

## Soutenance de thèse

**Marine RUFFENACH** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA PSI et intitulée « *Optimisation de têtes de détection pour mesurer les protons et électrons des ceintures de radiations terrestres dans une gamme en énergie étendue* »

**Le 30 septembre 2020 à 14h00, Auditorium ONERA**

devant le jury composé de

M. Sébastien BOURDARIE	Ingénieur de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Benoit LAVRAUD	Directeur de recherche IRAP	
M. Philippe LAURENT	Ingénieur de recherche CEA Saclay	Rapporteur
Mme Carine BRIAND	Astronome Observatoire de Paris	
M. Rubén GARCIA ALIA	Ingénieur de recherche CERN	Rapporteur
M. Laurent DUSSEAU	Professeur Université de Montpellier	

**Résumé :** Depuis le début de la conquête spatiale démarrée en octobre 1957 avec le lancement du satellite Spoutnik-1 par l'ex-URSS, le nombre de satellites envoyés dans l'espace n'a cessé d'augmenter. Cependant, l'environnement spatial terrestre est un milieu hostile pour les satellites artificiels et leurs composants, en particulier à cause des ceintures de radiations peuplées de protons et d'électrons énergétiques. Le département DPHY de l'ONERA étudie les ceintures de radiations et développe des modèles afin de les modéliser, étudie leurs effets sur les équipements des satellites, et conçoit des moniteurs de radiations afin de disposer de mesures in-situ. Des modèles sont disponibles pour connaître l'énergie, le type et la localisation des particules dans les ceintures de radiations. Ils sont créés à partir des mesures faites par les moniteurs de radiations. Cependant, très peu de mesures de protons de faibles énergies (de quelques MeV) sont disponibles. Par ailleurs, les moniteurs de radiations mesurant plusieurs types de particules sur une grande gamme en énergie sont massifs et volumineux, et non adaptés pour être embarqués sur des petits satellites tels que les Cubesats. Les objectifs de cette thèse sont donc de développer une tête de détection capable de mesurer les protons de quelques MeV, et un moniteur de radiations miniaturisé pour mesurer simultanément l'énergie incidente des protons et des électrons. La première partie de cette thèse a été consacrée au développement de la tête de détection de protons de basses énergies compatible avec le moniteur ICARE-NG. La bonne mesure des protons de quelques MeV dépend de la capacité de la tête de détection à limiter la contribution des protons énergétiques et des électrons. Dans ce but, le blindage de la tête est constitué d'une structure sandwich Al-W-Al. Des aimants sont utilisés à l'entrée de la tête de détection afin de dévier les électrons, et le diamètre des diodes est optimisé pour réduire la contribution des protons énergétiques et des électrons. L'analyse des comptages prédits à l'aide des modèles AE-8 et AP-8 montre que l'électronique ne subira pas de saturation et que les protons de basses énergies seront correctement mesurés pour de grandes régions dans les ceintures de radiations. Enfin, le modèle d'essai de la tête de détection est fabriqué, et le modèle de vol sera embarqué sur deux satellites fabriqués par Airbus-DS début 2021. La deuxième partie de la thèse a été consacrée au développement de la tête de détection miniaturisée basée sur l'utilisation du Timepix. L'utilisation de la puce Timepix couplée à un blindage différentiel, ou bien dans un spectromètre magnétique n'ont pas été concluantes. Le traitement des données acquises par le Timepix à l'aide des réseaux de neurones à convolution est quant à lui intéressant et prometteur. Les réseaux de neurones à convolution développés durant cette thèse permettent de discriminer les protons et les électrons d'une part, et de déduire leur énergie incidente afin d'établir des gammes en énergie d'autre part. Ces réseaux sont entraînés sur des données simulées à l'aide de GEANT4, et leur application sur des données réelles acquises par l'instrument SATRAM présent sur le satellite Proba-V depuis 2013 mène à de meilleurs résultats que ceux obtenus jusqu'alors à l'aide d'autres méthodes. Ils permettent de discriminer correctement dans 95 % des cas les protons et les électrons,

et d'établir des gammes en énergie proches de celles obtenues avec d'autres moniteurs de radiations, et ce avec un instrument de 380 grammes.

**Mots-clés :** Tête de détection, Timepix, GEANT4, Monte-Carlo, Ceintures de radiations, Réseau de neurones

**Summary:**

Radiation belts of the Earth are a natural radiative environment very dynamic, harsh for artificial satellites. They are composed of energetic electrons and protons (respectively 10keV-7MeV and 10keV-700MeV). The study of this environment started from the beginning of the Space Age in order to define specifications concerning radiation doses received by spacecrafts. In-situ measurements are very important to improve our knowledge about this harsh environment. ONERA participated to the elaboration of a radiation monitor with CNES, ICARE. However, this monitor is too heavy, too cumbersome and needs too much electrical power to be embedded in a Cubesat. The University of Montpellier is very experienced concerning the definition and the integration of Cubesat through its CSU. The aim of this thesis is to develop a lightweight radiation monitor, smaller and with a consumption compatible with Cubesat. The challenge will be to measure a mixed field of electrons and protons with a miniature sensor. The choice will be based on the sensor Medipix, a sensor composed of hybrid pixels of silicon developed by CERN. The thesis will be composed of several important steps. The first step will be to simulate the response of the Medipix sensor in a mixed field based on GEANT4, a charged particle transport code. Thanks to these results, we will have to propose a strategy of use of the sensor. This sensor has a versatile electronic so a large number of acquisition methods by pixels or by groups are allowed. Several technics can be used together (shielding discriminator, association with a coincidence / anticoincidence system...) in order to optimize capabilities or the selectivity of the sensor. This strategy will have to take into account the users' needs and of the instrument capabilities (particles, énergies, thresholds of detection, geometric factor...) and constraints due to its integration (number of channels, local processing to limit the amount of telemetry...). The second step will be to propose an architecture of the monitor conforming to a Cubesat Platform (electronic interfaces, shielding discriminator, the processing of collected data...). Finally, monitor's calibration experiments may be carried out for example in the irradiation chamber CHARM of CERN to validate the concept. This thesis will take place at ONERA-DESP (Toulouse) and at IES of Montpellier. A co-management between ONERA-DESP and Montpellier/IES will be set up. The thesis will be carried out in collaboration with ONERA, the University of Montpellier, CSU Montpellier-Nîmes, CERN, and the Technical University of Prague.

**Keywords:** Detection head, Timepix, GEANT4, Monte-Carlo, Radiation belts, Neural network