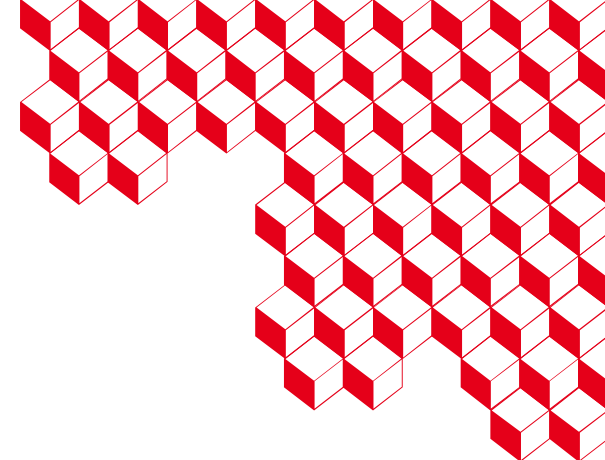




irfu



**PIGSIE:  
Plateforme d'Irradiation  
Gamma pour les Sciences,  
l'Industrie et l'Enseignement**

*François DALY, CEA/Irfu/Dap-AIM*



université  
PARIS-SACLAY

GRADUATE SCHOOL  
Physique

# Au programme:

- 1. L'environnement spatial**
- 2. Les radiations ionisantes en orbite**
- 3. Les effets des radiations spatiales**
- 4. La plateforme PIGSIE**
- 5. Les composants spatiaux**
- 6. Contacts**





# 1 ■ L'environnement spatial

# L'environnement spatial

- la microgravité,
- le vide ( $10^{-8}$  Pa),
- la température ( $-35^{\circ}\text{C}$  à  $+60^{\circ}\text{C}$ ),
- les interférences électromagnétiques,
- les vibrations,
- les rayonnements ionisants.



→ toutes ces contraintes sont fréquemment rencontrées individuellement au sol, mais à bord, elles sont simultanées.



# **2 ■ Les radiations ionisantes en orbite**

# Les radiations en orbite: origine, composition

**Origine:** très majoritairement le Soleil (solar flares, coronal mass ejection and solar wind)

## **Composition:**

- protons, électrons, ions lourds, et neutrons,
- des énergies jusqu'à quelques dizaines de Mev,
- variable sur l'orbite (ceintures de Van Allen, 100 - 65 000km, inclinaison...),
- Interaction des  $e^-$  avec les structures mécaniques → rayons « X & gamma », protons, ions,
- de plusieurs ordres de grandeurs supérieurs à la radioactivité au sol.

## **Effets sur les composants électroniques:**

- effet cumulatif → dégradation progressive des caractéristiques des composants,
- effet à événement unique → destructif ou non-destructif.

→ Nécessité d'utiliser une électronique durcie.



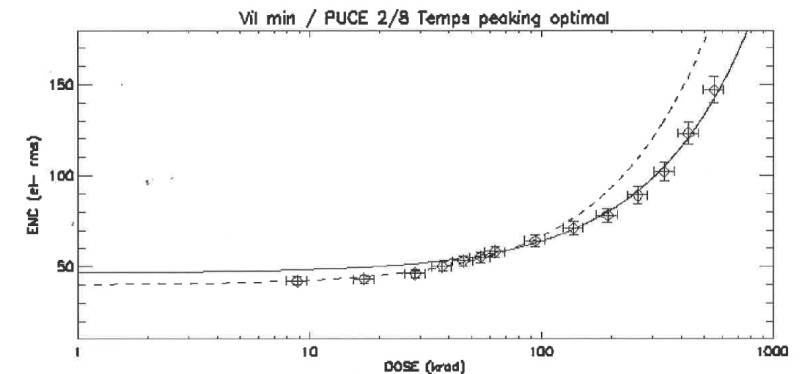
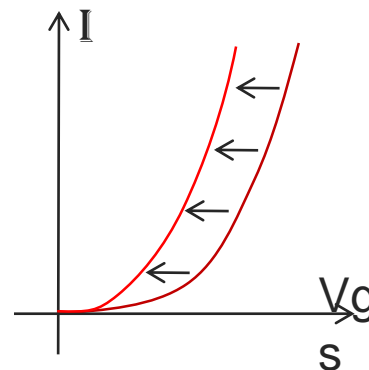
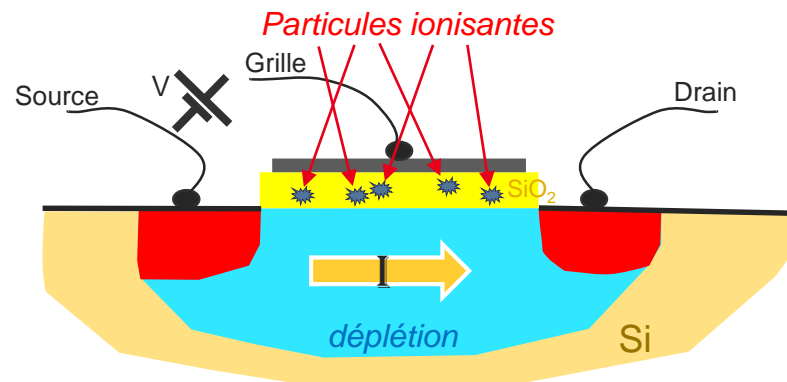
# **3 ■ Les effets des radiations spatiales**

# Les types d'effets

## Les effets cumulatifs (1/2):

- **TID: Total Ionizing Dose**
  - ↳ particule ionisante → paire électron-trou.
  - ↳ à l'intérieur d'une zone diélectrique (*ie isolante*)
    - ↳ piégeage d'un défaut électrostatique
    - ↳ modification des caractéristiques; décalage des seuils, fuite de courant, changement des délais de commutation...
  - ↳ TID rad (100 rad = 1 Gy), avec 1 Gy = 1 J/kg,
  - ↳ de quelques krad(Si) à plusieurs centaines de krad suivant les orbites et la durée de la mission.

## L'élément de base: le transistor MOS





# Les types d'effets

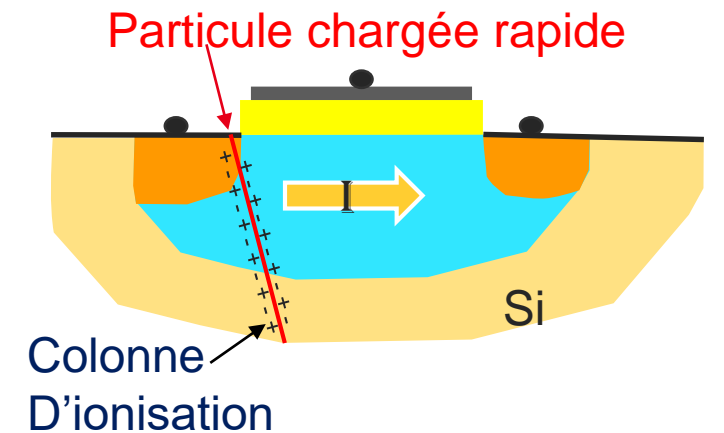
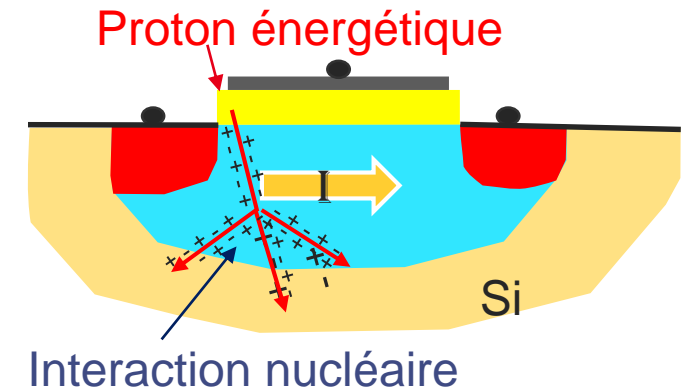
## Les effets cumulatifs (2/2):

- **DD**: Displacement Damage ou TIND (Total non-ionising dose)
  - ↳ particule ionisante interagissant sur des composants d'atomes.
  - ↳ crée des défauts dans le cristal.
  - ↳ différents effets sur les composants bipolaires, et tous les types de composants optoélectroniques (CCD, APS, LED, diodes laser).
  - ↳ les ASIC et les FPGA ne sont pas affectés par cet effet.

# Les types d'effets

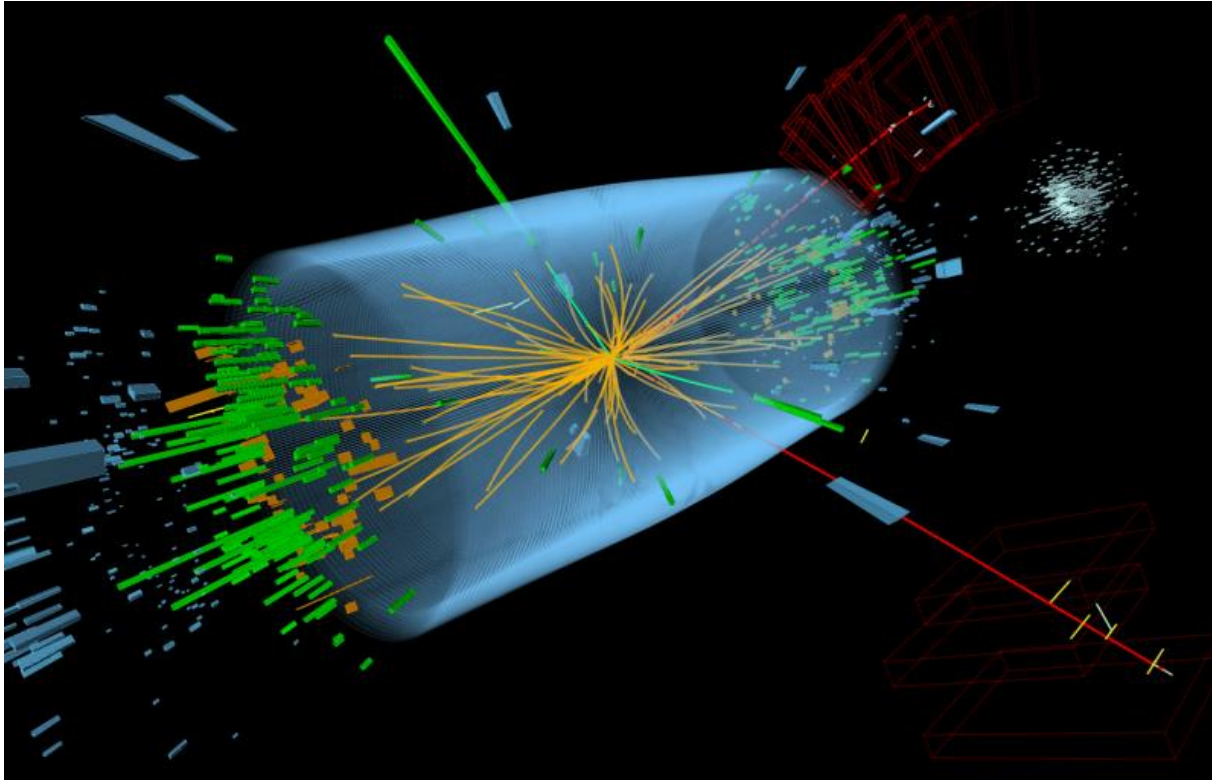
## Les effets à événement unique : SEE (single Event Effect)

- **SET**: Single Event Transient
  - ↳ impulsion dans les circuits analogiques et numériques,
  - ↳ temporaire et récupérable,
- **SEU**: Single-Event Upset
  - ↳ basculement de bits dans les bancs mémoires,
  - ↳ temporaire et récupérable,
- **SEFI**: Single-Event Functional interrupt
  - ↳ crée une erreur logiciel,
  - ↳ temporaire et récupérable,
- **SEL**: Single-Event Latch-up
  - ↳ effet thyristor,
  - ↳ destructif,
- **SEGR/SEDR**: Single-Event Gate/Dielectric Rupture
  - ↳ Destructif,
- Et autres SESB, SEHE, SEB...



# Des débits et des doses variés

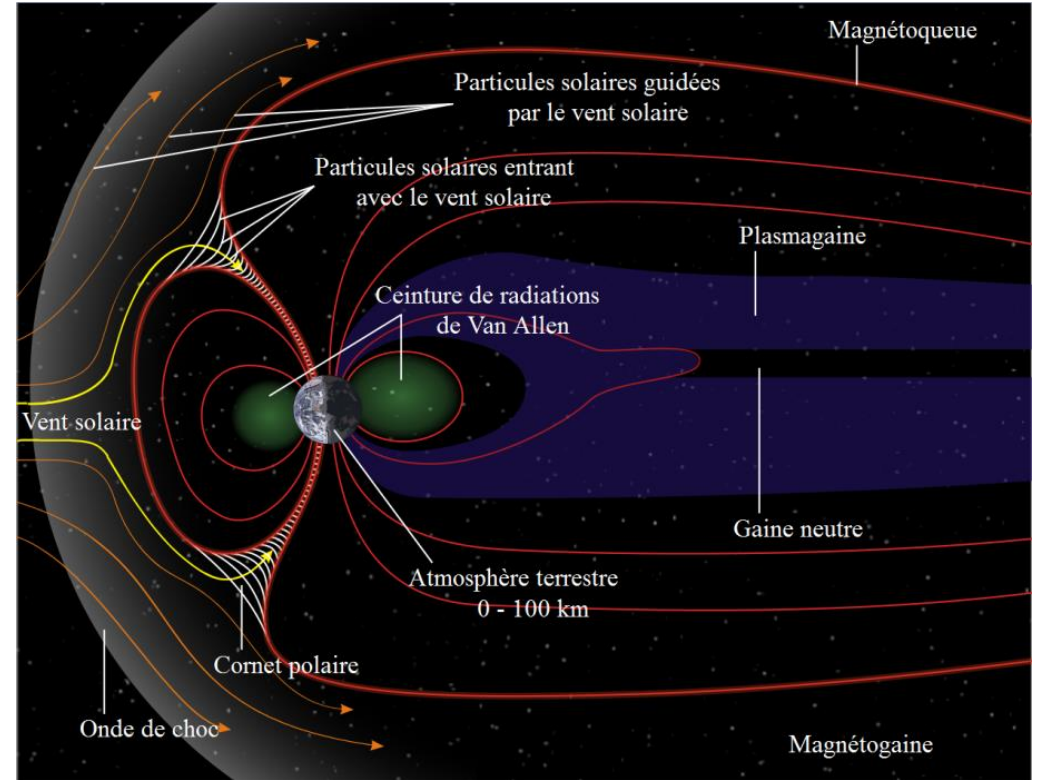
## Les radiations dans les expériences de physique



Événement candidat boson de Higgs : collisions entre protons dans le détecteur CMS au LHC. (Image: CMS/CERN)

0,01 à 1 Gy/h sur ~10 ans

## Les radiations dans l'espace



William Crochot — [http://science.nasa.gov/newhome/headlines/guntersville98/images/mag\\_sketch\\_633.jpg](http://science.nasa.gov/newhome/headlines/guntersville98/images/mag_sketch_633.jpg)

~15 Gy sur 10 ans



# 4. La plateforme PIGSIE

# PIGSIE: une plateforme pour la recherche, l'industrie et l'enseignement.

L'irradiateur COCASE, un équipement pour les essais en Dose:

- **Source de  $^{60}\text{Co}$ ,**
  - ↳ Photons de 1,173 et 1,332 MeV,
  - ↳ Activité de 666 GBq / 18Ci (juillet 2023).
- **Faisceau:**
  - ↳ Débit de <1 à >100 rad/h en fonction de la distance,
  - ↳ Cône de sortie de 80°,
  - ↳ Répond à la norme ECSS-22900.







# PIGSIE: côté financier

- **Déchargement de l'ancienne source:**
  - ↳ déchargement de l'ancienne source: 49 k€ (08/2020)
  - ↳ rechargement d'une nouvelle source: 113 k€ (12/2023)
  - ↳ accroissement de la protection physique: 35k€ (10/2023)
  - ↳ **financement P2IO: 90 k€ (10/2021)**
- **Coût d'un essai :**
  - ↳ dépend de :
    - ↳ la dose demandée / la durée,
    - ↳ le débit de dose souhaité,
    - ↳ la surface interceptée du faisceau,
    - ↳ le nombre d'accès.
  - ↳ gratuit pour les projets étudiants.



# 5 ■ Les composants spatiaux



# Les composants utilisables dans l'environnement spatial:

- **Des composants « RadHard » :**
  - ↳ Catalogues de fabricants (STM, ACTEL, ATMEL, Xilinx, ADI, Maxim, Microchip, etc),
  - ↳ Technologies de fondeurs (pour les ASIC).
- **Des composants COTS :**
  - ↳ Tenue en radiation à vérifier au cas par cas.
- **Une communauté :**
  - ↳ La Cellule Radiations Spatiales.



# 6 ■ **Contacts**

# PIGSIE: les contacts

## ▪ Chef d'exploitation :

- ↳ François DALY
- ↳ CEA/Saclay, Département d'Astrophysique
- ↳ Tél. + 33 (0)1 69 08 96 23
- ↳ [francois.daly@cea.fr](mailto:francois.daly@cea.fr)

## ▪ Chef d'exploitation suppléant :

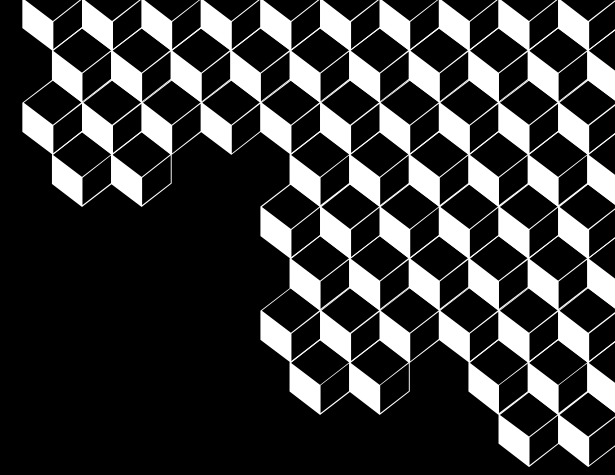
- ↳ Aurélien SOHARD
- ↳ CEA/Saclay, Département des accélérateurs, de cryogénie et de magnétisme
- ↳ Tél. + 33 (0)1 69 08 11 79
- ↳ [aurelien.sohard@cea.fr](mailto:aurelien.sohard@cea.fr)

## ▪ Expert radiation :

- ↳ Hector GOMEZ-MALUENDA
- ↳ CEA/Saclay, Département d'Electronique, des Détecteurs et d'Informatique pour la Physique
- ↳ Tél. + 33 (0)1 69 08 63 80
- ↳ [Hectro.gomez@cea.fr](mailto:Hectro.gomez@cea.fr)

## ▪ Cellule Radiations Spatiales :

- ↳ Arnaud CLARET
- ↳ CEA/Saclay, Département d'Astrophysique
- ↳ Tél. + 33 (0)1 69 08 37 62
- ↳ [Arnaud.claret@cea.fr](mailto:Arnaud.claret@cea.fr)



**Merci**

**CEA SACLAY**

91191 Gif-sur-Yvette Cedex

France

[nathalie.guillaume@cea.fr](mailto:nathalie.guillaume@cea.fr)

Standard. + 33 1 69 08 60 00



irfu

