
Caractérisation des perturbations ionosphériques itinérantes induites par les ondes de gravité générées par les orages à l'aide d'un réseau dense de capteurs GNSS

Thomas Farges^{*1}, Elvira Astafyeva², and Elouan Princelle^{1,2}

¹CEA – CEA, DAM, DIF, ArpaJon, France – France

²Institut de Physique du Globe de Paris – Institut National des Sciences de l'Univers, Institut National de l'Information Géographique et Forestière [IGN], Université de la Réunion, Institut de Physique du Globe de Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris Cité – France

Résumé

Les mesures du contenu électronique total (TEC) effectuées au sol à l'aide de récepteurs GNSS (Global Navigation Satellite System) permettent de détecter des phénomènes naturels ou artificiels à travers les perturbations de l'ionosphère, tels que les tremblements de terre, les tsunamis, les explosions de forte puissance ou les lancements de fusées. Ces mesures permettent également de détecter les ondes de gravité générées par des événements météorologiques, tels que les orages (systèmes convectifs). Ces ondes de gravité font l'objet de simulations numériques et peuvent être observées à l'aide de diverses méthodes, dont la mesure du TEC. Des études menées au cours des dix dernières années ont révélé les caractéristiques des ondes de gravité produites par les orages, notamment une amplitude maximale comprise entre 0,1 et 0,6 unité TEC et une période comprise entre 5 et 15 minutes. La taille minimale des orages au-dessus desquels ces ondes peuvent être mesurées a également été déterminée. Ces dernières années, des réseaux denses de récepteurs GNSS et des constellations GNSS (GPS, Galileo, GLONASS et Beidou) se sont développés simultanément. Cela permet de visualiser les perturbations ionosphériques et leur évolution temporelle. L'objectif de cette étude est de caractériser et de cartographier les ondes de gravité induites par les tempêtes lorsqu'elles se propagent dans l'ionosphère. Pour ce faire, nous analysons les mesures TEC prises par environ 1 200 récepteurs GNSS en Europe occidentale. Parmi les vingt situations météorologiques intéressantes entre 2019 et 2024, présélectionnées à partir des données des radars météorologiques et des rapports de localisation des éclairs, cinq tempêtes ont été étudiées en profondeur. L'analyse de la variation temporelle des signaux et des cartes obtenus pendant ces tempêtes montre qu'il est en effet possible de caractériser la distribution spatiale des ondes de gravité émises par les tempêtes. Ces perturbations peuvent être mesurées sur plusieurs heures, avec des amplitudes comprises entre 0,05 et 0,45 unité TEC, des périodes comprises entre 13 et 40 minutes et des vitesses de propagation comprises entre 120 et 165 m/s. Ces caractéristiques sont conformes aux travaux antérieurs et aux résultats théoriques. Il semble que l'amplitude des ondes augmente avec la réflectivité maximale des mesures des radars météorologiques. Pour trois des cinq tempêtes, l'évolution temporelle des ondes a pu être clairement cartographiée, ce qui a permis de mesurer une longueur d'onde d'environ

*Intervenant

200 à 300 km et un diagramme de rayonnement non isotrope en fonction des directions de propagation, comme le prédisaient les modèles. L'émission semble provenir des zones les plus convectives.