



Test en Radiation du Répéteur Cu/Cu WorldFIP

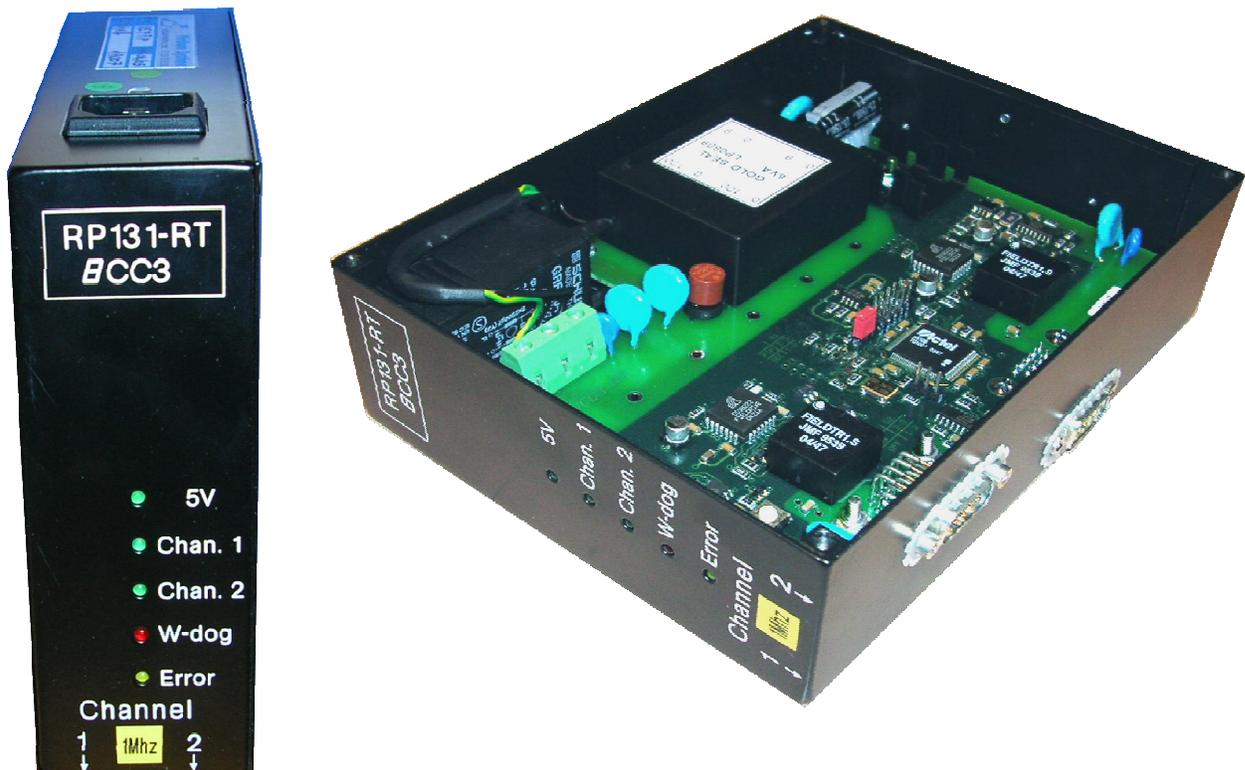
R.BRUN; & J PALLUEL

Keywords: Radiation, Répéteur, FPGA, Proton, Gamma, Neutron, WorldFIP, latch-up, upset, Dose,

Sommaire:

Le répéteur FIP RP 131-RT 8CC3 est dédié au réseau WorldFIP du LHC et fonctionnera dans un environnement radioactif. Il est de ce fait conçu pour être de type « durci aux radiations ».

Comme il pourra être implanté dans la machine LHC loin des points chauds (aimants, collimateurs,...) la dose maximale estimée ne dépassera théoriquement pas 10 et 20Gy/an, soit une moyenne 15Gy /an. Prévu pour une durée de vie de 15 ans, le répéteur FIP RP 131-RT 8CC3 a été conçu pour supporter une dose totale de 225Gy



1. Architecture du répéteur

Le répéteur WorldFIP est construit autour d'éléments résistants ou devant résister aux radiations jusqu'à une dose de 225Gy.

Les principaux composants sont :

- FPGA de type ACTEL anti-Fuse
- Les drivers de ligne WorldFIP
- Le MOS de protection contre les effets latch-up et up-set

La figure 1 montre l'architecture générale de la carte du répéteur.

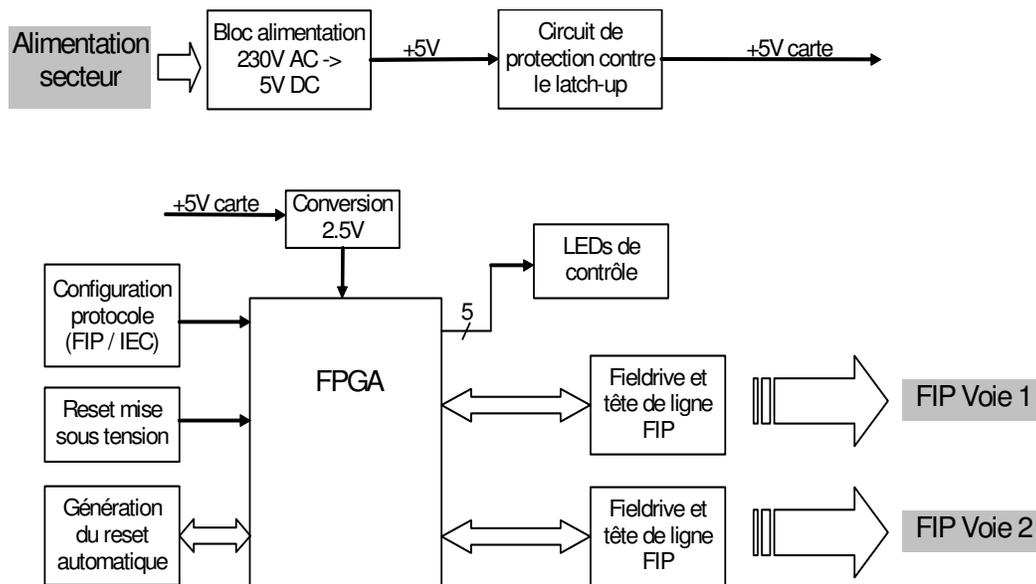


Figure 1 : Architecture générale de la carte

Les principales fonctions HW assurées sont les suivantes :

- Une alimentation 5V avec un régulateur de type balast
- Un dispositif de protection contre les Latch-ups ayant un pouvoir de coupure réglable de 50mA à 1.5A.
- Une intelligence de répétition embarquée dans un FPGA de type ACTEL anti-Fuse qui assure en plus un redémarrage du répéteur en cas d'une inactivité sur le bus WorldFIP.
- Drivers de réseau WorldFIP déjà prouvés aux radiations

2. Alimentation du répéteur (5V)

Une alimentation en 5V est obtenue à partir du 230V secteur. La régulation est de type linéaire (régulateur de type Balast) avec transformateur et pont de diodes.

A noter que les composants intégrés d'alimentation à découpage résistent mal au rayonnement. Elle comporte en entrée un filtre de protection de type Schaffner intégré à la prise secteur.

Les figures 2 et 3 montrent le schéma de cette alimentation.

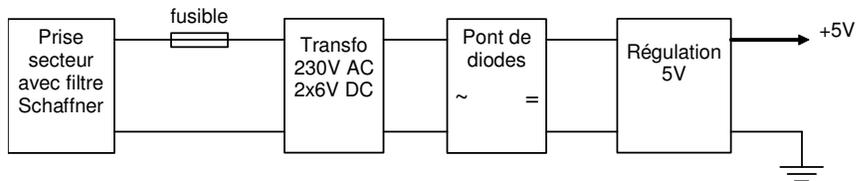


Figure 2 - Principe de l'alimentation

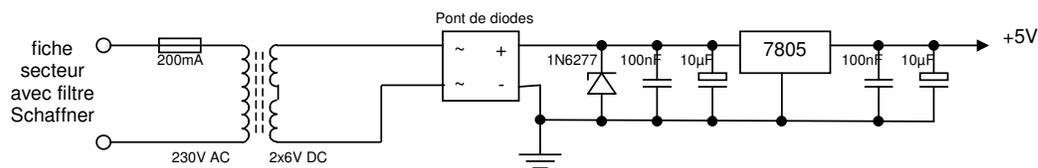


Figure 3 - Schéma de l'alimentation

Nota : Référence du régulateur 5V => LM317 T NL BF 417

3. Protection contre les effets de latch-up

Pour nos conditions, la protection contre le latch-up est activée quand la consommation en courant augmente de plus de 50% par rapport au courant maximum. Son pouvoir de coupure réglable de 50mA à 1.5A.

Réglage et seuil actuels : le courant de seuil maxi est égal à **220 mA** (soit 50 % environ au dessus du courant nominal). Afin de pouvoir modifier ce seuil, il est prévu une résistance variable. Ceci de manière à modifier facilement la valeur du courant seuil, au cas où en cours d'utilisation on s'aperçoit que la valeur choisie ne convient plus.

Pour info : les radiations gamma induisent sur les composants intégrés de la carte électronique des modifications telles que la consommation en courant va augmenter de 1% chaque jour pendant 1 mois environ.

Présentation

Le système retenu pour la protection contre le phénomène de latch-up consiste à couper la ligne d'alimentation avec un MOS de puissance pendant 1 seconde après détection d'une surintensité.

Synoptique

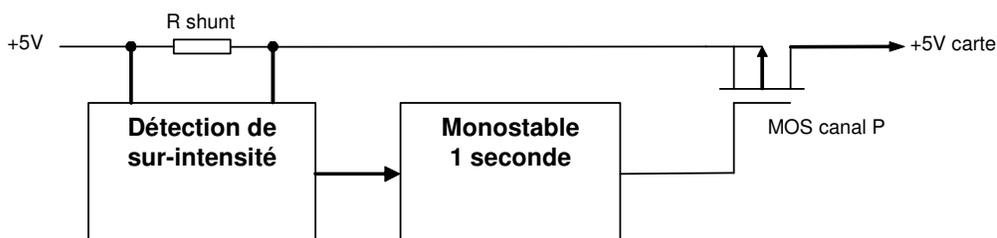


Figure 4 - Principe de protection contre le latch-up

Conception

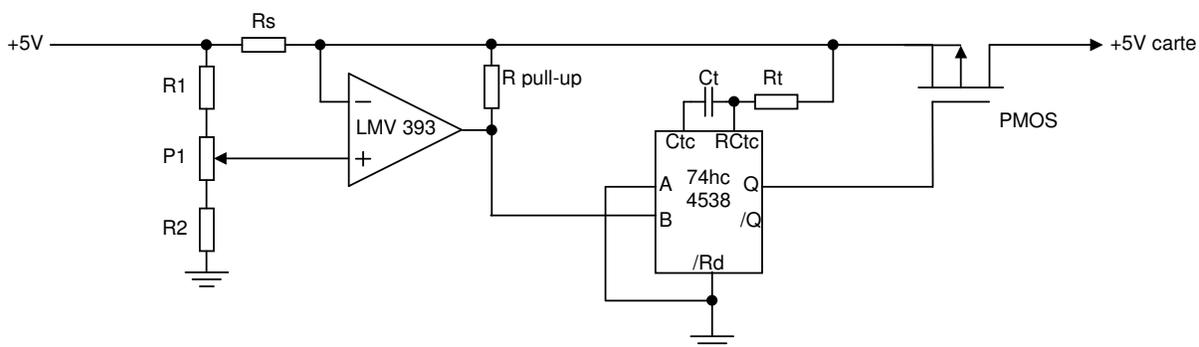


Figure 5 - Schéma de protection contre le latch-up

Remarques

- Le potentiomètre P1 permet d'ajuster le seuil de courant déclanchant la protection de l'alimentation.
- Le comparateur est monté de façon simple, sans hystérésis. Cela ne présente pas d'inconvénient car la sortie est ensuite maintenue pendant une seconde grâce au monostable 74hc4538.
- Le potentiel pic de courant au démarrage se traduira par une inhibition du 5V carte en attendant la stabilisation de l'alimentation. Il n'est donc à priori pas nécessaire de traiter ce phénomène spécifiquement avec une temporisation à la mise sous tension.
- Référence composant
 - Élément de coupure : MOS-FET OD 22-16V
 - Amplificateur de mesure du courant : LMV 393
 - Temporisateur de coupure : CMOS 74HC4538

4. Dispositif de protection contre les effets d'Up-set

Le système de protection contre l'Up-Set est basé sur l'inactivité d'un des deux médiums détectée par le composant FIELDRIVE. Ce dernier engendre un signal qui est traité par une fonction intégrée dans le composant FPGA.

Nota :

- Le composant FPGA est un Actel *ex128* résistant aux radiations.
- Les entrées/sorties sont identiques à celles de l'Altera *EPM7128S*
- L'oscillateur associé est spécifique pour chaque vitesse de répétition, respectivement 4, 16 et 40MHz pour 31.25KB/s, 1MB/s et 2.5MB/s

5. Intelligence de répétition

L'intelligence de répétition est embarquée dans une fonction de composant FPGA
Référence composant : Actel eX128 TQ100.

6. Drivers de réseau WorldFIP

Les « Drivers » de réseau WorldFIP, déjà prouvés aux radiations assurent la génération ou réception des signaux de trames et sont entièrement pilotés par le composant FPGA.

Référence composant : SSSB222 FIELDRIVE 0421A associé au transformateur d'isolement FIELDTRx.S JMF 9539 04/47.

7. Fonctions Reset

Trois fonctions de « Reset » sont implémentées dans le répéteur.

7.1 Reset Automatique

Cette fonction de reset automatique est gérée par le composant FPGA qui contrôle également sa durée.

7.1 Reset MST

Cette fonction de « Reset MST » (Reset à la Mise Sous Tension), est assurée par une chaîne RC. Elle active directement une entrée du FPGA.

7.2 Reset Manuel

Cette fonction de « Reset Manuel » est assurée par un bouton poussoir implanté dans le répéteur et agit de la même manière que le « Reset MST ».

8. Résultats des tests en radiation

8.1 Résultats des tests au rayonnement Gammas dans Pagure au CEA de Saclay

Conditions d'irradiation :

L'irradiation a eu lieu dans les conditions suivantes :

- Source de Cobalt-60
- Irradiation totale de la carte (parties actives)
- Débit de Dose et durée:
 - 1h30 à 20Gy/h (soit à 2.60m de la source)
 - 5h à 60Gy/h (soit à 1.51m de la source)
- Vitesse : 1MB/s.
- Durée du Macro-Cycle : 100ms
- Nombre de variables : 2 (1xRead + 1xWrite sur un FIPDIAG)

Résultats :

1) Première irradiation à 20Gy/h

Aucun défaut fonctionnel n'a été constaté (Up-set, Latch-up et Reset de non répétition)

- Le courant global du module est resté constant à 147mA
- Le système anti-latch-up agissant par coupure de l'alimentation (MOS-FET interrupteur) sur les augmentations volontaires de courant a également bien fonctionné

2) Deuxième irradiation à 60Gy/h

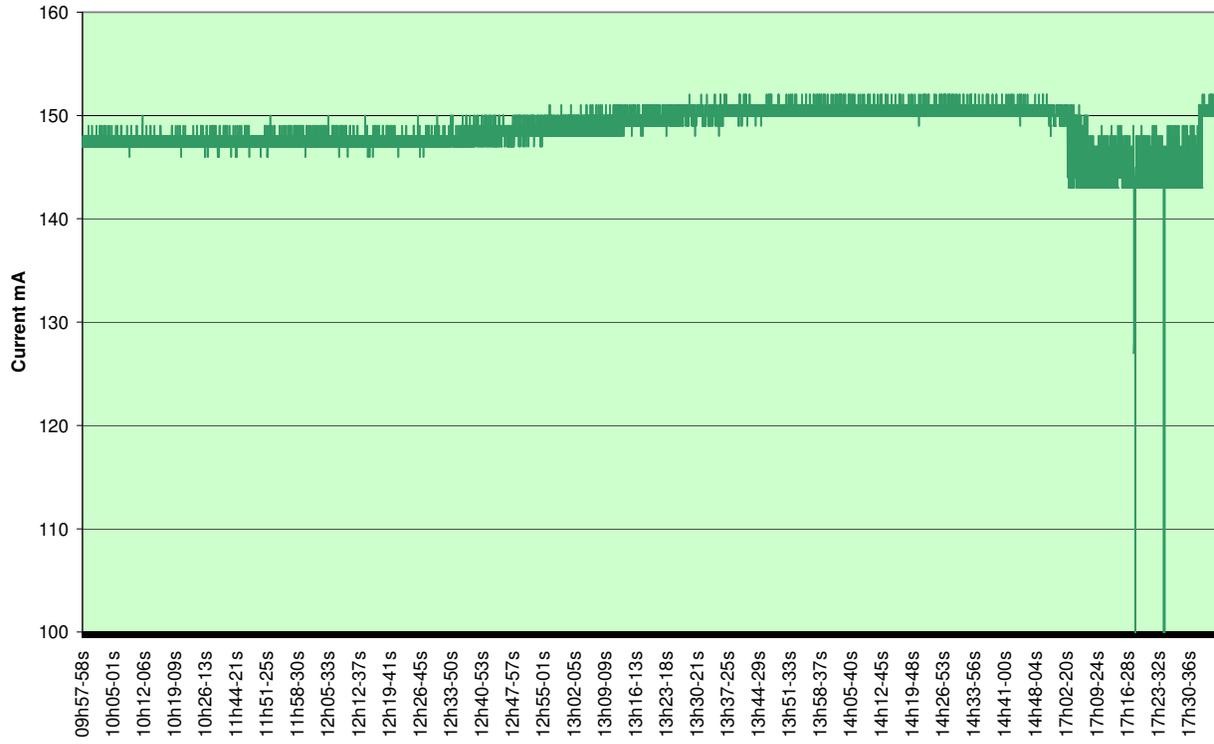
Aucun défaut fonctionnel n'a été constaté (Up-set, Latch-up et Reset) jusqu'à 310Gy où le module a cessé de fonctionner.

Remarques :

- Le courant global du module est passé de 147mA à 152mA avant de redescendre à 148mA juste avant de ne plus fonctionner.
- Nous avons effectué quelques coupures de courant en attendant la fin de ce test. Le module est resté muet.
- Une fois les tests terminés, après 5mn de repos, le module a remarché normalement. Cette constatation est logique car le courant d'alimentation a drainé les charges piégées dans les seuils des MOS et a permis à ces derniers de re-fonctionner correctement. Dans le LHC où les modules subiront une fluence beaucoup plus faible, il ne devrait donc n'y avoir aucun défaut opérationnel lié au rayonnement gamma.

Ces résultats, obtenus dans PAGURE, montrent que nos choix technologiques restent bons.

Repeater Current under Gamma Radiation



Grphe 1 : Variation du courant l'alimentation du module (tests au rayonnement Gammas)

8.2 Résultats des tests aux Protons 60 Mev à Louvain en Belgique.

Conditions d'irradiation :

L'irradiation a eu lieu dans les conditions suivantes :

- Faisceau de Protons (le plus critique pour nous) à 62 Mev
- Flux compris entre 5×10^7 et 5×10^8 P/cm²/s
- Irradiation totale de la carte (parties actives)
- Vitesse : 2.5MB/s
- Durée du Macro-Cycle : 20ms
- Nb variables : 2 (1xRead + 1xWrite sur un FIPDIAG)

Résultats :

- Les bons résultats obtenus aux Protons 60 Mev à Louvain en Belgique ont montré que nos choix technologiques étaient satisfaisants puisque 2 répéteurs 2.5MB/s (vitesse la plus critique) ont tenue respectivement les doses de :
 - 235gy (et 1 Up-Set constaté) sur le 1^{er} répéteur
 - 512gy (et 2 Up-Sets constatés) sur le 2^{ème} répéteur avant l'apparition des premiers défauts.
- Le courant d'alimentation est resté relativement constant sur les 3 modules (voir graphique 1, 2 & 3).
- Le système anti-latch-up agissant par coupure de l'alimentation (MOS-FET interrupteur) sur les augmentations volontaires de courant a également bien fonctionné.

Note :

- 1) Le circuit FPGA (Actel low cost), le principal composant du module a été irradié indépendamment et a résisté, dans les mêmes conditions, à 512gy (le temps nous a manqué pour atteindre ses limites opérationnelles).
- 2) Le système de redémarrage automatique sur un blocage de fonctionnement de la machine d'état (induit par un Up-Set) assurant la répétition du signal WorldFIP, a toujours correctement fonctionné.



Photo 1 : Zone cible montrant le banc d'irradiation

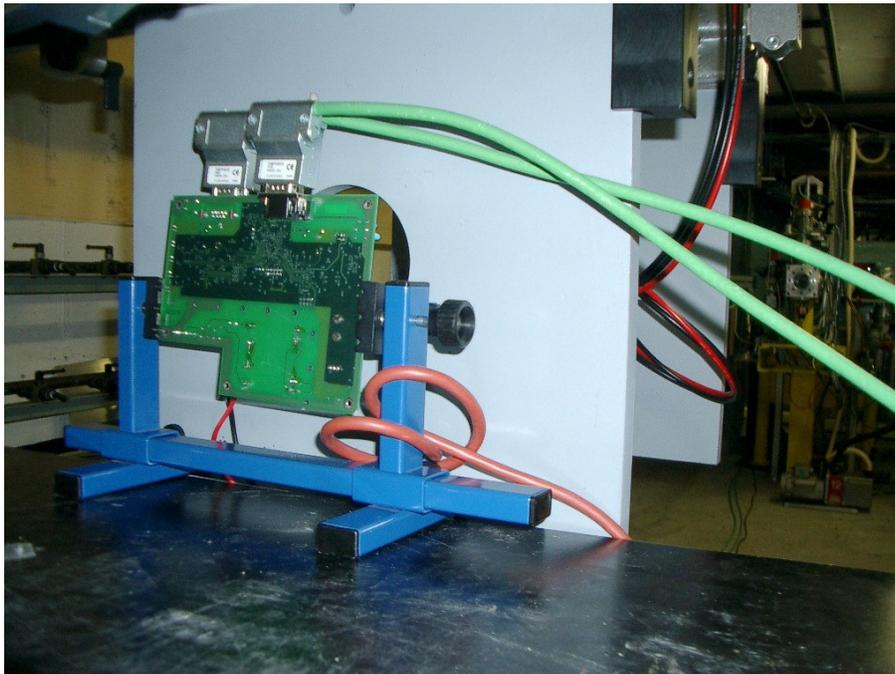
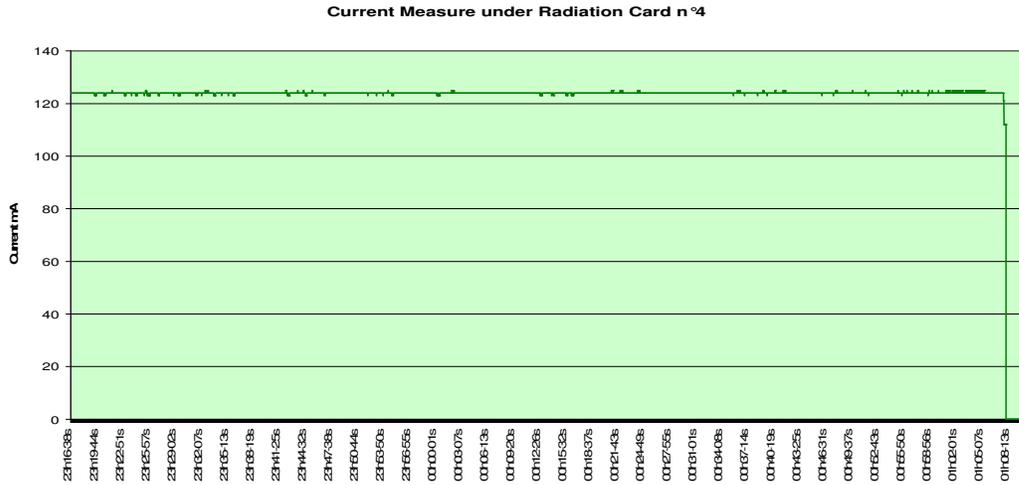


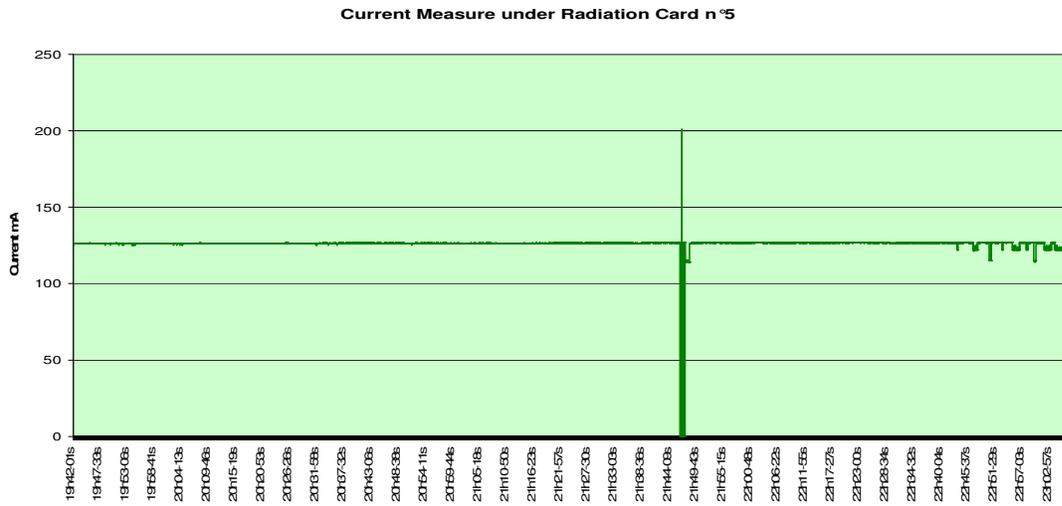
Photo 2 : Installation de la carte répéteur sur le banc d'irradiation



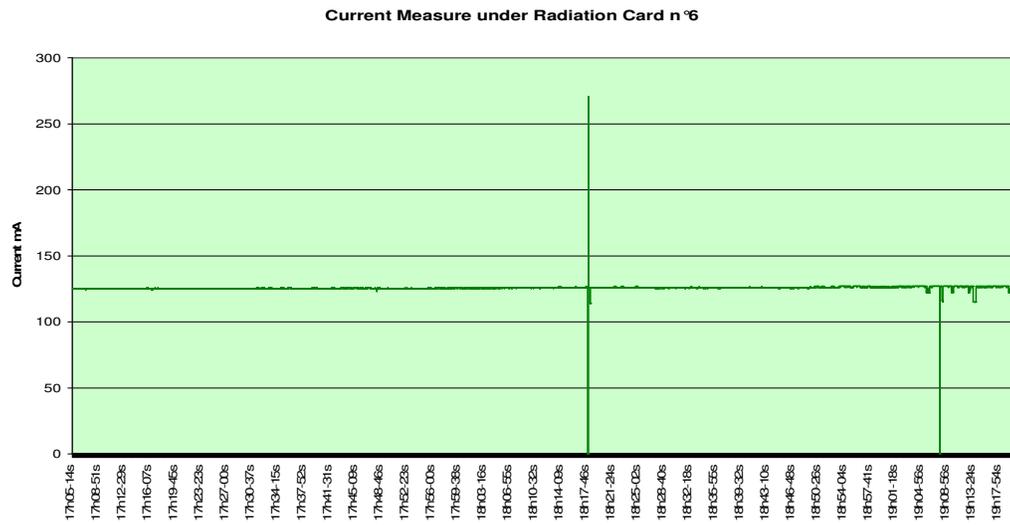
Photo 3 : Collimateur de 100mm montrant la zone irradiée



Grphe 2 : Variation du courant l'alimentation sur le module répéteur No 4



Grphe 3 : Variation du courant l'alimentation sur le module répéteur No 5



Grappe 4 : Variation du courant l'alimentation sur le module répéteur No 6

9. Conclusions

9.1 Relatives au rayonnement Gammas (Cobalt_60)

- Le but fixé des 225Gy a été atteint.
- Aucun défaut fonctionnel n'a été constaté (Up-set, Latch-up et Reset) jusqu'à 310Gy.
- Le courant d'alimentation est resté relativement constant.
- Les résultats, nettement supérieurs à ce but, montrent que les choix technologiques retenus restent bons et que l'opération dans le LHC se déroulera **sans problèmes**.
- Le système anti-latch-up agissant par coupure de l'alimentation (MOS-FET interrupteur) sur les augmentations volontaires de courant a également bien fonctionné.
- Une fois les tests terminés, après 5mn de repos, le module a re-fonctionné normalement. Cette constatation est logique car le courant d'alimentation a drainé les charges piégées dans les seuils des MOS et a permis à ces derniers de re-fonctionner correctement. Dans le LHC où les modules subiront une fluence beaucoup plus faible, il ne devrait donc n'y avoir aucun défaut opérationnel lié au rayonnement gamma.

9.2 Relatives au rayonnement Protons (60Mev)

- Le but fixé des 225Gy a été atteint.
- Les 2 répéteurs 2.5MB/s (vitesse la plus critique) ont tenue respectivement les doses de
 - 235gy (et 1 Up-Set constaté) sur le 1^{er} répéteur
 - 512gy (et 2 Up-Sets constatés) sur le 2^{ème} répéteurAvant l'apparition des premiers défauts.
- Le courant d'alimentation est resté relativement constant sur les 3 modules.
- Le système anti-latchup agissant par coupure de l'alimentation (MOS-FET interrupteur) sur les augmentations volontaires de courant a également bien fonctionné.

Note :

- 1) Le circuit FPGA (Actel low cost), le principal composant du module a été irradié indépendamment et a résisté, dans les mêmes conditions, à 512gy (le temps nous a manqué pour atteindre ses limites opérationnelles).
- 2) Le système de redémarrage automatique sur un blocage de fonctionnement de la machine d'état (induit par un Up-Set) assurant la répétition du signal WorldFIP, a toujours correctement fonctionné.

9.3 Bilan :

- Les bons résultats obtenus montrent que nos choix technologiques restent bons
- Pour être exhaustif, il ne nous resterait maintenant plus qu'une dernière série de tests aux Neutrons, mais vu le faible taux de ces particules dans le LHC, leur faible risque de causer des problèmes et notre manque de disponibilité, ils seront abandonnés pour le moment.

Annexe 1 : Organisation Matériel des Tests en Radiation

