

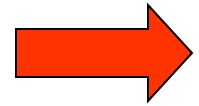
HAMLET

High Altitude Memories Test



Frédéric WROBEL
Université de Montpellier

Plan de l'exposé

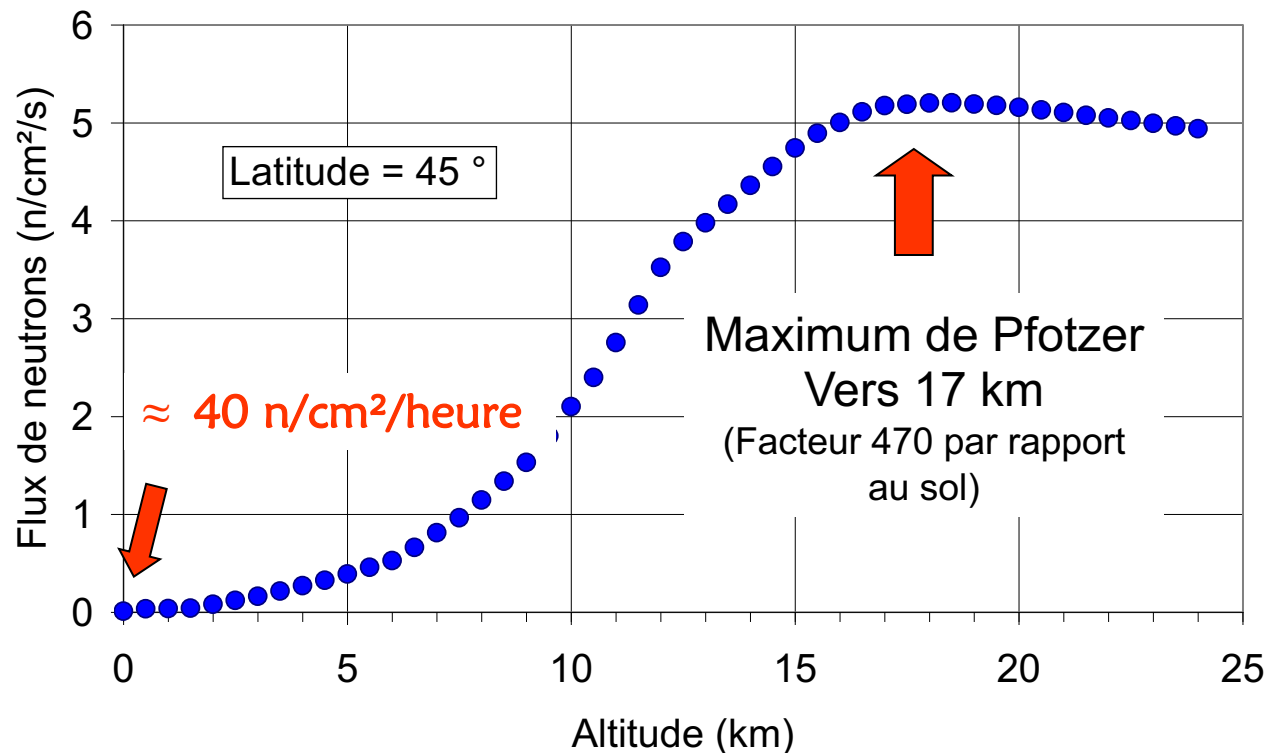


- Présentation du projet
- Les développements
- Les campagnes expérimentales
- Quelques résultats
- Conclusions

CONTEXTE (1/2)

- L'atmosphère est un environnement radiatif
- Le flux de particules croît avec l'altitude
- Le flux de particules croît avec la latitude

Modèle radiatif de la NASA⁽¹⁾



ENJEU : Fiabilité de l'électronique embarquée

⁽¹⁾ IEC/TS 62396-1: 2006, <http://www.iec.ch/>


CONTEXTE (2/2)

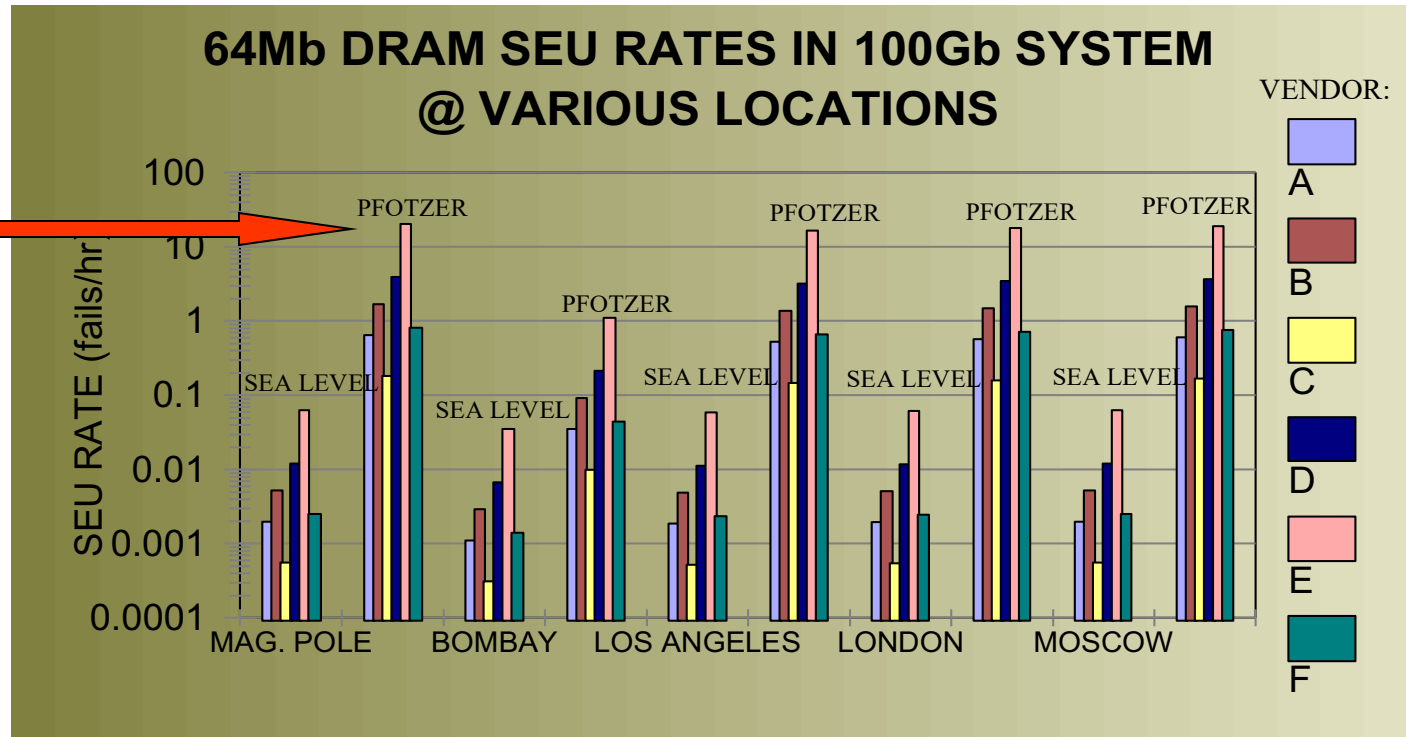
Les particules sont capables de provoquer des dysfonctionnements dans les composants électroniques.

Exemple : Single Event Upset dans les mémoires RAM. L'information d'un bit est modifiée suite au passage d'une particule.

Exemple de calcul prédictif de la NAVY⁽²⁾

20 erreurs
logiques par
heure pour
100Gb et à 17km
d'altitude

 Dépend
fortement de
la technologie
(facteur 100)



⁽²⁾ Nelson, M.E., Sarlese, J.A., Ziegler, J.F., Muhlfeld, h., Peterson, R.J., Campbell, A., Melinger, J.S., Clark, K., Thompson, A.K., "Cosmic Ray Induced Soft Error Rates of Commercial 16 Mb and 64 Mb DRAMS at Aircraft Altitudes", Journal of Radiation Effects, volume 19-1, 2001

Objectifs scientifiques du projet HAMLET (2009-2013)

- Proposer une nouvelle méthode de test
- Recueillir expérimentalement des informations sur l'environnement radiatif naturel
- Faire le lien avec les méthodes existantes
- Valider les outils de simulation
- Prévoir la sensibilité des technologies avancées

Aspect innovant du projet

Utilisation des ballons stratosphériques du CNES pour :

- caractériser l'environnement radiatif à haute altitude
- explorer une nouvelle méthode de test



Partenaires

Université de Montpellier

- 8 personnes + 1 thèse + 1 CDD
- Coordination du projet
- Développement d'un détecteur
- Développement d'un banc SRAM BOBST

CNES (Non financé par l'ANR)

- Ballons stratosphériques

TRAD

- 4 personnes
- Développement d'un banc SRAM

Université de Provence

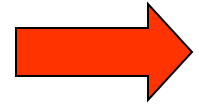
- 3 personnes
- Caméra CCD
- Interface avec le projet ASTEP (test en montagne)

ATMEL (Non financé par l'ANR)

- Fourniture composants (mémoires) + informations technologiques

Plan de l'exposé

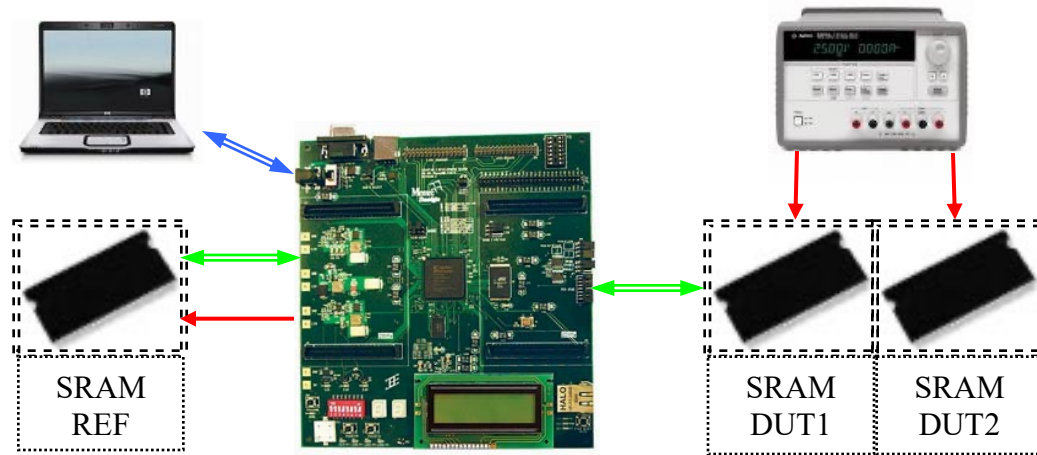
- Présentation du projet
- Les développements
- Les campagnes expérimentales
- Quelques résultats
- Conclusions



Les instruments

- 1 banc de test SRAM développé par TRAD
- 1 banc de test SRAM développé à l'Université de Montpellier
- 1 détecteur « diode » développé à l'Université de Montpellier
- 1 détecteur CCD développé à l'Université de Provence

Le banc de test mémoires de TRAD



Alimentation $V_{dd} = +3.3V$

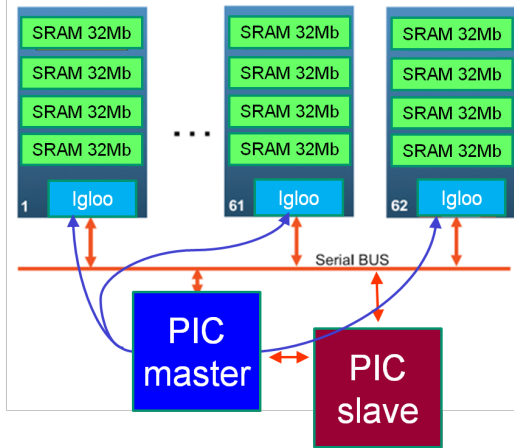
Bus de données, Bus d'adresse, Bus de contrôle
SRAM

Communication USB

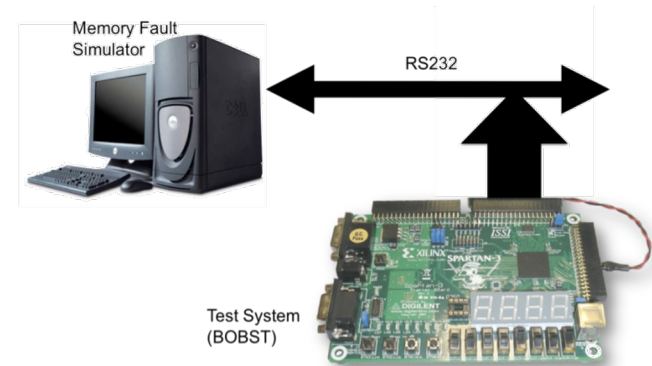
- **Testeur sous faisceau**
- **Comparaison cyclique d'une SRAM de référence et deux SRAM irradiées de taille 8Mbit**
- **Pattern de test sélectionnable**
- **Identification et enregistrement des différents type d'erreurs**

Le banc de test mémoires de l'UM

Test platform

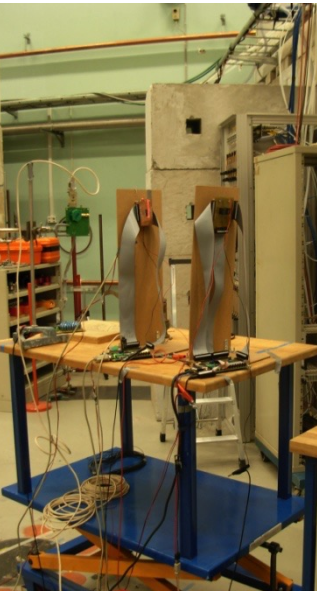


Memory Simulator for BOBST validation

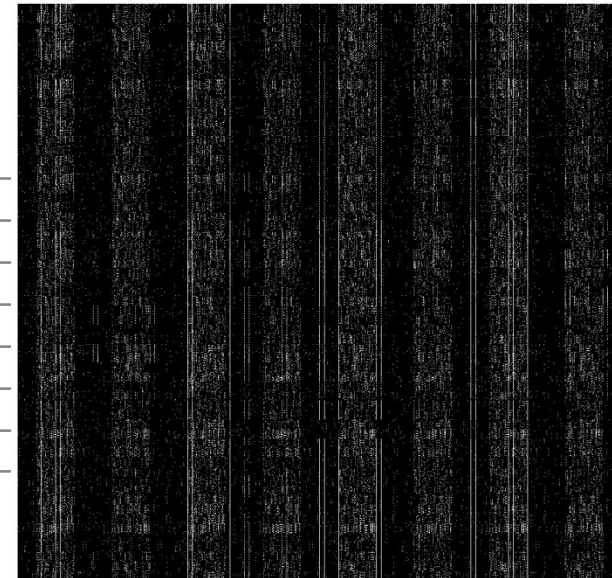
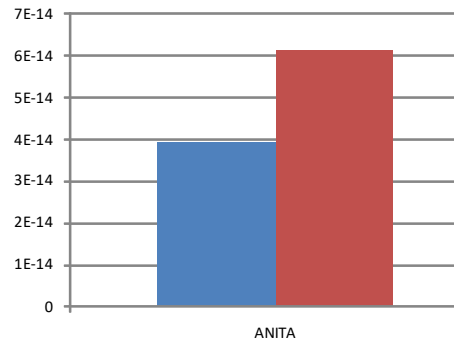
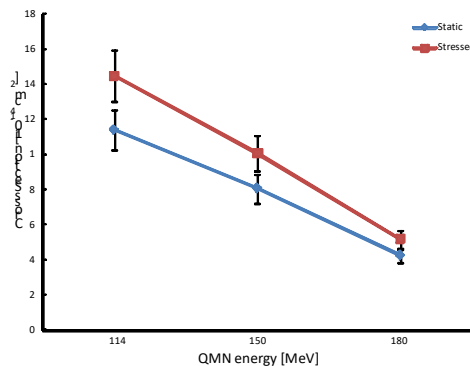


Test @TSL, Sweden

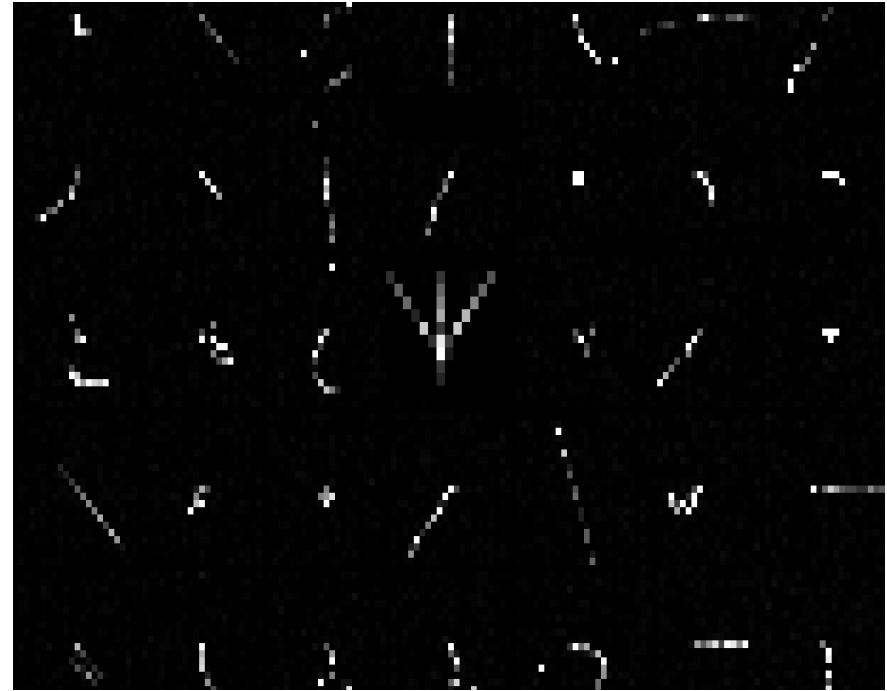
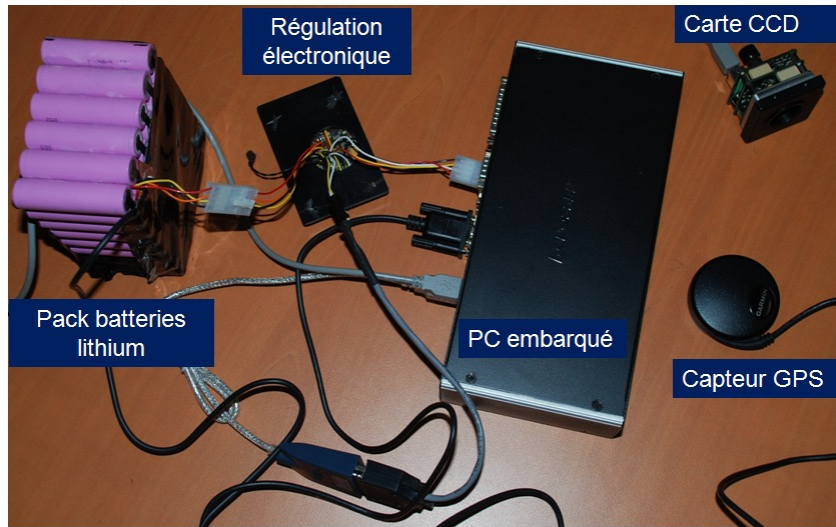
Errors Map



Static vs Dynamic results



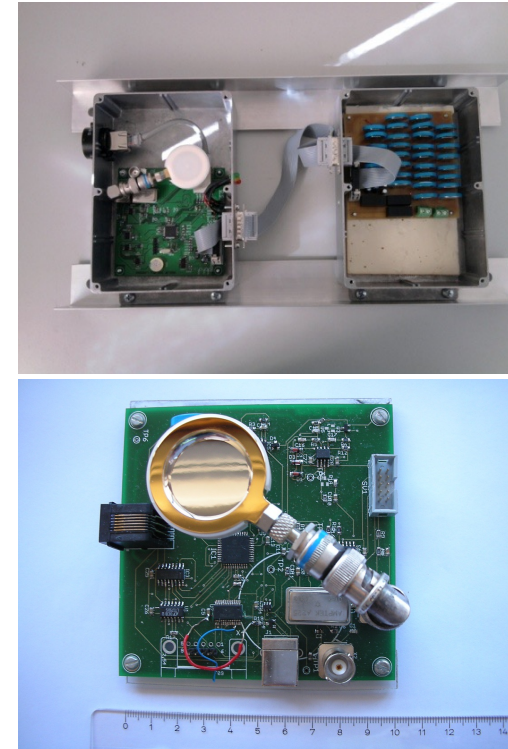
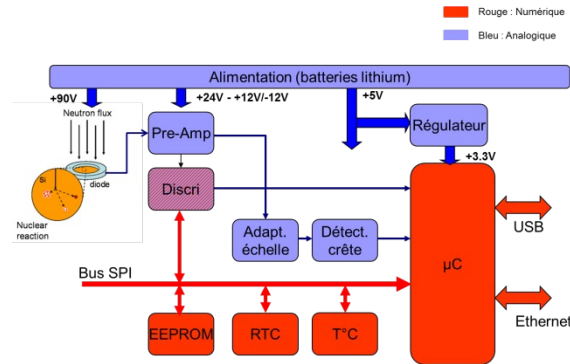
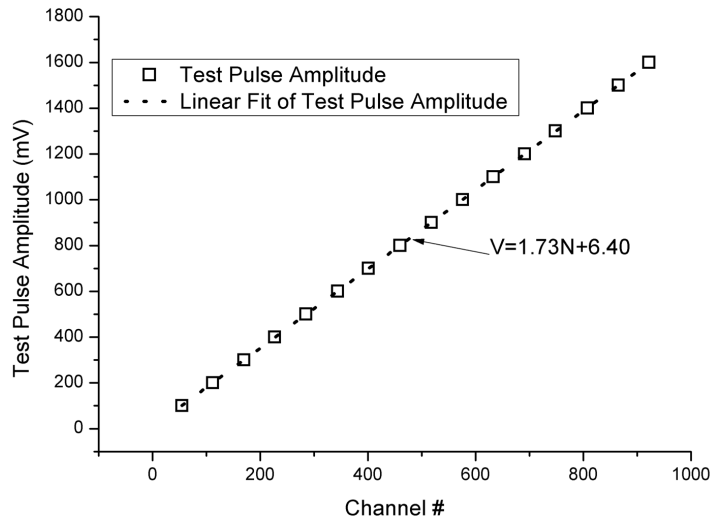
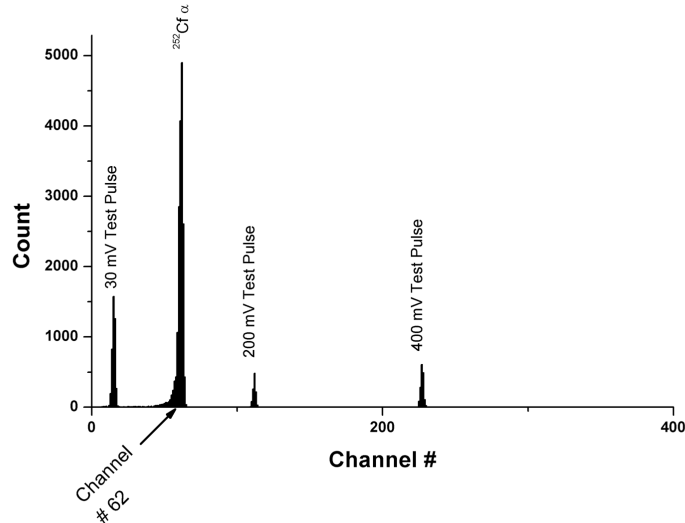
Le détecteur CCD (Univ. Provence)



Exemple de captures d'évènements multiples pour le capteur CCD Sony ICX205AL illustrant les différentes topologies détectées : traces rectilignes simples, doubles et triples, traces ponctuelles, amas de pixels groupés.

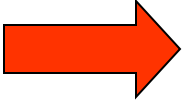
- Détecteur : capteur CCD Sony monochrome 1280x960 pixels (30 mm²)
- Développement complet du logiciel embarqué traitant les frames vidéo
- Horodatage des évènements
- Extraction et sauvegarde des sous-images sur carte flash
- Compression des données sous forme de fichier texte

Le détecteur silicium de l'UM



- Puissance : $<1,5\text{W}$
- Poids : 1kg
- Énergie des ions secondaires $1 \rightarrow 90 \text{ MeV}$
- Seuil ajustable
- Horodatage des événements
- Mesure de la température

Plan de l'exposé

- Présentation du projet
- Les développements
-  • Les campagnes expérimentales
- Quelques résultats
- Conclusions

Les campagnes de vol

- **Initialement** : faire 2 vols de longues durées (qq semaines) pour accumuler suffisamment de données.
- **Problème rencontré** : le CNES a suspendu les campagnes de vols de longue durée
- **Il a fallu repenser le moyen d'atteindre nos objectifs**

Réorganisation des expériences

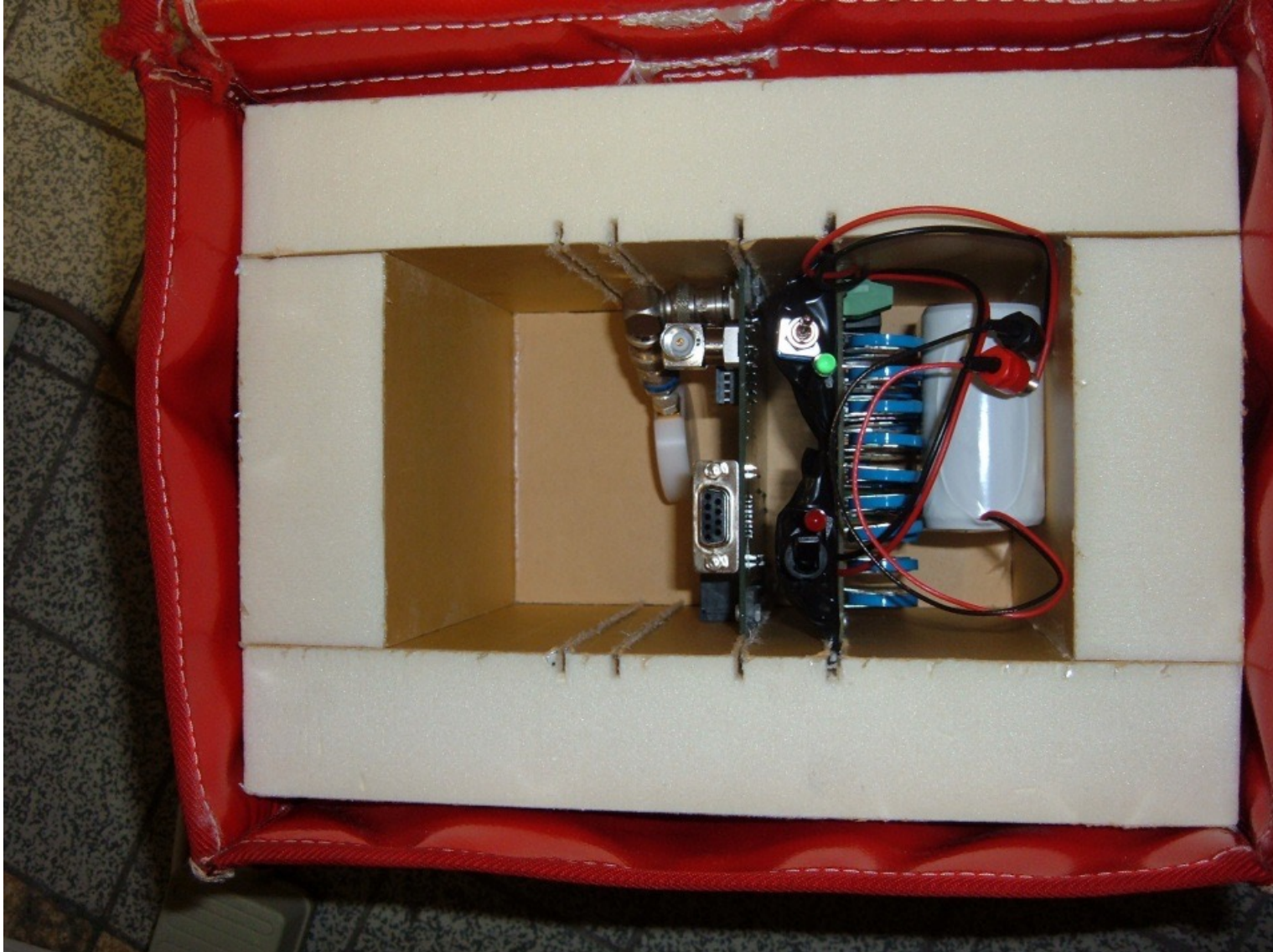
- Opportunités de vols de courtes durées :
 - 3 vols CNES en 2010
 - 1 vol ESA en 2010 (projet étudiant BEXUS)
 - 11 vols CNES en 2011
- Expériences au Pic de Bure (à 2200 m)
- Expériences sous faisceaux de particules
- Expériences à Concordia (on profite de l'altitude et de la latitude)



Avantages des vols courts

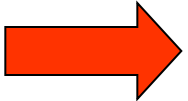
- Instruments récupérables
- Adaptations possibles entre vols
- Remplacement détecteur possible entre vols
- Expériences moins contraignantes (télémétrie)

Le détecteur LAERTES



Plan de l'exposé

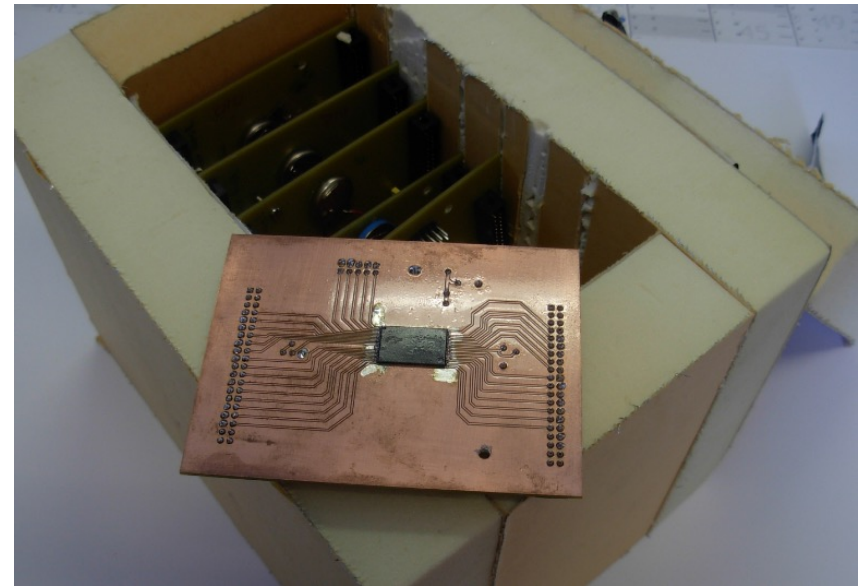
- Présentation du projet
- Les développements
- Les campagnes expérimentales
- Quelques résultats
- Conclusions



1^{er} vol d'un banc de test mémoire

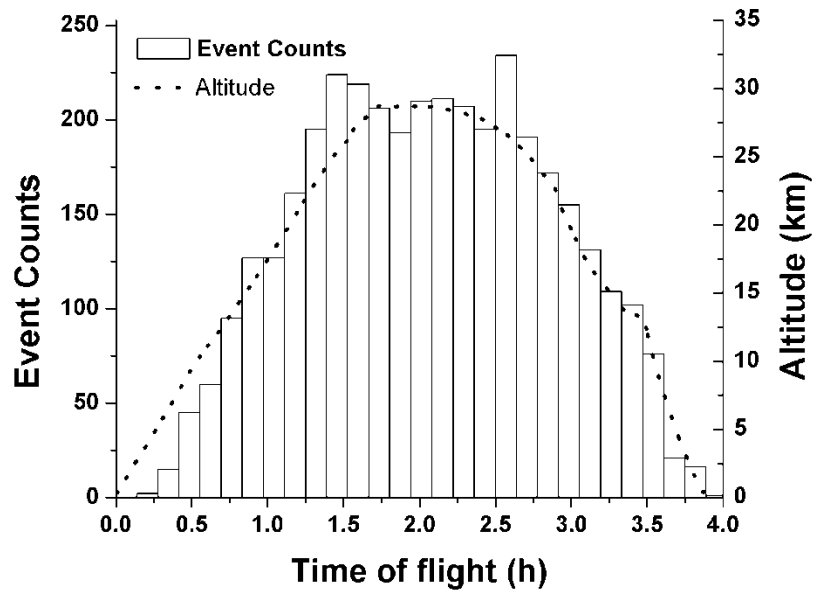
BUT : Tester des mémoires pour détecter d'éventuelles erreurs logiques (SEU)

- Test de faisabilité qualitatif.
- Des erreurs ont bien été observées !
- Pas assez pour faire de la statistique !

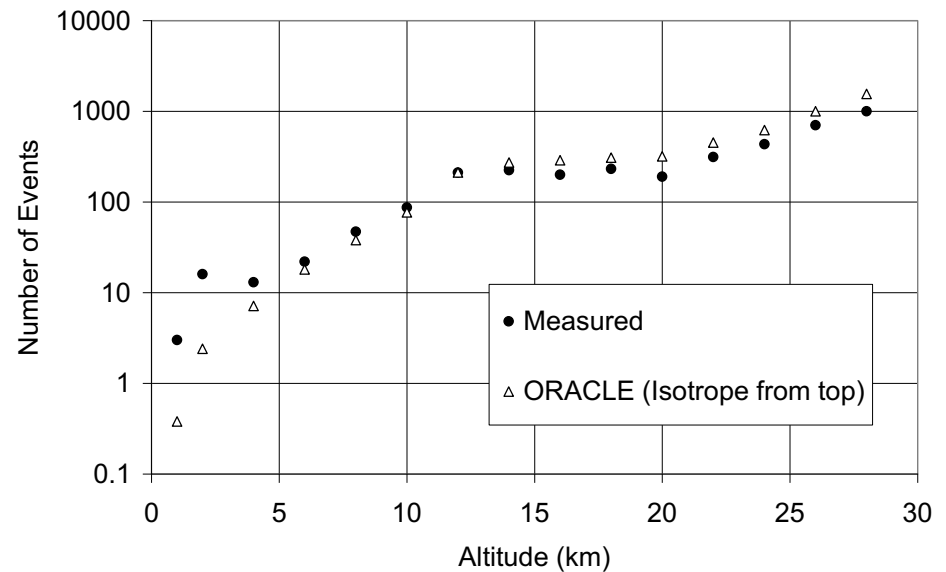


Le détecteur LAERTES

Corrélation altitude/flux

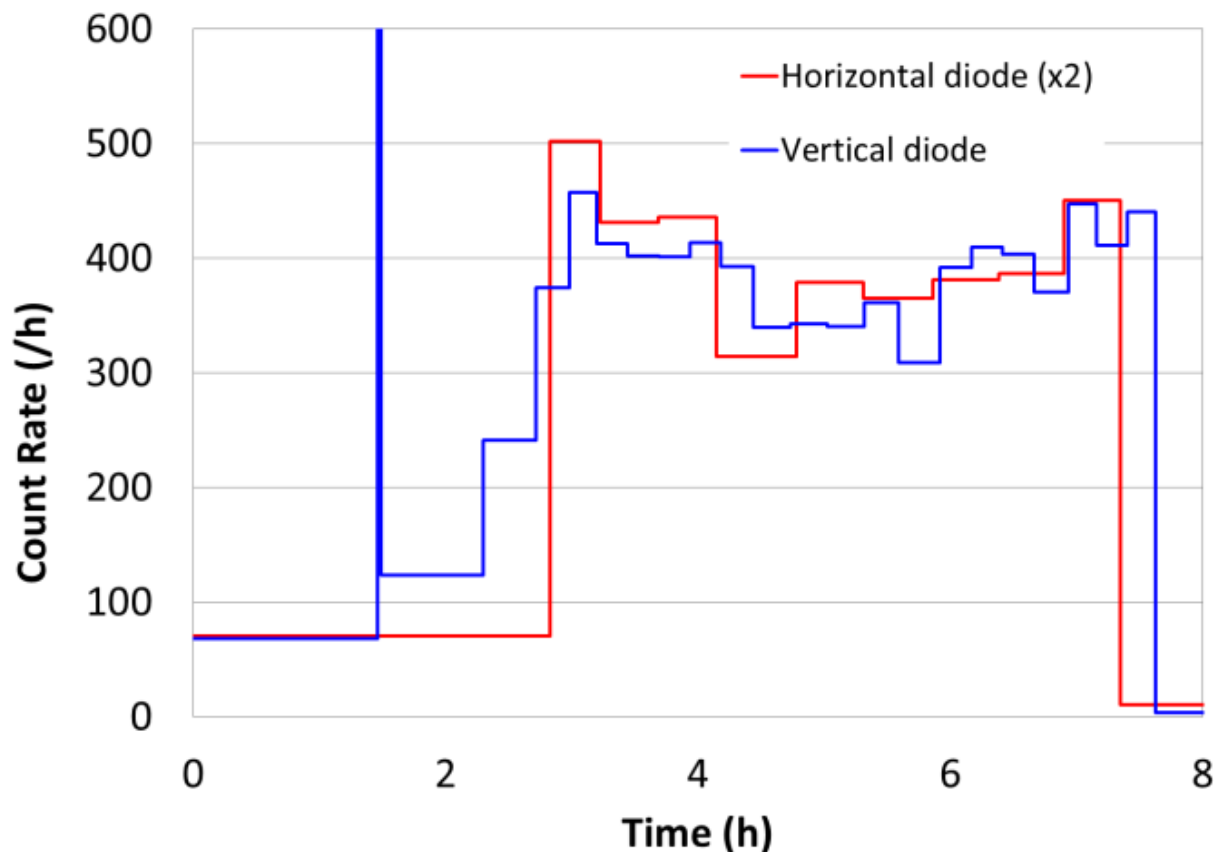


Confrontation Expériences/Simulations



Validations des modèles et des outils de simulation

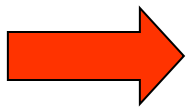
Mise en évidence de l'anisotropie de l'environnement radiatif



Il y a 2 fois plus d'événements dans la diode verticale que dans la diode horizontale : le flux n'est pas isotrope !

Plan de l'exposé

- Présentation du projet
- Les développements
- Les campagnes expérimentales
- Quelques résultats
- Conclusions



Conclusions

- Un projet pour appréhender l'environnement radiatif atmosphérique
- Les vols longs n'ont pas pu être réalisés
- Les vols courts ont permis d'embarquer un détecteur silicium
 - corrélation altitude vs flux
 - mise en évidence de l'anisotropie de l'environnement
- Les vols courts ont permis d'embarquer de la mémoire SRAM
 - trop peu d'événement pour faire une statistique
- Une problématique toujours d'actualité !

Merci pour votre attention !

BACKUP

4 conférences nationales

- **RADSOL 2009**

« HAMLET : High Altitude Memory Test »

F. Wrobel

- **Journée Club micro-onde (2010)**

« Caractérisation électromagnétique d'une diode perturbée par des convertisseurs lors d'une campagne de mesures en ballon. »

A. Blain, D. Pantel, A. Doridant, J. Raoult, F. Wrobel, S. Jarrix

- **RADSOL 2010**

« La problématique RADSOL et les ordres de grandeur »

F. Wrobel

- **RADSOL 2011**

« Résultats expérimentaux en ballons stratosphériques »

F. Wrobel

23 conférences internationales

1. L. Dilillo, P. Rech, J-M. Galliere, P. Girard, F. Wrobel, F. Saigne, “Neutron Detection in Atmospheric Environment through Static and Dynamic SRAM-Based Test Bench”, IEEE Latin American Test Workshop, Porto de Galinhas, Brésil, Mars, 2011.
2. J-M. Galliere, P. Rech, P. Girard, L. Dilillo, “A Roaming Memory Test Bench for Detecting Particle Induced SEUs”, International Test Conference, Austin TX, USA, 2010.
3. Wrobel, J-R. Vaillé, D. Pantel, L. Dilillo, P. Rech, J-M. Gallière, F. Saigné, A. Touboul, P. Chadoutaud, P. Cocquerez, M. Lacourty, T. Lam-Trong, J-L. Autran, C. Chatry, F. Laplanche, B. Azais, “Experimental Characterization of Atmospheric Radiation Environment with Stratospheric Balloon”, 11th European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems, septembre 2010.
4. P. Rech, J-M. Galliere, P. Girard, F. Wrobel, F. Saigné, and L. Dilillo, “Impact of Resistive-Open Defects on SRAM Error Rate Induced by Alpha Particles and Neutrons”, 11th European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems, septembre 2010
5. P. Rech, A. Bosio, P. Girard, S. Pravossoudovitch, A. Virazel, L. Dilillo, “A Memory Fault Simulator for Radiation-Induced Effects in SRAMs”, IEEE Asian Test Symposium, Shanghai, Chine, 2010
6. L. Dilillo, F. Wrobel, J.-M. Galliere, F. Saigné, “Neutron detection through an SRAM-based test bench”, 3rd International Workshop on Advances in sensors and Interfaces, IWASI 2009, Trany (Italie), 25-26 juin 2009
7. P. Rech, J-M. Galliere, P. Girard, F. Wrobel, F. Saigné, and L. Dilillo, “Dynamic-Stress Neutrons Test of Commercial SRAMs”, NSREC 2011, Las Vegas (USA), juillet 2011
8. L. Dilillo, A. Bosio, P. Rech, P. Girard, F. Wrobel, F. Saigne, “Robust Data Collection and Transfer Framework for a Distributed SRAM Based Neutron Sensor”, IEEE International Workshop on Advances in sensors and Interfaces, (IWASI), Savelletri, Italie, June, 2011
9. P. Rech, J.-M. Galliere, P. Girard, A. Griffoni, J. Boch, F. Wrobel, F. Saigne, and L. Dilillo, “Neutron-Induced Multiple Bit Upsets on Two Commercial SRAMs Under Dynamic-Stress,”, IEEE RADECS, Septembre 2011, Seville (Espagne)
10. F. Wrobel, L. Dilillo, A. D. Touboul, F. Saigné, “Alpha particle-induced transient currents in 65 nm and 40 nm technologies”, 2012 SEE Symposium, San Diego (USA), 3-5 Avril 2012
11. D. Pantel, J.-R. Vaillé, F. Wrobel, L. Dilillo, J.-M. Gallière, J.-L. Autran, P. Cocquerez, P. Chadoutaud, F. Saigné, “A silicon diode based detector for the natural radiative environment measurement in altitude”, 18th IEEE NPSS Real Time Conference, Berkeley (USA), 9-15 juin 2012
12. L. Dilillo, A. Bosio, M. Valka, P. Girard, S. Pravossoudovitch A. Virazel , “Error Resilient Infrastructure for Data Transfer in a Distributed Neutron Detector ”, IEEE DFT Symposium, Vancouver, Canada, 2011

23 conférences internationales

13. F. Wrobel, L. Dilillo, A. D. Touboul, J-R. Vaillé, F. Saigné, "Characteristics of the Transient Currents Induced by Atmospheric Neutrons on a 40nm Electrode of an NMOS Transistor", NSREC2012, Miami (USA), 16-20 juillet 2012
14. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, A. Todri, A. Virazel, F. Wrobel, F. Saigné, "Complete Framework for the Estimation of the SRAM Core-Cell Resilience to Radiation", IEEE RADECS, September 2012, Biarritz (France)
15. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, A. Todri, A. Virazel, A.D. Touboul, F. Wrobel, F. Saigné, "Dynamic Mode Test of a Commercial 4Mb Toggle MRAM under Neutron Radiation," , IEEE RADECS, September 2012, Biarritz (France)
16. F. Wrobel, J.R. Vaillé, D. Pantel, L. Dilillo, J.M. Gallière, A.D. Touboul, P. Chadoutaud, P. Cocquerez, M. Lacourty, M.A. Clair, J.L. Autran, C. Chatry, F. Laplanche, B. Azais, F. Saigné, "Proton Flux Anisotropy in the Atmosphere: Experiment and Modeling," , IEEE RADECS, September 2012, Biarritz (France)
17. F. Wrobel, A.D. Touboul, F. Saigné, "Soft Error Triggering Criterion Based on Simple Electrical Model of the SRAM cell," , IEEE RADECS, September 2012, Biarritz (France)
18. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, A. Todri, A. Virazel, A. Touboul, F. Wrobel, F. Saigné, "Evaluation of Test Algorithms Stress Effect on SRAMs under Neutron Radiation", IEEE International On-Line Testing Symposium, Sitges, Spain, June, 2012.
19. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, S. Pravossoudovitch, A. Todri, A. Virazel, C. Frost, F. Wrobel, F. Saigné, "Temperature Impact on the Neutron SER of a Commercial 90nm SRAM", IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference, Berkeley, CA, USA, 2013.
20. F. Wrobel, J-R Vaillé, A. Touboul, L. Dilillo and F. Saigné, "*An Integrated Solid Detector For Onboard Detection Of Natural Radiations In Atmosphere* ", *International Workshop on Radiation Imaging Detectors (IWORID)*, Paris, June 23-27, 2013
21. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, S. Pravossoudovitch, A. Todri-Sanial, A. Virazel, J. Mekki, M. Brugger, J.-R. Vaillé, F. Wrobel, and F. Saigné, "*Characterization of an SRAM based particle detector for mixed-field radiation environments*," *5th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI)*, 2013, pp. 75–80.
22. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, S. Pravossoudovitch, A. Todri-Sanial, A. Virazel, C. Frost, F. Wrobel and F. Saigné, "*Multiple-Cell-Upsets on a commercial 90nm SRAM in Dynamic Mode*", *IEEE-RADECS, Oxford, UK, September 23-27, 2013*.
23. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, S. Pravossoudovitch, A. Todri-Sanial, A. Virazel, J. Mekki, M. Brugger, F. Wrobel and F. Saigné, "*SEU Monitoring in Mixed-Field Radiation Environments of Particle Accelerators*", *IEEE-RADECS, Oxford, UK, September 23-27, 2013*.

9 Publications dans des revues internationales

1. P. Rech, J.-M. Galliere, P. Girard, F. Wrobel, F. Saigne, and L. Dilillo, "Impact of Resistive-Open Defects on SRAM Error Rate Induced by Alpha Particles and Neutrons," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 58, no. 3, pp. 855–861, Jun. 2011.
2. F. Wrobel, J.-R. Vaille, D. Pantel, L. Dilillo, P. Rech, J.-M. Galliere, A. Touboul, P. Chadoutaud, P. Cocquerez, M. Lacourty, T. Lam-Trong, J.-L. Autran, C. Chatry, F. Laplanche, B. Azais, and F. Saigne, "Experimental Characterization of an Atmospheric Environment With a Stratospheric Balloon," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 58, no. 3, pp. 945–951, Jun. 2011.
3. D. Pantel, J. R. Vaille, F. Wrobel, L. Dilillo, M. Galliere, J. L. Autran, P. Cocquerez, P. Chadoutaud, and F. Saigne, "Embedded silicon detector to investigate the natural radiative environment," *Journal of Instrumentation*, vol. 7, May 2012.
4. P. Rech, J.-M. Galliere, P. Girard, A. Griffoni, J. Boch, F. Wrobel, F. Saigne, and L. Dilillo, "Neutron-Induced Multiple Bit Upsets on Two Commercial SRAMs Under Dynamic-Stress," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 59, no. 4, pp. 893–899, Aug. 2012.
5. F. Wrobel, A. D. Touboul, L. Dilillo, and F. Saigne, "Soft Error Triggering Criterion Based on Simplified Electrical Model of the SRAM Cell," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. PP, no. 99, pp. 1–5, 2013.
6. G. Tsiligiannis, L. Dilillo, A. Bosio, P. Girard, A. Todri, A. Virazel, S. S. McClure, A. Touboul, F. Wrobel, F. Saigné, "Testing a Commercial MRAM under Neutron and Alpha Radiation in Dynamic Mode", *IEEE Transaction on Nuclear Science*, DOI 10.1109/TNS.2013.2239311, 2013
7. F. Wrobel, J.R. Vaillé, D. Pantel, L. Dilillo, J.M. Gallière, A.D. Touboul, P. Chadoutaud, P. Cocquerez, M. Lacourty, M.A. Clair, J.L. Autran, C. Chatry, F. Laplanche, B. Azais, F. Saigné, "Proton Flux Anisotropy in the Atmosphere: Experiment and Modeling," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, accepté pour publication
8. F. Wrobel, J.-R. Vaille, D. Pantel, L. Dilillo, J.-M. Galliere, J.-L. Autran, P. Cocquerez, P. Chadoutaud, and F. Saigne, "*A Silicon Diode-Based Detector for Investigations of Atmospheric Radiation*," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. *Early Access Online*, 2013.
9. F. Wrobel, J.-R. Vaille, D. Pantel, L. Dilillo, J.-M. Galliere, A. Touboul, P. Chadoutaud, P. Cocquerez, M. Lacourty, M.-A. Clair, J.-L. Autran, C. Chatry, F. Laplanche, B. Azais, and F. Saigne, "*Proton Flux Anisotropy in the Atmosphere: Experiment and Modeling*," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 60, no. 4, pp. 2386–2391, 2013.