

Composants électroniques et effets des radiations : Approche industrielle

Mathias MARINONI
ASTRIUM

Atelier INTENS – 14 novembre 2013

Together the pioneer of the full range of space solutions
for a better life on Earth

Déroulement

- Introduction
- Tests radiation : Phasage avec l'avancement d'un projet
 - Proposition commerciale au Gain du contrat
 - Phase Préliminaire de Conception
 - Effets singuliers(SEE)
 - Dose ionisante (TID)
 - Défauts de déplacement (DD)
 - Phase Détaillée de Conception
- Tests radiation en support au durcissement : activités transverses
- Conclusion

Introduction

- **Programme spatial ⇒ Spécifications radiation applicable to éléments sensibles aux effets des radiations : composants électroniques et matériaux**
 - Environnement spatial, Assurance durcissement aux radiations (RHA), Spécification système, Spécification assurance produit...
- **Objectifs des spécifications : garantir l'accomplissement de la mission par le système spatial**
 - RHA ⇒ exigences techniques pour les tests radiation
 - Programme : relation avec **coût** et **calendrier** (récurrent ou développement)
- **Exigences RHA client appliquées aux industriels du spatial : fournisseur d'équipement (FE) et maître d'oeuvre(MO).**
 - Tests radiation préoccupation majeure pour les fournisseurs d'équipement électronique

Phase 1 : Proposition commerciale au Gain du contrat

Maître d'oeuvre (client final)

Fournisseur d'équipement (maître d'oeuvre)

Together the pioneer of the full range of space solutions
for a better life on Earth



Proposition commerciale au gain du contrat [FE/MO]

- **Produits spatiaux d'ASTRIUM développés d'après nos standards, en particulier la RHA**
 - Standard RHA ASTRIUM : années 1990 (pas d'ECSS disponible à cette époque), régulièrement mis à jour
 - Divergences avec RHA "client" pouvant induire des tests radiation suppl., **impact financier**
- **Programme récurrent : "zéro" test suppl. par rapport au programme précédent**
- **Nouveau développement : limiter tests radiation, respectant les exigences fonctionnelles**

Phase 2 : Phase Préliminaire de Conception

Fournisseur d'équipement
Maître d'oeuvre

Together the pioneer of the full range of space solutions
for a better life on Earth



Phase Préliminaire de Conception

- Nouveaux développements ou équipements récurrents avec modifications majeures
 - Système/équipement/dispositif récurrent \Rightarrow Phase Détaillée de Conception



- Risques majeurs à évaluer en priorité
 - SEE destructifs
- Plusieurs considérations en parallèle
 - Financière et calendaire, solutions de remplacement dès le départ

Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 1/8

■ Fondamentaux

- Déterminer sensibilité du composant \Rightarrow go / no go
 - Conditions de fonctionnement en sécurité
 - Nature et taux d'occurrence des SEE
- Obtenir des données en accord avec la RHA applicable
 - Exigences de haut niveau
 - Références de spécifications de test à suivre

LET_{seuil} SEE (MeV.cm²/mg)	Exigences d'analyse
> 60	Risque SEE négligeable , pas d'analyse nécessaire
15 < LET _{seuil} < 60	Risque SEE , taux / impact des SEE induits par les ions lourds à analyser
LET _{seuil} < 15	Risque SEE , taux / impact des SEE induits par les ions lourds et les protons à analyser

Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 2/8

■ Documents normatifs

■ Europe:

- “Single Event effects test method and guidelines”, ESA/SCC 25100 (en cours de modification)

■ Etats-Unis:

- JEDEC JESD57: Test procedures for the measurement of Single-Event Effects in semiconductor devices from heavy ion irradiation
- ASTM F1192-90: "Standard guide for the measurement of Single Event Phenomena (SEP) induced by heavy ion irradiation of semiconductor devices".
- Méthode de test SEB/SEGR: MIL-STD-750, Test Method 1080

■ Fiabilité / pertinence des résultats d'essai SEE : avant l'arrivée au lieu de test

- **Traçabilité** du composant (capacité à vérifier historique, lieu ou application d'une modification via son identification enregistrée et documentée)
- Identifier moyen d'irradiation adapté et conditions d'application prévues
- Anticiper nature des SEE observables et leur impact sur fonction/système

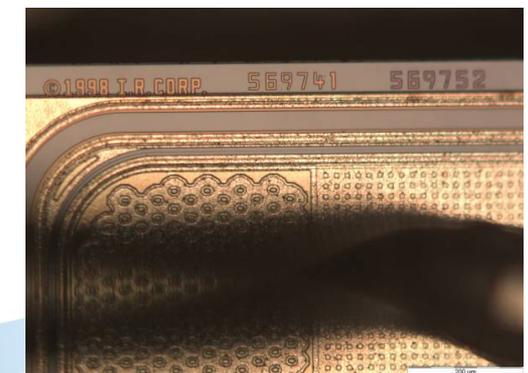
⇒ **Etroite relation avec concepteurs électroniques et responsables approvisionnement EEE. Rédaction d'un plan d'essai**

Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 3/8

- Traçabilité d'un composant électronique : primordial pour utilisation et réutilisation de résultats de test

PART PEDIGREE AS-BUILT			
EEE Component			
Item	E0118930-00-1P	Type	IRHF7110-R TO-39
Manufacturer	IR	Manufacturer Reference	IRHF7110
General Information			
Astrium Electrical Function	N MOSFET	Package	TO39
Die Manufacturer (if different of manufacturer part)	-		
Detail Specification	MIL-PRF-19500/93-1856-R		
Technology	MOSFET	Quality Level	CQ1
Part Traceability : PAD Requirement			
Diffusion Lot Number or Manufacturer Lot	R393684 F020369926	Wafer Plant	FAB3
Die Marking	1998 IR CORP 569741 569752 569774		
Part Marking	IRHF7110SCS Δ1130 USA		
Date Code	1130		



The document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 4/8

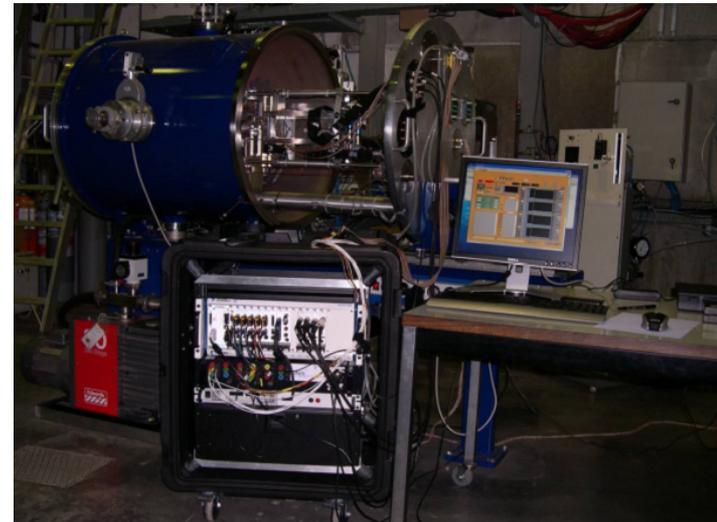
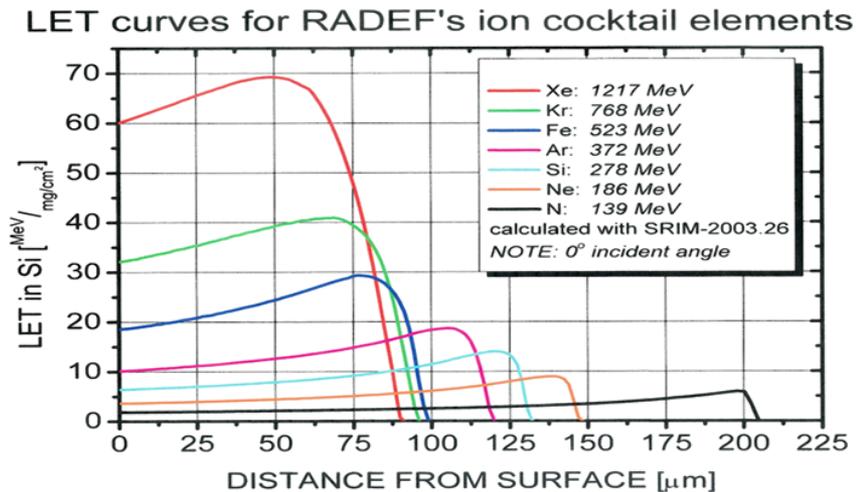
- **Echantillons de test**
 - Limité à quelques unités (typiquement 3)
- **Ouverture de composant à considérer**
 - Contrôler fonctionnalité après ouverture
 - Besoin dans le cadre d'une opération spécifique (ex. amincissement pour irradiation face arrière)

Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 5/8

■ Moyen d'essai

- Considérer capacités techniques
 - Caractéristiques des particules (parcours, flux, particules secondaires...)
 - Adaptation banc de test aux caractéristiques du moyen choisi



■ Aspects pratiques

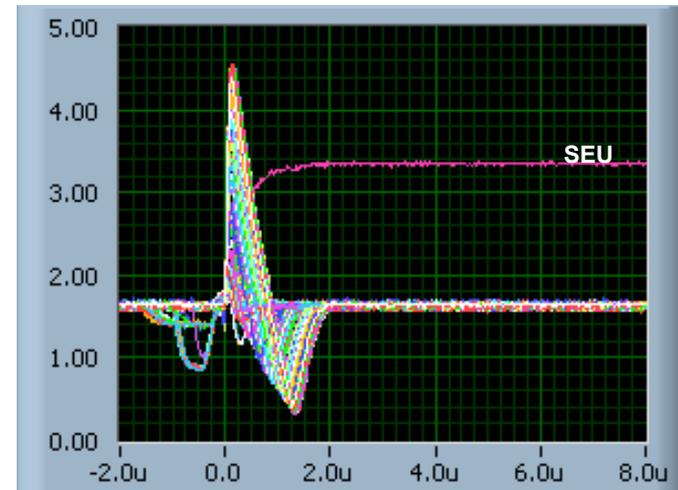
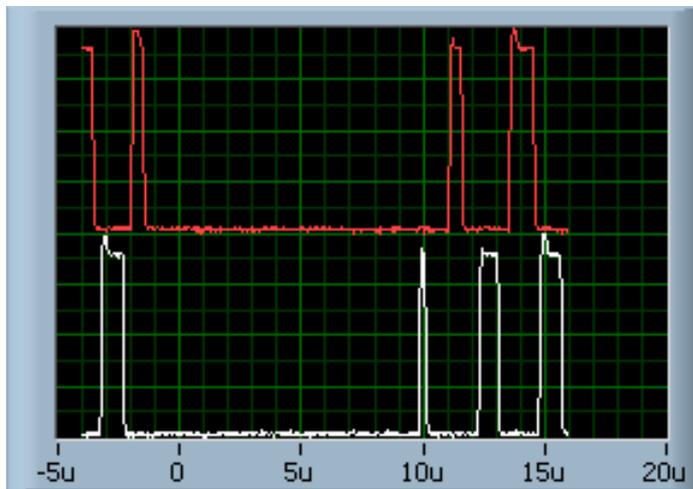
- **Coûts faisceau et voyage**
- Adhérence aux contraintes calendaires du projet

Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 6/8

■ Effets singuliers de nature multiple

- Besoin de compétences radiation et électronique
 - Radiation : identifier les effets possibles et les paramètres clés à contrôler. Se tenir prêt à réagir en temps réel en cas d'inattendu
 - Electronique : implémenter et utiliser banc de test : détecter et caractériser différemment Single-Event Latchup (SEL), Single-Event Functional Interrupt (SEFI) ou Single-Event Transient (SET)



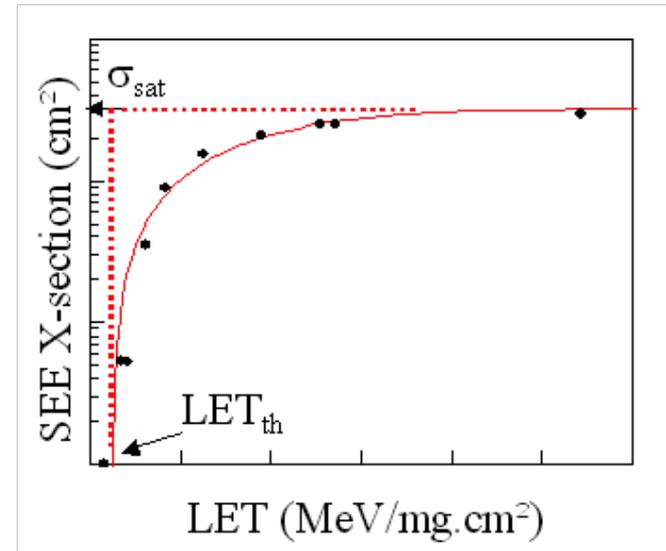
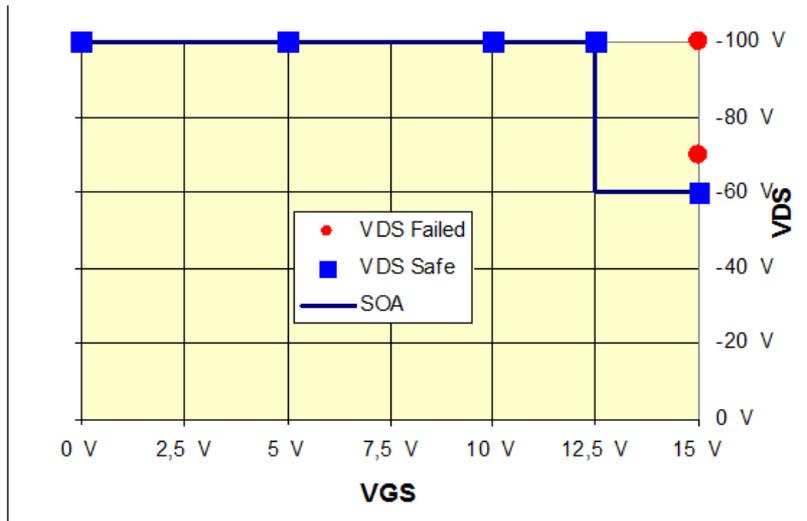
Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 7/8

■ Résultats d'essais SEE : travail incomplet après publication du rapport

■ Courbe de section efficace

- Calcul des taux de SEE à considérer dans l'analyse de conception au même titre que des entrées de conception (EDAC pour SEU...)



■ Zone de fonctionnement en sécurité

- Déterminer le domaine d'application avec risque SEE négligeable

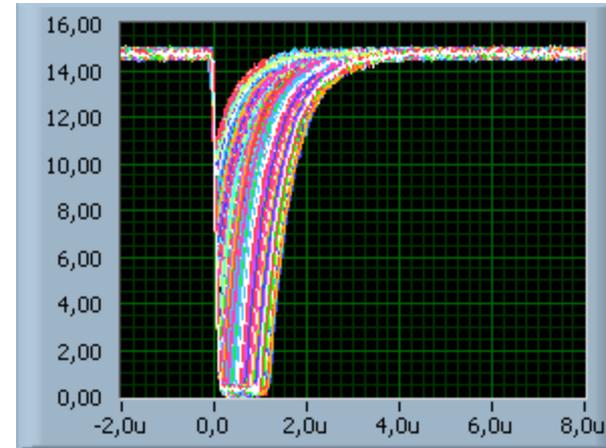
Phase Préliminaire de Conception

Tests SEE – 8/8

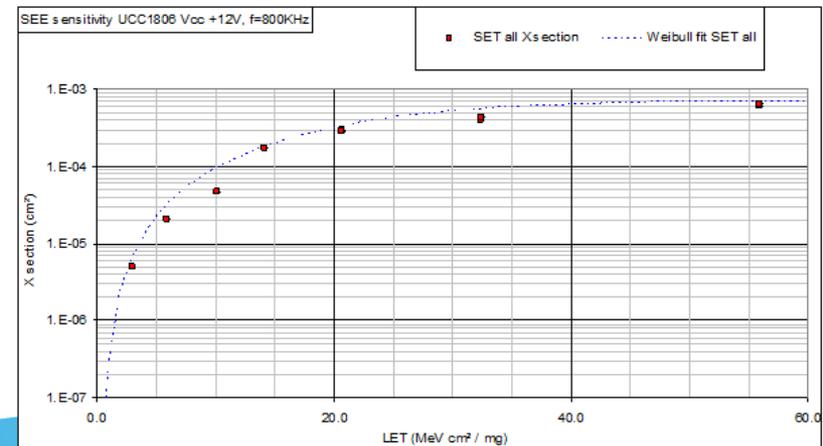
■ Résultats d'essais SEE (suite) : focalisation sur SET

- **Identifier type de SET**
 - Amplitude/durée entrées

Graphique cumulatif :
Tous SET enregistrés durant
1 séquence d'irradiation



- **Courbe de section efficace**
 - Calcul des taux de SEE si impact système non négligeable identifié



Phase Préliminaire de Conception

Tests TID – 1/6

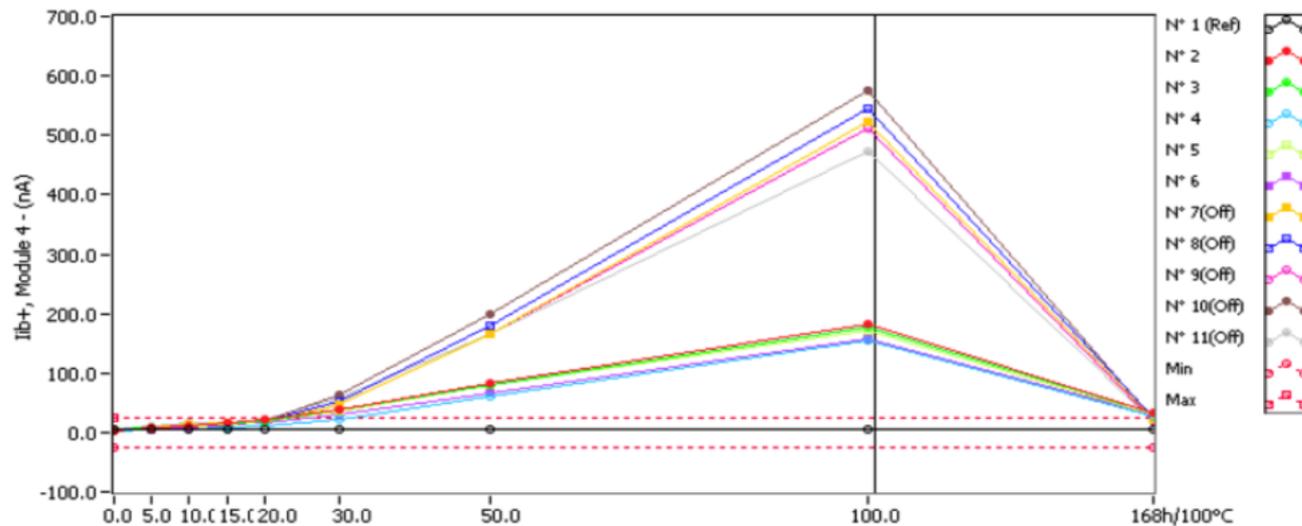
- **Fondamentaux (objectif principal identique aux SEE)**
 - Déterminer sensibilité du composant ⇒ go / no go
 - Sensibilité TID d'après spécification / datasheet composant
 - Type de dégradation (dérive paramétrique ou panne fonctionnelle)
 - Obtenir des données en accord avec la RHA applicable / documents normatifs
- **Documents normatifs**
 - Europe: "Total Dose Steady State Irradiation Test method", ESA/SCC 22900 (mise à jour en cours)
 - Etats-Unis: MIL-STD-883/Test method 1019.9
- **Fiabilité / pertinence des résultats d'essai TID: avant l'arrivée au lieu de test**
 - **Traçabilité** du composant
 - Anticiper conditions d'application / polarisation

⇒ **Etroite relation avec concepteurs électroniques et responsables approvisionnement EEE. Rédaction d'un plan d'essai**

Phase Préliminaire de Conception

Tests TID – 2/6

- Traçabilité : cf. SEE
- Conditions d'application / polarisation
 - Identifier paramètres critiques des applications visées
 - Utiliser à la fois des composants polarisés et non polarisés (redundance froide)



OP470, AD

Phase Préliminaire de Conception

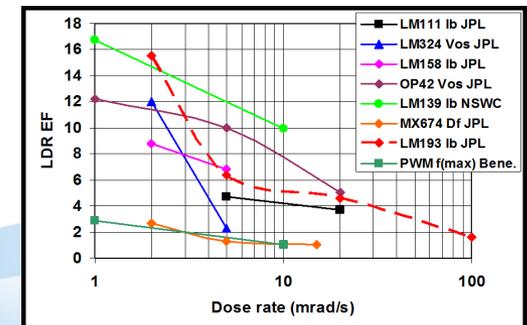
Tests TID – 3/6

■ Paramètres d'irradiation

- Niveau TID final à atteindre afin de couvrir un maximum d'applications / projets
- Débit de dose en fonction de la technologie du composant, en accord avec RHA applicable / documents normatifs
- Recuits à température ambiante (24 h) et élevée (168 h)
 - Résultats considérés dans Analyse Pire Cas (WCA)
- Nombre d'échantillons adapté pour analyse statistique

■ ELDRS pour composants technologie bipolaire, débit de dose fixé par ECSS-Q-ST-60-15C et standards RHA industriels européens : entre 36 et 360 rad(Si)/h (10 et 100 mrad(Si)/s)

- Gamme non conservative
 - Valeur / gamme conservative valide encore non déterminée, inutilisable pour un projet spatial
 - Risque utilisation débit de dose devant être déterminé

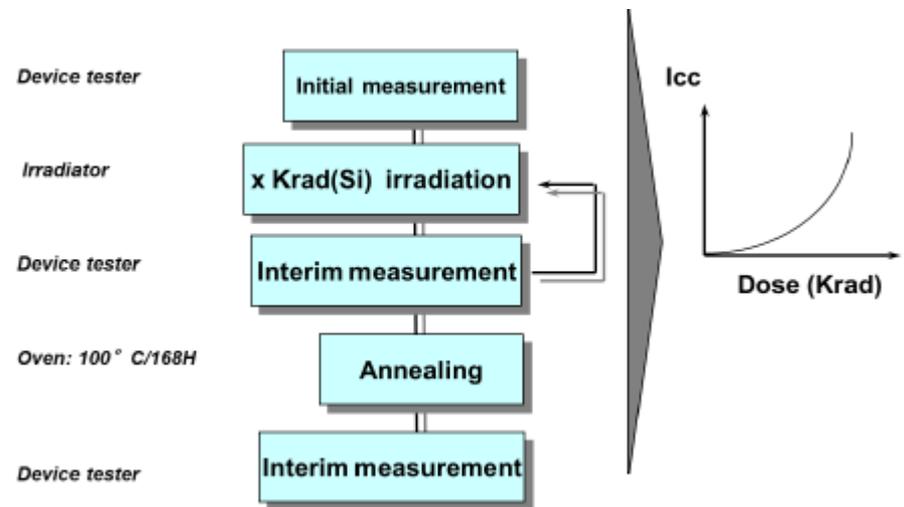


Phase Préliminaire de Conception

Tests TID – 4/6

■ Moyen d'essai

- ^{60}Co ou rayons X (voire électrons ou protons)
- Débit de dose : qq rad(Si)/h à plusieurs krad(Si)/h



■ Aspects pratiques

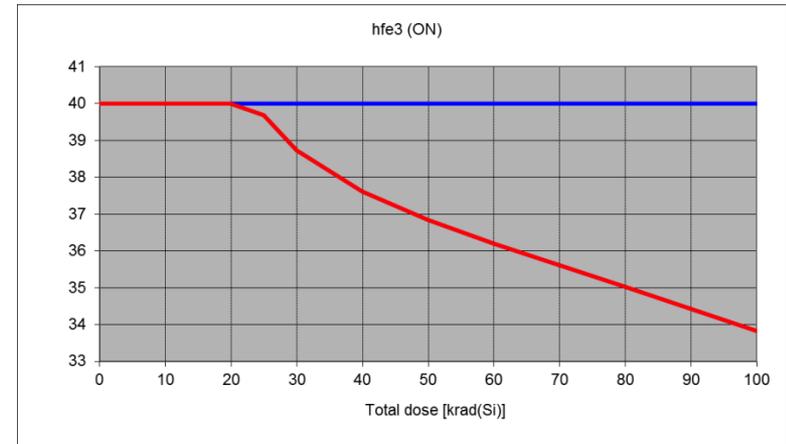
- Coûts irradiation et voyage
- **Durée irradiation**
- **Adhérence aux contraintes calendaires du projet**

Phase Préliminaire de Conception

Tests TID – 5/6

- Résultats d'essais TID: travail incomplet après publication du rapport
 - Données obtenues analysées \Rightarrow information utilisable directement par concepteurs électroniques dans WCA : "TID sheet" ASTRIUM

2N2369A NPN Transistor																							
Manufacturer :	Semicoa, STM, Microsemi	Ref	2N2369A EVO 02 00																				
Manufacturer Data Sheet Ref. :	spec MIL-PRF-19500/317 (Semicoa) 2N2369A from Semicoa of 2002 spec ESA/SCC 5201/006 Var 05 (STM) 2N2369A from Microsemi Lawrence of 12/01/01 Generic Specification : E SCC 229 00 (Microsemi) Detail Specification : E SCC 5201/006 issue 2 of May 2005 and MIL-PRF-19500/317 Rev L of 11/18/2005 (Microsemi)	is	02 Rev 00																				
Concerned Case(s) -with Part Number- :	SOC23	Date	8-nov-07																				
Considered Date Code for the Template :	<table border="1"> <tr> <td>Semicoa 0109</td> <td>8 ON, 2 OFF</td> <td>Quality level</td> <td>Report reference:</td> </tr> <tr> <td>STM 0037A</td> <td>8ON, 2OFF</td> <td>CQ1</td> <td>AIL_RA_JFO_713468.01</td> </tr> <tr> <td>STM 0315A</td> <td>8ON, 2OFF</td> <td>CQ1</td> <td>AIL_RA_JFO_710262.01</td> </tr> <tr> <td>0617 (Microsemi)</td> <td>5 ON, 5 OFF</td> <td></td> <td>SEB_RA_CB_731879.03</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>TRAD/TR/2N2369/0617/AS TJD/0708</td> </tr> </table>	Semicoa 0109	8 ON, 2 OFF	Quality level	Report reference:	STM 0037A	8ON, 2OFF	CQ1	AIL_RA_JFO_713468.01	STM 0315A	8ON, 2OFF	CQ1	AIL_RA_JFO_710262.01	0617 (Microsemi)	5 ON, 5 OFF		SEB_RA_CB_731879.03				TRAD/TR/2N2369/0617/AS TJD/0708		
Semicoa 0109	8 ON, 2 OFF	Quality level	Report reference:																				
STM 0037A	8ON, 2OFF	CQ1	AIL_RA_JFO_713468.01																				
STM 0315A	8ON, 2OFF	CQ1	AIL_RA_JFO_710262.01																				
0617 (Microsemi)	5 ON, 5 OFF		SEB_RA_CB_731879.03																				
			TRAD/TR/2N2369/0617/AS TJD/0708																				
Irradiation Condition :	<360Rad/h																						
Biasing Condition :																							
Notes : (marginal measurement or component ...)	Semicoa 0109: icb01 : not measured STM 0037A: icb01 & 2, hfe3, Vbesat 1 & 2, Vbesat 1 & 2 : not measured STM 0315A: icb02, hfe3, Vbesat 1 & 2, Vbesat 1 & 2 : not measured Microsemi 0617: icb01 : not measured																						

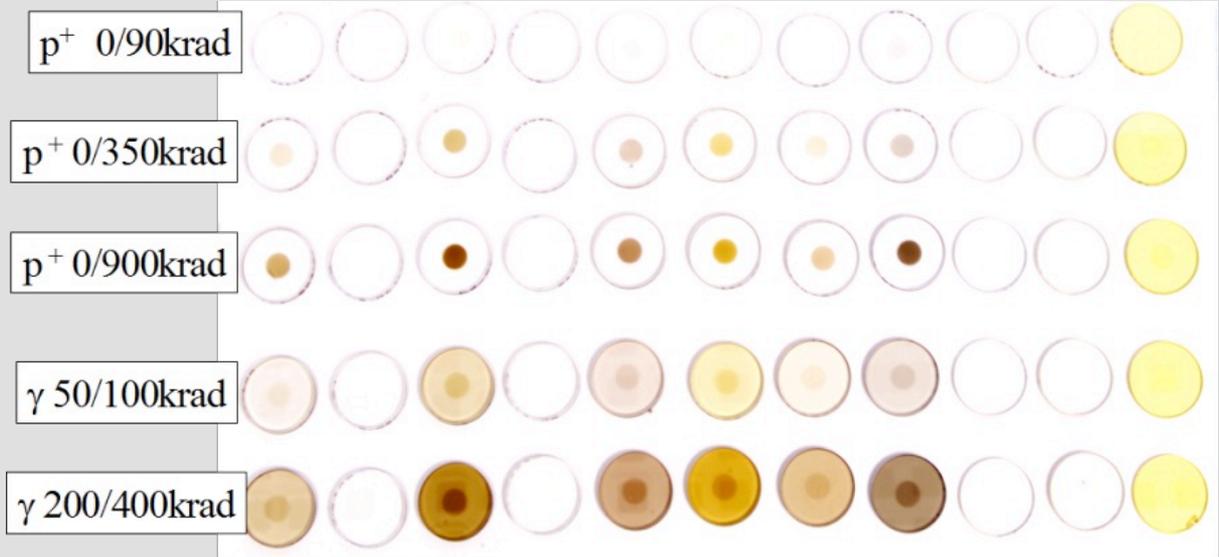
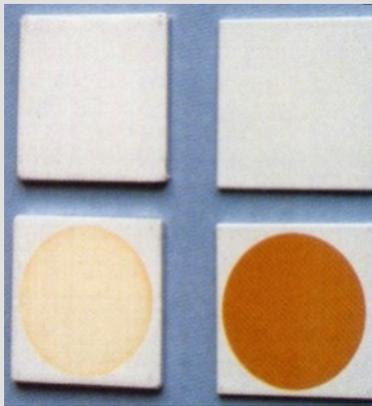


Phase Préliminaire de Conception

Tests TID – 6/6

■ TID : impact matériaux

- Principalement si directement exposés à l'environnement radiatif
 - Adressé essentiellement au niveau système
- Matériaux concernés : majoritairement polymères et verres



■ Tests complexes

- Niveau TID non uniforme
- Divers paramètres affectés : mécanique, optique ou électrique
- Standard européen tests matériaux : ECSS-Q-ST-70-06C

Phase Préliminaire de Conception

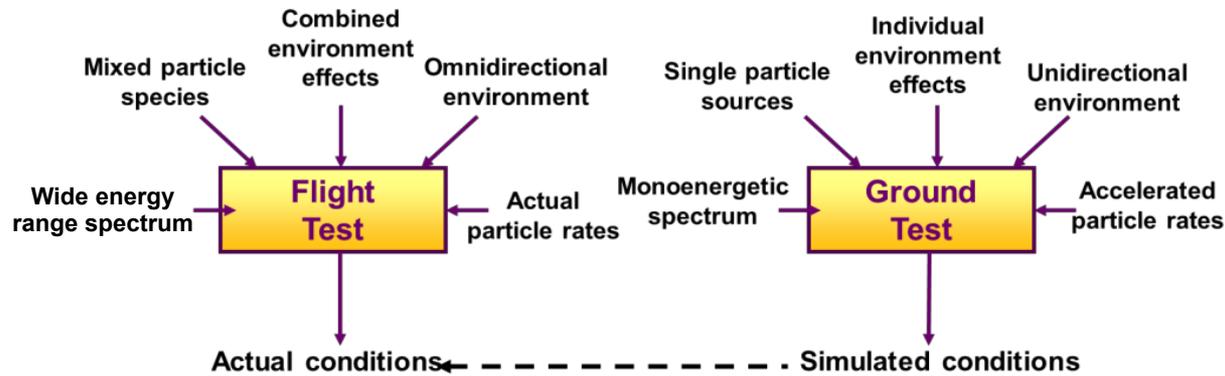
Tests DD – 1/3

- **Missions spatiales actuelles : essentiellement dispositifs opto-électroniques, parfois circuits intégrés en technologie bipolaire**
- **Approche identique à TID**
 - Traçabilité, conditions d'application / polarisation, nombre d'échantillons
 - Outil ASTRIUM pour utilisation directe des dégradations DD par concepteurs dans WCA : "DD sheet"
- **Spécificités des essais DD**
 - Absence de document normatif (spécification SCC prochainement émise)
 - Source d'irradiation (particule, ^{60}Co ou rayons X non utilisables) et représentativité des essais par rapport à la mission
 - Dégradation en DD nécessairement prise en compte en parallèle de celle observée en TID
 - Calculs du niveau de contrainte DD via NIEL (sources de particules "mono-énergétiques")

Phase Préliminaire de Conception

Tests DD – 2/3

- **Source de particules (au lieu de ^{60}Co ou rayons X)**
 - Protons ou neutrons, électrons pour cellules solaires

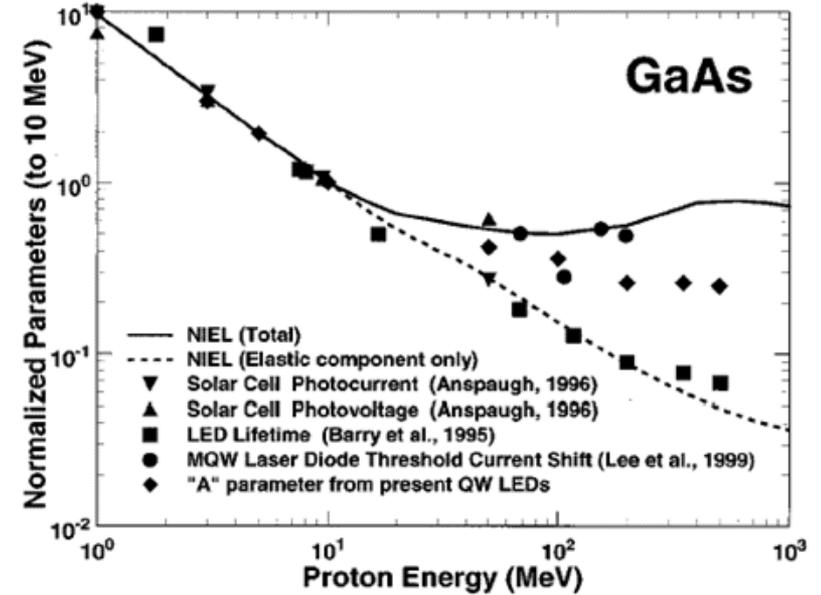


- Aspects pratiques
 - **Coûts faisceau** et voyage
 - Adhérence aux contraintes calendaires du projet
- **Dégradation en DD nécessairement prise en compte au même titre que celle observée en TID**
- Particules utilisées pour essais DD induisant aussi effets TID, à fort débit de dose
- Réaliser essais DD et TID séparément : moins représentatif. Choisir entre essais en parallèle ou séquentiels

Phase Préliminaire de Conception

Tests DD – 3/3

- Calcul du niveau de contrainte via NIEL (sources de particules “mono-énergétiques”)
- Displacement Damage Equivalent Fluence (DDEF) calculée grâce au NIEL. Plusieurs jeux de valeurs pour les matériaux d'intérêt (Si et GaAs)
- Composantes élastique et inélastique du NIEL
 - ⇒ impact sur précision des calculs DDEF
 - ⇒ Tester à diverses énergies
 - Augmentation du coût des essais
 - Spectre énergétique “réel” : KVI “Proton Degradation” (CNES / TRAD)



Phase Préliminaire de Conception

Fournisseur d'équipement

■ Après obtention des données d'évaluation

- Utilisation des sorties des essais radiation pour
 - Evaluer les performances en mission de l'équipement
 - Fournir un document d'analyse radiation au MO
 - ✓ *Données d'évaluation*
 - ✓ *Données existantes, en accord avec exigences RHA (traçabilité, marge de conception radiation (RDM)...)*

■ Activités liées à l'approvisionnement des composants

- Remplissage de la section radiation du Part Approval Document (PAD)
 - Statut de chaque composant sensible aux radiations vis-à-vis des différents effets

Total Dose Effects :	
TID [Y]	Eval. test report : Manuf. certified up to 300Krad
Single Event Effects :	
SEL [Y]	Eval. test report : ASTR.ASX.CP.000304
SEU [Y]	Eval. test report : ASTR.ASX.CP.000304
SET [Y]	Eval. test report : ASTR.ASX.CP.000304
RVT required Y/N [N]	Sample Size :

Phase Préliminaire de Conception

Maître d'oeuvre

- **Revue Préliminaire de Conception (PDR) (développement)**
 - Revoir évaluation des performances en mission de l'équipement effectuée par le fournisseur d'équipement
 - Chaque équipement de la plateforme et de la charge utile / instrument
 - Vérifier conformité à RHA, en particulier
 - Traçabilité des composants électroniques
 - Validité des conditions d'essai (ex. débit de dose pour composants en technologie bipolaire, test SET réalisé dans la condition d'utilisation mission...)
 - Analyser résultats de test matériaux et leur considération au niveau système

- **Objectif : Avoir confiance en robustesse aux SEE de l'équipement ou identifier modifications à implémenter dans l'équipement**

Phase 3 : Phase Détaillée de Conception

**Fournisseur d'équipement
Maître d'oeuvre**

Together the pioneer of the full range of space solutions
for a better life on Earth

Together pioneering excellence



This document and its content is the property of Astrium [Luft&Raumfahrt] and is strictly confidential. It shall not be communicated to any third party without the written consent of Astrium [Luft&Raumfahrt].

Phase Détaillée de Conception Fournisseur d'équipement – 1/3

■ Signification

- Nouveaux développements : identifier robustesse équipement vis-à-vis des effets des radiation, achever évaluations
 - Essais radiation restant, liées aux activités d'approvisionnement des composants électroniques : Test de Validation Radiation (RVT) ou Test Radiation d'Acceptation de Lot (RADLAT)
- Produits récurrents : évaluer changements mineurs conception ou composants électroniques, identifiés à Equipment Qualification Status Review (EQSR)
 - Evaluations réalisées dès que possible (cf. diapositives précédentes)
 - Essais radiation liées aux activités d'approvisionnement des composants électroniques

Phase Détaillée de Conception Fournisseur d'équipement – 2/3

- **RHA ⇒ Déclenchement RADLAT/RVT**
 - Analyse de traçabilité des lots approvisionnés
 - Si **catégorisation** (ASTRIUM), application des marges de conception associées (1,2 et 2)
 - RADLAT/RVT applicables pour TID et DD
 - Organisation industrielle différente ⇒ autre approche : **matrice de RADLAT (TAS)**

FAMILY	MOS / BICMOS			BIPOLAR			Sample Size
	Test Criteria	Test Method	Dose Rate	Test Criteria	Test Method	Dose Rate	
Zener Diodes				10	RD-1	High or Low	5
Transistors	All	RD-1 or RD-3	High or Low	2	RD-1 or RD-3	Low	5
Analog Ics	All	RD-1 or RD-3	Low (1)	All	RD-3	Low	5
Logic Ics	1	RD2 or RD3	Low (1)	4	RD3	Low	5
ASICs, FPGA	All	RD2 or RD3	Low (1)	All	RD3	Low	2-3
RAM, PROM, Processors	2	RD2 or RD3	Low (1)	6	RD3	Low	2
Optoe., CCD,	All	RD2 or RD3	Low (1)	All	RD3	Low	5

(1) : For fully MOS technology devices High Dose Rate can be used

Table 1 : Total Dose Screening Matrix

CATEGORY	TEST CRITERIA
All	All diffusion lot tested
1	Lot tested if flight diffusion lot number different of data diffusion lot number and data date code older than 1 year.
2	Lot tested if flight diffusion lot number different of data diffusion lot number and data date code older than 2 year.
4	Lot tested if flight diffusion lot number different of data diffusion lot number and data date code older than 4 year.
6	Lot tested if flight diffusion lot number different of data diffusion lot number and data date code older than 6 year.

Table 2 : RADLAT Test Criteria

Phase Détaillée de Conception Fournisseur d'équipement – 3/3

- **Traçabilité : moyen pour éviter RADLAT/RVT**
 - Approvisionner un lot déjà testé
 - Collaboration avec fabricants de composants électroniques : accès systématique minimum à diverses informations (principalement identification wafer fab, lot de diffusion, jeu de masques)
 - Impossibilité du 1er cas
 - Nouveau lot approvisionné identique à celui déjà testé : pas de RADLAT
 - Nouveau lot approvisionné différent avec traçabilité identique à celui déjà testé mais sur d'autres critères : RADLAT - Risque modéré
 - Nouveau lot approvisionné complètement différent de celui déjà testé, i.e. composant différent du point de vue radiation : RADLAT / évaluation ; question pour SEE - Risque élevé
- **Ne pas oublier de fermer la boucle après réalisation de RADLAT : confirmer viabilité composant pour la mission**

Phase Détaillée de Conception Maître d'oeuvre

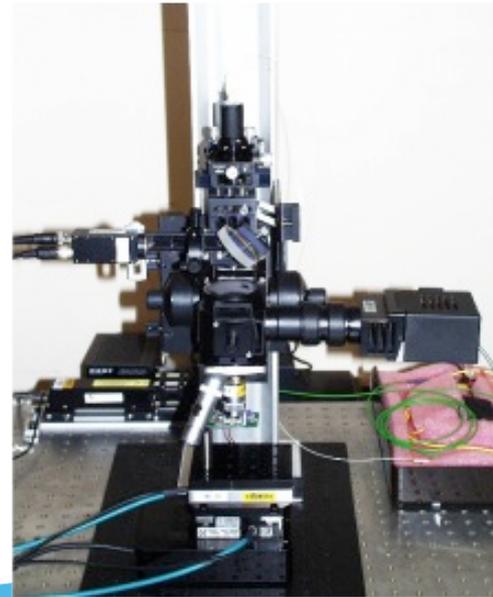
- **Revue Détaillée de Conception (CDR)**
 - Revoir évaluation détaillée des performances en mission de l'équipement effectuée par le fournisseur d'équipement
 - Valider "as-built" et revoir rapports d'essai radiation (RADLAT/RVT)
 - Contrôler validité de l'évaluation de l'impact SEE système pour équipements récurrents avec peu de modifications
 - Nouveau rapport d'essai SEE pour un nouveau composant
 - Considération de données SEE existantes pour une modification de conception
 - Compléter analyse système détaillée avec résultats sur les matériaux
- **Objectif : Valider conformité de l'équipement "as-built" à la mission, du point de vue des effets des radiations**

Tests radiation

Support aux futurs projets – 1/2

■ Actions éventuelles

- Evaluer du point de vue radiation composants électroniques / matériaux
 - Devant être conforme à RHA
 - Objectif : Eliminer “killers” (sensibilité SEE destructif)
- Etudes comparatives sur plusieurs candidats
 - Utilisation de moyens d’essai “bon marché” et adaptés (LASER)



Tests radiation

Support aux futurs projets – 2/2

■ Etudes R&D

- Approche de test “scientifique” ⇒ meilleure compréhension
- Maintenir / mettre à jour exigences RHA, conservant lien avec contraintes et besoins industriels

■ Retour d'expérience vol

- Tests radiation = simulation de l'environnement spatial
⇒ Comparaison avec données vol nécessaire
⇒ Meilleure estimation des marges de conception, partie intégrante des exigences RHA

Conclusion

- **Approche RHA systèmes spatiaux basée sur gestion des risques et non sur l'évitement des risques**
 - Déclenchement d'essais radiation autant que nécessaire, si et seulement si nécessaire
- **Bien planifier essais dans le déroulement d'un projet spatial autant que bien les réaliser**
 - Egalement question de gestion des risques
- **Mots-clés pour des essais pertinents et efficaces**
 - Fiabiliser traçabilité des composants
 - Fiabiliser entrées des concepteurs