



## Titre du sujet de thèse proposé :

### **Vers une utilisation des radars embarqués à bord de satellites pour améliorer les prévisions des modèles de Prévision Numérique du Temps à l'échelle globale.**

## Résumé du sujet :

Afin de fournir des prévisions réalistes à l'échelle globale, les modèles de Prévision Numérique du Temps (PNT) nécessitent l'utilisation d'observations, pour d'une part, valider les processus physiques qu'ils décrivent, et d'autre part, les initialiser par des méthodes d'assimilation de données. Bien que de nombreux événements à forts enjeux sociaux-économiques prennent leur origine sur mer (événement cévenols, tempêtes des moyennes latitudes, cyclones, etc.), la plupart des observations conventionnelles se trouvent sur les continents. Les observations satellitaires sont donc des atouts indéniables pour initialiser ces modèles afin de permettre des prévisions les plus fiables possibles. Des progrès importants ont été réalisés depuis une dizaine d'années grâce à l'exploitation de ces observations dans les zones nuageuses et précipitantes. Toutefois, la plupart des observations satellitaires actuellement utilisées en PNT sont seulement représentatives d'une information intégrée sur la verticale, et ne permettent donc pas d'avoir accès à la structure tridimensionnelle des nuages observés. Les radars embarqués à bord de satellites sont quant-à-eux capables d'échantillonner les nuages avec une haute résolution verticale et horizontale. Il est dès à présent possible de bénéficier des réflectivités observées par les radars du Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) embarqués depuis 2015 à bord du satellite Global Precipitation Measurement (GPM, Hou et al. 2014) de la NASA, et prochainement du Cloud Profiling Radar (CPR) du satellite EarthCare (Illingworth et al. 2015) de l'agence spatiale européenne, dont le lancement est prévu pour le milieu de la thèse proposée. L'engouement pour ces observations ne cesse d'augmenter au sein de la communauté internationale avec plusieurs missions à l'étude. Un exemple est le projet WIVERN (Illingworth et al. 2018), qui a pour ambition d'embarquer un radar à nuages Doppler à balayage conique permettant d'avoir une fauchée au sol de 800 km. Un autre exemple porté par une startup américaine prévoit le lancement d'une constellation de radars à nuages embarqués à bord de petits satellites (<https://www.tomorrow.io/space/>). De récentes études menées au CEPMMT ainsi qu'au centre de prévision japonais ont démontré la valeur ajoutée par de telles observations pour initialiser leur modèle respectif et améliorer les prévisions qui en découlent.

L'objectif de la thèse est donc d'améliorer les prévisions des événements à forts enjeux en travaillant sur les conditions initiales du modèle de PNT global ARPEGE de Météo-France grâce à l'assimilation des réflectivités observées par radars satellitaires. À Météo-France, la technique d'assimilation actuellement employée (Caumont et al. 2010, Wattrelot et al. 2014) pour assimiler les radars météorologiques au sol n'est pas optimale car elle ne permet pas de créer des précipitations ou des nuages dans le modèle si celui-ci n'a pas été préalablement capable d'en créer dans le voisinage de l'observation radar. De plus, cette méthode d'assimilation ne permet pas de tirer pleinement profit de l'information apportée par le radar. En effet, bien que les radars soient sensibles aux hydrométéores au sein des nuages observés, cette méthode d'assimilation repose sur une inversion bayésienne des réflectivités en profils d'humidité, qui sont ensuite injectés dans le modèle de PNT. De récents progrès à Météo-France vont permettre de directement modifier les hydrométéores dans l'état initial en utilisant une méthode d'assimilation ensembliste dite « 4DEnVar » (Desroziers et al.



2014). Cette thèse propose d'assimiler directement les réflectivités observées par des radars satellitaires en utilisant le système d'assimilation 4D-EnVar du modèle ARPEGE.

Pour préparer l'assimilation opérationnelle du CPR de EarthCare dans le modèle global ARPEGE, les données fournies par le DPR seront dans un premier temps utilisées afin de mettre en place le cadre technique d'assimilation. Cet instrument a l'avantage de posséder deux radars opérant à des fréquences différentes, dont l'une permet d'avoir une sensibilité plus accrue aux précipitations, et l'autre aux particules nuageuses. L'utilisation du DPR permettra donc d'assimiler des réflectivités radar dans des conditions météorologiques variées et de préparer l'assimilation des réflectivités du CPR dès le milieu de la thèse. Certains jalons devront être réglés comme par exemple le choix de l'erreur d'observation qui permet d'accorder un poids plus ou moins fort à notre nouvelle observation. Une méthode ensembliste permettant de rendre compte de la variabilité des paramètres microphysiques selon les situations météorologiques sera considérée. L'impact de l'assimilation des réflectivités radar sera ensuite quantifié à l'aide d'instruments satellitaires également sensibles aux nuages et aux précipitations. Enfin les améliorations des prévisions numériques avec le modèle ARPEGE selon les différentes régions du globe et les différentes situations météorologiques (notamment les événements ayant un fort impact socio-économique) seront quantifiées.

## Bibliographie :

- Desroziers G, Camino JT, Berre L. (2014). 4D-EnVar: Link with 4D state formulation of variational assimilation and different possible implementations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 140: 2097–2110. <https://doi.org/10.1002/qj.2325>.
- Hou, A. Y., et al. (2014). The Global Precipitation Measurement Mission, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701-722. Retrieved Jan 26, 2022, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/5/bams-d-13-00164.1.xml>
- Illingworth, A. J et al. (2015). The EarthCARE Satellite: The Next Step Forward in Global Measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(8), 1311-1332. Retrieved Jan 26, 2022, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/96/8/bams-d-12-00227.1.xml>
- Illingworth, A. J., et al. (2018). WIVERN: A New Satellite Concept to Provide Global In-Cloud Winds, Precipitation, and Cloud Properties, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(8), 1669-1687. Retrieved Jan 26, 2022, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/99/8/bams-d-16-0047.1.xml>

## Compétences souhaitées du candidat :

Le(la) candidat(e) souhaité(e) aura un diplôme d'école d'ingénieur ou de Master 2 de recherche. Il(elle) sera familier(ère) d'un ou de plusieurs points suivants : télédétection spatiale, assimilation de données, mathématiques appliquées ou physique de la mesure. Un bon niveau de programmation est requis.

## Valorisation du projet de thèse :

Les résultats seront valorisés par des publications à comité de lecture ainsi que dans des conférences internationales et nationales. De plus, L'unité d'accueil conduit les développements scientifiques et techniques nécessaires à l'évolution des chaînes de PNT opérationnelles à Météo-France. Les travaux



de cette thèse pourront donc être valorisés dans une future version des modèles opérationnels de Météo-France. Enfin, les encadrants sont impliqués dans la définition de certaines futures missions satellitaires embarquant des radars météorologiques. Ainsi, les résultats de cette thèse seront valorisés et exploités par les différents partenaires internationaux lors de la spécification des futurs radars satellitaires pouvant servir à la prévision numérique du temps.

### Encadrement :

La direction et l'encadrement de la thèse seront réalisés par **Philippe Chambon** ([philippe.chambon@meteo.fr](mailto:philippe.chambon@meteo.fr)), chercheur HDR au CNRM/GMAP/OBS. . La co-direction sera assurée par **Mary Borderies** ([mary.borderies@meteo.fr](mailto:mary.borderies@meteo.fr)), qui est également chercheure au CNRM/OBS.

### Localisation :

Ce projet de recherche s'effectuera au **CNRM au sein du GMAP dans l'équipe OBS** à Toulouse, France.