

Mise au point d'une version du modèle AROME optimale pour la prévision du rayonnement solaire (english below)

Contexte :

Les modèles de prévision numérique du temps (PNT) sont les outils indispensables à la prévision météorologique. Les principales variables d'intérêt pour le temps sensible sont la température et l'humidité proche de la surface, la vitesse du vent et les précipitations. En conséquence, les scores permettant d'évaluer ces modèles de PNT s'appuient essentiellement sur ces variables. Avec le développement des énergies renouvelables (EnR) et les attentes fortes de ce secteur en termes de prévision de variables plus pertinentes (vent à 100 m, couverture nuageuse etc.), les modèles de PNT suscitent de plus en plus d'intérêt. C'est le cas par exemple des prévisions de rayonnement solaire (SW), essentielles pour faciliter l'intégration de la production électrique provenant de la ressource solaire dans le mix énergétique national ou européen. Jusqu'à récemment, les performances du modèle AROME (le modèle de PNT à aire limitée utilisé opérationnellement à Météo-France ; Seity et al., 2011) en termes de rayonnement SW étaient mal connues. Des travaux récents ont permis de développer une méthode d'évaluation basée sur les observations du réseau de pyranomètres de Météo-France. La version d'AROME opérationnelle en 2020 a été évaluée pour les situations dans lesquelles AROME prévoit une fraction nuageuse de 1. Ceci a mis en évidence une compensation entre des biais significatifs, positifs en conditions de nuages hauts et négatifs en conditions de nuages bas (Magnaldo et al., 2023). Ces premiers résultats ont conduit à revisiter certaines des paramétrisations physiques qui contrôlent les propriétés microphysiques et radiatives des nuages, dans le but d'améliorer la qualité des prévisions de rayonnement SW d'AROME.

Objectifs :

L'objectif principal du travail de thèse est d'aboutir à une version déterministe du modèle AROME qui soit optimale pour la prévision du rayonnement solaire, et qui pourra être utilisée pour alimenter le secteur en pleine expansion de l'énergie solaire. Dans un premier temps il faudra poursuivre le travail d'évaluation du modèle AROME initié ces dernières années afin d'aborder les cas de fraction nuageuse partielle. Il faudra donc se focaliser sur l'évaluation de la fraction nuageuse, qui au premier ordre contrôle les flux SW et n'a jamais été évaluée. Pour ce faire, une méthodologie d'évaluation de la fraction nuageuse sera développée, qui s'appuiera sur 3 types d'observations. Les données à la fréquence minute du réseau de pyranomètres de Météo-France seront analysées à l'aide de l'algorithme de Long et al. (2006) et fourniront une fraction nuageuse dans la direction du Soleil. Les mesures du réseau de télémètres donneront une indication complémentaire sur la fraction nuageuse au zénith. Enfin les observations satellite à haute résolution (environ 50 m) des satellite Sentinel-2A et 2B fourniront une troisième estimation de la fraction nuageuse (Coluzzi et al., 2018). Ces 3 approches seront appliquées aux prévisions AROME et comparées entre elles. Les résultats de cette évaluation donneront des pistes d'amélioration pour la paramétrisation de la couverture nuageuse dans AROME. Dans un second temps, et en lien avec d'autres travaux menés principalement au CNRM, différentes modifications des paramétrisations physiques d'AROME seront évaluées en terme de rayonnement SW, en complément des scores classiquement utilisés pour évaluer les prévisions. Ces modifications des paramétrisations physiques concerneront la microphysique nuageuse, le schéma de condensations sous-maille, la convection peu profonde ou le schéma de rayonnement. Seront en particulier testées les configurations d'AROME qui constituent aujourd'hui le système de prévision d'ensemble AROME.

Plan de travail :

Année 1 :

- Mise en place des 3 méthodologies d'évaluation de la fraction nuageuse
- Évaluation de la fraction nuageuse d'AROME sur toute la France
- Évaluation détaillée sur le site du SIRTA pour affiner l'évaluation sur la verticale
- Propositions d'amélioration de la paramétrisation de la fraction nuageuse dans AROME

Année 2 :

- Application de la méthode d'évaluation du rayonnement SW (Magnaldo et al., 2023) et de la fraction nuageuse au système de prévision d'ensemble AROME
- Identification des biais systématiques au travers de l'ensemble ou de membres qui se dégageraient comme étant particulièrement performants
- Évaluation en termes de rayonnement SW de diverses configurations d'AROME basées sur des travaux récents réalisés au CNRM, y compris ceux réalisés en Année 1

Année 3 :

- Construction d'une configuration optimale appelée SOLAROME
- Évaluation détaillée de SOLAROME en termes de rayonnement SW
- Évaluation de SOLAROME au regard de la production photovoltaïque du réseau BDPV
- Évaluation en termes de scores classiques de SOLAROME pour un éventuel transfert vers l'opérationnel

Profil recherché :

Master en physique de l'atmosphère ou équivalent, avec idéalement expérience préalable en physique des nuages ou transfert radiatif. Intérêt à développer des modèles numériques, et aisance avec la manipulation de jeux de données conséquents et variés. Bonne communication écrite et orale, y compris en anglais. Curiosité intellectuelle, rigueur et capacité à travailler en autonomie.

Encadrants :

- Christine Lac, christine.lac@meteo.fr, directrice de thèse
- Quentin Libois, quentin.libois@meteo.fr, co-directeur de thèse
- Sébastien Riette, sebastien.riette@meteo.fr, co-directeur de thèse

Financement et collaborations envisagées:

La thèse est financée par le projet Fine4Cast, lui-même financé par le PEPR TASE (Techniques Avancées des Systèmes Énergétiques). Fine4Cast vise à améliorer la prévision à court terme (quelques minutes à quelques jours) de la production d'EnR et de la consommation d'électricité à fine échelle. Le travail de thèse s'effectuera au CNRM, mais en étroite collaboration avec les partenaires du projet : ARMINES, Université de la Réunion, LMD, G2Elab.

Procédure de candidature :

Les candidat·e·s enverront un CV, une lettre de motivation et le nom de 3 références à Christine Lac et Quentin Libois. La date limite pour candidater est fixée au 31 juillet. Le doctorat commencerait à l'automne 2023.

Setting up an optimal version of the AROME model for solar irradiance forecasts

Context

Numerical weather prediction (NWP) models are essential tools for weather forecasting. The main variables of interest for sensitive weather are near-surface temperature and humidity, wind speed and precipitation. As a result, the scores used to evaluate these NWP models are essentially based on these variables. With the development of renewable energy sources (RES) and the high expectations of this sector in terms of forecasting more relevant variables (wind at 100 m, cloud cover, etc.), NWP models are becoming very attractive. This is the case, for example, with solar radiation (SW) forecasts, which are essential for the integration of electricity production from solar resources into the national or European energy mix. Until recently, the performance of the AROME model (the limited-area NWP model used operationally at Météo-France; Seity et al., 2011) in terms of SW radiation was poorly known. However recent work has led to the development of an evaluation method based on observations from the Météo-France pyranometer network. The version of AROME operational in 2020 has been evaluated for situations in which AROME predicts a cloud fraction of 1. This has shown compensation between significant biases, positive under high cloud conditions and negative under low cloud conditions (Magnaldo et al., 2023). These initial results have led to revisiting some of the physical parameterizations that control the microphysical and radiative properties of clouds, with the aim of improving the quality of AROME's SW radiation forecasts.

Objectives

The main aim of this thesis is to produce a deterministic version of the AROME model that is optimal for solar radiation forecasts, and that can be used to support the rapidly expanding solar energy sector. As a first step, the evaluation of the AROME model initiated in recent years needs to be continued, in order to address the cases with partial cloudiness. This means focusing on the evaluation of the cloud fraction itself, which controls SW fluxes at first order and has never been evaluated. To this end, we will develop a methodology for assessing the actual cloud fraction, based on 3 types of observations. Minute-frequency data from the Météo-France pyranometer network will be analyzed using the algorithm of Long et al. (2006) to provide the cloud fraction in the Sun's direction. Measurements from the ceilometers network will give a complementary indication of the cloud fraction at zenith. Finally, high-resolution satellite observations (around 50 m) from the Sentinel-2A and 2B satellites will provide a third cloud fraction estimate (Coluzzi et al., 2018). These 3 approaches will be applied to AROME forecasts and compared with each other. The results of this evaluation will provide suggestions for improving the parameterization of cloud cover in AROME. Secondly, and in conjunction with other work being carried out at CNRM, various modifications to AROME's physical parameterizations will be evaluated in terms of SW radiation, in addition to the scores conventionally used to evaluate forecasts. These modifications of the physical parameterizations will concern cloud microphysics, sub-grid condensation, shallow convection and radiatio. In particular, the AROME configurations that currently make up the AROME ensemble forecasting system will be tested.

Work plan :

Year 1:

- Setting up the 3 cloud fraction evaluation methodologies
- Evaluation of the AROME cloud fraction over France
- Detailed evaluation on the SIRTA site to refine the vertical evaluation
- Suggestions for improving the parameterization of the cloud fraction in AROME

Year 2:

- Application of the SW radiation (Magnaldo et al., 2023) and cloud fraction evaluations to the AROME ensemble forecasting system
 - Identification of systematic biases in the ensemble or in members that would appear to be particularly efficient
 - Evaluation in terms of SW radiation of various AROME configurations based on recent work carried out at CNRM, including that carried out in Year 1

Year 3:

- Construction of an optimal AROME configuration called SOLAROME
- Detailed evaluation of SOLAROME in terms of SW radiation
- Evaluation of SOLAROME in terms of photovoltaic production with BDPV data
- Evaluation of SOLAROME in terms of classic scores for possible transfer to operational use.

Profile required:

Master's degree in atmospheric physics or equivalent, ideally with previous experience in cloud physics or radiative transfer. Marked interest in developing numerical models, and comfortable at handling large data sets of various types. Good written and oral communication skills, including in English. Intellectual curiosity, rigor and ability to work independently.

Supervisors :

- Christine Lac, christine.lac@meteo.fr, thesis director
- Quentin Libois, quentin.libois@meteo.fr, thesis co-supervisor
- Sébastien Riette, sebastien.riette@meteo.fr, thesis co-supervisor

Funding and planned collaborations:

The thesis is funded by the Fine4Cast project, itself funded by PEPR TASE (Techniques Avancées des Systèmes Énergétiques). Fine4Cast aims to improve short-term forecasting (minutes to days) of renewable energy production and fine-scale electricity consumption. The thesis work will be carried out at CNRM, but in close collaboration with the project partners: ARMINES, Université de la Réunion, LMD, G2Elab.

Application procedure :

Applicants should send a CV, a letter of motivation and the names of 3 referees to Christine Lac and Quentin Libois. Deadline for application is on July 31st. The start of the PhD is planned for Fall 2023.

References :

- Coluzzi, R., Imbrenda, V., Lanfredi, M., & Simoniello, T. (2018). A first assessment of the Sentinel-2 Level 1-C cloud mask product to support informed surface analyses. *Remote sensing of environment*, 217, 426-443.
- Long, C. N., Ackerman, T. P., Gaustad, K. L., & Cole, J. N. S. (2006). Estimation of fractional sky cover from broadband shortwave radiometer measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D11).
- Magnaldo, M.-A., Libois, Q., Riette, S., & Lac, C. (2023). Evaluation of surface shortwave downward radiation forecasts by the numerical weather prediction model AROME *Submitted to Geophysical Model Development*
- Seity, Y., Brousseau, P., Malardel, S., Hello, G., Bénard, P., Bouttier, F., ... & Masson, V. (2011). The AROME-France convective-scale operational model. *Monthly Weather Review*, 139(3), 976-991.