



**HAL**  
open science

**Modélisation du comportement pluriannuel de  
l'atténuation due à la pluie en bande Ka en Guyane  
française à l'aide d'un simulateur atmosphérique  
reposant sur un modèle de prévision météorologique à  
haute résolution**

Valentin Le Mire, Julien Queyrel, Laurent Castanet, Laurent Féral, Xavier  
Boulangier

► **To cite this version:**

Valentin Le Mire, Julien Queyrel, Laurent Castanet, Laurent Féral, Xavier Boulangier. Modélisation du comportement pluriannuel de l'atténuation due à la pluie en bande Ka en Guyane française à l'aide d'un simulateur atmosphérique reposant sur un modèle de prévision météorologique à haute résolution. Colloque propagation SEE et DGA, Nov 2021, Rennes, France. hal-03519843

**HAL Id: hal-03519843**

**<https://hal.science/hal-03519843>**

Submitted on 10 Jan 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Modélisation du comportement pluriannuel de l'atténuation due à la pluie en bande Ka en Guyane française à l'aide d'un simulateur atmosphérique reposant sur un modèle de prévision météorologique à haute résolution

Valentin Le Mire<sup>1</sup>, Julien Queyrel<sup>1</sup>, Laurent Castanet<sup>1</sup>, Laurent Féral<sup>2</sup>, Xavier Boulanger<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ONERA/DEMR, Université de Toulouse, F-31055 Toulouse - France

<sup>2</sup> Laboratoire d'Aérodynamique

<sup>3</sup> CNES/DSO/RF/ITP

## I. CONTEXTE

Au cours des dernières années, que ce soit dans le secteur civil ou militaire, une certaine évolution des bandes de fréquences utilisées par les satellites de télécommunication a pu être observée. En effet, si les bandes C et Ku étaient grandement utilisées auparavant pour les systèmes de télécommunication, des bandes de fréquences plus élevées sont aujourd'hui exploitées telles que la bande Ka actuellement et les bandes Q/V voire W qui sont envisagées pour le futur proche. Cette montée en fréquence s'explique principalement par un besoin en bande passante grandissant lié à une augmentation significative du nombre d'utilisateurs et d'applications multimédia.

Une deuxième évolution récente dans le domaine des télécommunications par satellite est l'arrivée en masse sur le marché des pays émergents et en voie de développement. Ces pays étant très peuplés, l'utilisation de bandes de fréquences plus élevées telles que la bande Ka permet de réduire la congestion des bandes de fréquences plus conventionnelles.

Cependant, ces deux évolutions s'accompagnent de perturbations de la propagation du signal dans la troposphère. En effet la traversée de la troposphère est source d'atténuations des signaux radio et plus la fréquence du signal augmente plus celles-ci ont un impact important. Aux bandes de fréquences exploitées ici, ce sont les précipitations qui sont le facteur principal d'atténuation du signal. Ceci est d'autant plus problématique dans le contexte défini précédemment que la plupart des pays émergents et en voie de développement actuellement très actifs sur le marché des télécommunications se trouvent en régions tropicales et équatoriales. C'est ici une observation importante car les climats rencontrés dans ces régions sont caractérisés par d'importantes précipitations qui peuvent parfois être bien plus extrêmes que celles rencontrées en milieu tempéré.

La caractérisation du canal de propagation et plus précisément la caractérisation des précipitations dans ce canal est

un sujet d'importance majeure dans le domaine de la propagation. Pour ce faire, dans un premier temps il est nécessaire d'obtenir des données lors d'expérimentation de propagation. Dans un second temps, ces données sont utilisées pour tester les modèles de propagation existants ou pour en développer de nouveaux. Il existe aujourd'hui de nombreux modèles de propagation en bande Ka qui ont été principalement développés pour des climats tempérés mais peu ont été testés en régions tropicales ou équatoriales. Le problème de ces régions est qu'il n'existe aujourd'hui que très peu d'expérimentations de propagation en bande Ka sur des liaisons Terre-Espace, particulièrement en regard du nombre d'expérimentations effectuées en régions tempérées.

Depuis plusieurs années, une alternative envisagée pour entre autre, pallier ce manque de données est l'utilisation de modèles météorologiques à haute résolution associés à des modèles de propagation. Dans cette optique l'ONERA développe et optimise un modèle hybride météorologique-électromagnétique nommé WRF-EMM [1]. Ce modèle est composé d'un modèle météorologique à haute résolution WRF [2] couplé à un module de calcul d'atténuation troposphérique EMM qui permet de générer des statistiques de propagation sur de longues périodes pour tout type de liaisons de radiocommunications opérant à fréquence élevée.

L'utilisation de ce modèle pour reproduire des statistiques d'atténuation due à la pluie en Guyane française est ici présentée sur une période de trois années complètes 2017, 2018 et 2020. En effet, une expérimentation de propagation entreprise par l'ONERA et le CNES sur le Centre Spatial Guyanais (CSG) [3] a permis d'obtenir sur cette durée des données expérimentales d'une disponibilité excellente qui permettent de comparer et évaluer les performances du modèle WRF-EMM. Plus précisément, ces performances sont analysées non seulement d'un point de vue annuel mais aussi d'un point de vue saisonnier et mensuel. En effet, cette région équatoriale subit une saisonnalité très marquée avec des différences de précipitations entre les saisons sèches et humides très importantes, il est donc important de connaître la

capacité du modèle WRF-EMM à reproduire ces effets saisonniers pour obtenir des statistiques d'atténuation due à la pluie non seulement annuelles mais aussi saisonnières et mensuelles.

## II. LE MODELE WRF-EMM

Le fonctionnement global du modèle WRF EMM utilisé ici est brièvement présenté en Figure 1. On peut y voir que le modèle météo WRF est nourri par la base de données de réanalyse ERA5 pour produire des cartes atmosphériques tridimensionnelles avec des résolutions de l'ordre de  $2 \times 2 \text{ km}^2$  et 5 minutes. Ces cartes permettent d'extraire différents paramètres tels que la température, la pression et les différents contenus en eau dans chaque cube atmosphérique. Le module EMM exploite ensuite ces paramètres pour calculer les séries temporelles d'atténuation sur une liaison satellite spécifique. En particulier, l'atténuation due à la pluie est calculée à l'aide de la théorie de Mie pour des gouttes supposées sphériques et d'une distribution de leur taille équivalente à celle utilisée par le modèle WRF.

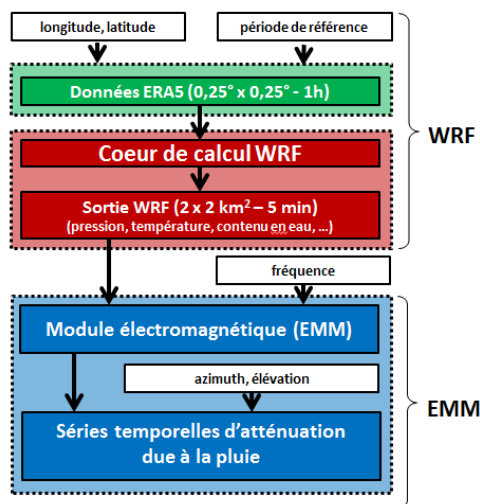


Figure 1 – Fonctionnement global de WRF-EMM

## III. RESULTATS MAJEURS

A l'aide des trois années de données disponibles à Kourou en 2017, 2018 et 2020, une optimisation du modèle WRF a été effectuée pour obtenir une configuration optimale pour la région de Kourou. Au vu des différents résultats obtenus pour chaque configuration testée ainsi que des fortes variations saisonnières observées à Kourou, une configuration hybride a été choisie. En effet, deux configurations micro-physiques sont utilisées selon la saison simulée [4].

Les résultats présentés en Figure 2 représentent les statistiques d'atténuation due à la pluie obtenues pour une liaison radio entre Kourou et le satellite AMAZONAS3 pour la période de référence qui inclut les trois années disponibles : 2017, 2018 et 2020. Les statistiques simulées par WRF-EMM (en tirets) sont comparés aux statistiques expérimentales (trait plein). La statistique annuelle (en noir) est présentée aux côtés des statistiques saisonnières pour chacune des trois saisons identifiées à Kourou :

- la saison sèche d'Août à Septembre (en rouge),
- la saison humide d'Avril à Juin (en bleu),
- la saison transitoire composée du reste de l'année (en vert).

Cette figure fait apparaître la grande variabilité saisonnière observée à Kourou. En effet, l'atténuation due à la pluie en saison humide est bien plus importante que lors de la saison sèche. Le seuil de 20 dB d'atténuation en saison humide est dépassé dès 0,2 % contre moins de 0,02 % pour la saison sèche.

Cette figure permet aussi d'observer la capacité du modèle WRF-EMM à reproduire des statistiques d'atténuation due à la pluie pluriannuelles à Kourou d'un point de vue non seulement annuel mais aussi saisonnier. En effet, pour les forts et moyens pourcentages du temps, le modèle WRF-EMM reproduit très bien la statistique expérimentale. Pour les faibles pourcentages du temps une bonne adéquation entre modèle et données expérimentales apparaît, sauf pour la saison sèche qui est sous-estimée par le modèle.

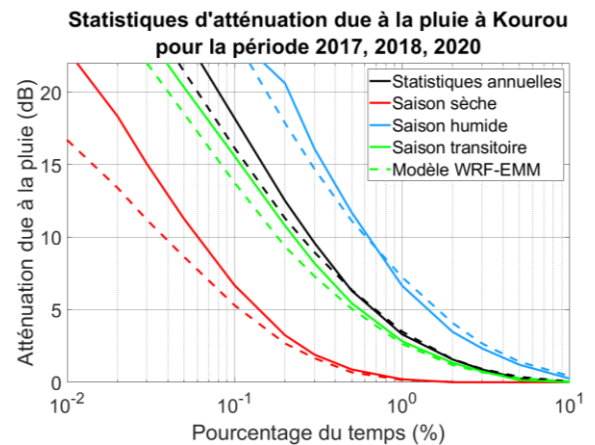


Figure 2 - Statistiques annuelles et saisonnières d'atténuation due à la pluie à Kourou pour la période 2017, 2018 et 2020.

Vu la grande variabilité saisonnière observée dans cette région, cette analyse pluriannuelle a également été entreprise d'un point de vue mensuel pour évaluer la capacité de WRF-EMM à reproduire une granulométrie plus fine. Cette analyse a montré des très bonnes performances de WRF-EMM malgré une certaine variabilité mensuelle, comme illustré en Figure 3.

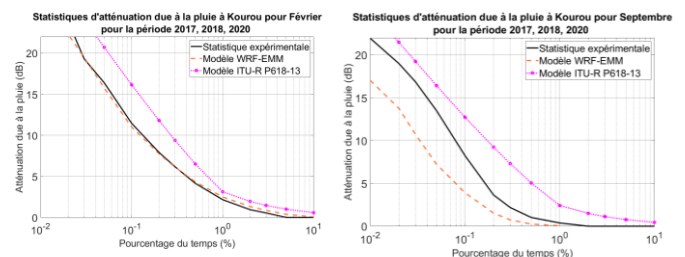


Figure 3 – Exemples de statistiques mensuelles d'atténuation due à la pluie à Kourou pour la période 2017, 2018 et 2020.

## REFERENCES

- [1] M. Outeiral Garcia, N. Jeannin, L. Féral and L. Castanet, "Use of WRF model to characterize propagation effects in the troposphere," 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Suède, 2013.
- [2] W.C. Skamarock et al. "A description of the Advanced Research WRF model version 4," NCAR TN-566+STR, 2019.
- [3] X. Boulanger, B. Benammar and L. Castanet, "Propagation Experiment at Ka-Band in French Guiana: First Year of Measurements," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 18, no. 2, pp. 241-244, Feb. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2018.2887280.
- [4] V. Le Mire. "Modélisation de la propagation Terre-Espace en bande Ka dans les zones tropicales et équatoriales" Thèse de l'Université de Toulouse, Mai 2021