

Modélisation de détecteurs de protons et/ou d'électrons

M. Ruffenach^{1,2}, S. Bourdarie¹, J. Mekki², D. Falguère¹, and J-R. Vaillé³

¹ ONERA, 2 Av. Edouard Belin, FR-31055 Toulouse Cedex 4, France

² CNES, 18 Av. Edouard Belin, 31401 Toulouse, France

³ Université de Montpellier, IES, 860 Rue de St Priest, F-34097 Montpellier, France

Les ceintures de radiations

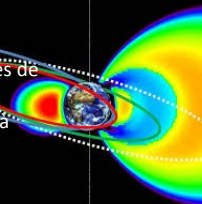
- Particules piégées par le champ magnétique de la Terre (protons et e⁻)
- 1 ceinture protons: centaines de keV à centaines de MeV de 1R_T à 7R_T
- 2 ceintures électrons : quelques MeV de 1,5R_T à 2R_T puis de 4R_T à 8R_T
- Dynamique temporelle

Les Cubesats



La propulsion électrique

- Nouvelle stratégie de mise à poste GEO
- Temps plus important dans les ceintures
- Satellites dimensionnés à l'aide de modèles de radiations : AP8 et AE8
- Sous-estimation du flux protons de 1MeV à 20MeV par AP8



I. Détecteur protons 2-20MeV

Objectifs

Développer un détecteur de protons de 2-20MeV pour étendre les capacités du moniteur de radiations ICARE-NG, et apporter de nouvelles mesures de protons de quelques MeV très peu étudiés par les autres moniteurs de radiations.

ICARE-NG

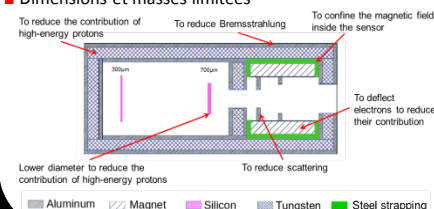
- Développé dans les années 2000 par le CNES et l'ONERA, implémenté sur les satellites Jason-2, Jason-3, SAC-D et E7C.
- Constitué de 3 capteurs pour mesurer protons (A et C) et électrons (B).
- Remplacement du capteur C par le détecteur protons 2-20MeV.



Contraintes et géométrie

Contraintes pour le détecteur protons basses énergies :

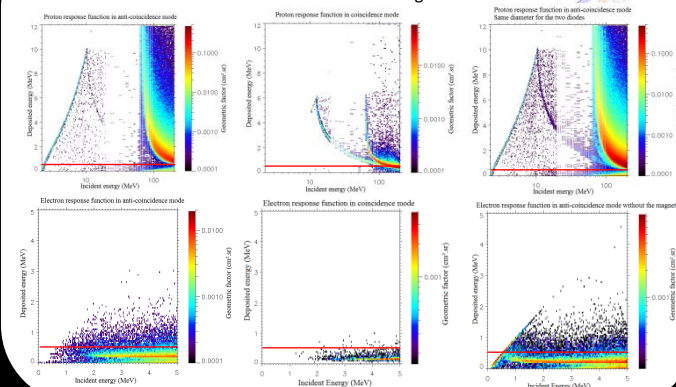
- Deux diodes en silicium avec les modes anti-coïncidence et coïncidence.
- Energie déposée entre 0 et 12MeV
- Dimensions et masses limitées



- Dimensions et masses limitées
- Même distance entre les diodes que le capteur C
- Réduction de la contribution des protons de hautes énergies et des électrons

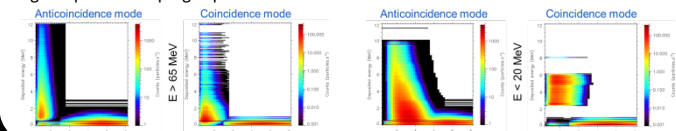
Résultats numériques

- Simulations Monte-Carlo basées sur l'outil GEANT-4 et géométrie du détecteur dessinée et traduite en GEANT-4 avec le logiciel FASTRAD.



Comptages des particules

- Prise en compte des fonctions de réponse et des flux rencontrés de long de l'équateur magnétique → comptages prédits.



Conclusions

- Capacités d'ICARE-NG améliorées aux protons de faibles énergies qui sont peu étudiés
- Détecteur en production à EREMS → modèle d'essai mai 2020 et modèle de vol 09/20.
- Calibrations des capteurs avec des sources radioactives et validation de l'aimant en 2020

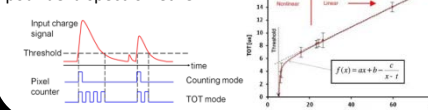
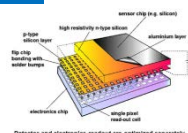
II. Détecteur protons/électrons pour embarquement sur Cubesat

Objectifs

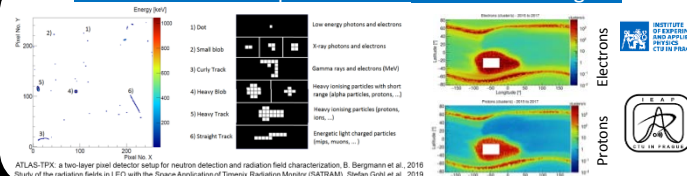
Développer un détecteur capable de discriminer en types et en énergies les particules ionisantes et adapté pour être embarqué sur un Cubesat.

Timepix

- Puce développée par le CERN (amélioration du Medipix 2).
- Matrice de 256 x 256 pixels de taille 55µm x 55µm.
- Trois modes pour chaque pixel : Single particle counting, Time over Threshold (ToT), Time of Arrival (ToA).
- Puce utilisée pour de l'imagerie ou la dosimétrie, pas encore pour de la spectrométrie.

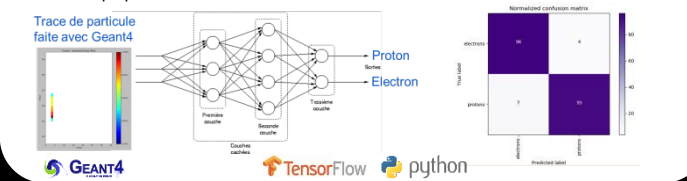


Différenciation des particules – Méthode IEAP Prague



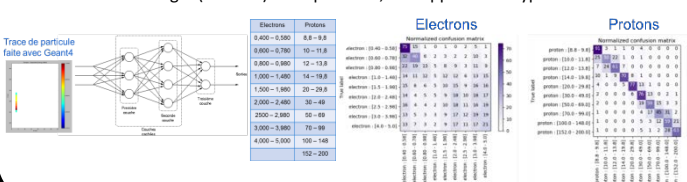
Différenciation protons/électrons - réseau de neurones

- Réseau de neurones à convolution
- Base de données de traces de particules issue de simulations GEANT-4 → particules connues ce qui permet un entraînement fiable et une validation du réseau.



Différenciation en énergie - réseau de neurones

- Prédiction de l'énergie (en MeV) de la particule, en supposant le type connu.



Conclusions et perspectives

- Bonne discrimination des protons et des électrons.
- Difficultés pour prédire l'énergie des électrons mais résultats encourageants pour les protons.
- Traiter le cas où les traces des particules se superposent dans la matrice de pixels à l'aide d'un réseau de neurones capable de repérer les traces superposées et de les séparer.
- Reconnaissance en énergie à l'aide de la régression et non de la classification afin de retourner une valeur avec son erreur associée et non plus une classe en énergie.
- Utilisation des données acquises par l'instrument SATRAM de l'IEAP de Prague qui est équipé d'un Timepix afin de valider l'efficacité du réseau de neurones.