (anglais) : *Improving AROME's Polarimetric Radar Simulations: Assessment of different Microphysics schemes and Radar Forward Operator options*
Résumé en anglais :

CNRM, UMR 3589

Thunderstorms are among the most damaging weather phenomena due to their capacity to generate heavy rainfall, strong winds, hail, and, to a lesser extent, tornadoes. They are being forecasted with increasing accuracy using high-resolution convective models such as AROME at Météo-France, but uncertainties regarding intensity and location remain. One important source of uncertainties for thunderstorms forecasting is the model's representation of clouds. Thus, one way to reduce forecast errors is to improve the microphysics parameterizations, such as ICE3 and LIMA in AROME. To this end, polarimetric radar observations, provided by the ARAMIS operational French metropolitan network, are extremely valuable, as they provide information about the characteristics of hydrometeors (shape, orientation, composition, etc.) with a good spatial and temporal resolution. Errors in initial conditions represent another major source of forecast uncertainty. To provide the best possible initial conditions, available observations are merged with the previous forecast through data assimilation. In AROME, radar data account for more than 50% of the assimilated observations during rainy days. Thus, improving the representation of cloud composition in the model, as well as the radar forward operator which translates them into simulated radar variables, is also crucial to better assimilate these observations. The aim of this dissertation is to enhance AROME's polarimetric radar simulations, through improvements in both the microphysics parameterization and the OPERADAR (Augros et al., 2016) forward operator.

First, the ability of AROME to reproduce accurate storm structures and polarimetric signatures has been evaluated over 34 convective days. A ZDR column detection algorithm, known as proxies of updrafts, has been implemented. An object-based detection and tracking method has been deployed in order to focus the assessment on convective cores and updrafts. Simulations performed with LIMA microphysics showed good agreement with observed polarimetric fields below the melting layer in convective core objects, which points to a more realistic raindrop size representation. LIMA demonstrated a remarkable capacity to generate a realistic number of ZDR columns, as well as a distribution of (1) the ZDR column area and (2) the first column occurrence, very close to the observations. However, significant discrepancies have been highlighted between the observations and the model at subfreezing temperatures, as well as between the microphysics schemes.

The second part of this dissertation focuses on improving the radar forward operator, as some limitations were identified during the model evaluation. A sensitivity study was conducted to compare several existing parameterizations for snow and pristine ice characteristics. Consequently, OPERADAR underwent both technical and physical updates, based on the literature. Notable additions include oscillation, flexibility in the choice of axis ratio, and the implementation of various snow density calculations. The selected configuration increases the KDP and ZDR signals in the cold phase while remaining consistent with the microphysics. The newly improved version of OPERADAR was then compared against the reference version over a convective case from the

CNRM, UMR 3589

first study. The presence of pristine ice in ICE3 all along the vertical at subfreezing temperatures produced enhanced polarimetric values thanks to the new ice axis ratio (oblate). However, due to the lack of ice, no improvements were found with LIMA.

This work highlights the need to improve both the microphysics schemes (e.g. particle size distribution, inclusion of secondary ice production process) and the radar forward operator (more advanced scattering computation for complex-shaped particles), and paves the way for the assimilation of polarimetric radar variables in AROME's 3D-EnVar.

Mots clés (anglais) : dual-polarization, microphysics, radar forward operator, convection

Jury :

M. François BOUTTIER	Directeur de thèse	Météo-France / CNRM
M. Joël VAN BAELEN	Rapporteur	CNRS / LACy
M. Matthew KUMJIAN	Rapporteur	The Pennsylvania State University
Mme Mendrok JANA	Examinatrice	Deutscher Wetterdienst
M. Alexander RYZHKOV	Examineur	National Weather Center
M. Jean-Pierre CHABOUREAU	Examineur	Université de Toulouse / LAERO
M. Benoît VIÉ	Invité	Météo-France / CNRM
Mme Clotilde AUGROS	Invité	Météo-France / CNRM

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)

Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex