

ETUDE DE LA PERSISTANCE DANS LES RÉTINES PROCHE IR EN HgCdTe POUR LES APPLICATIONS EN ASTRONOMIE

Titouan LE GOFF¹, Olivier GRAVRAND¹, Nicolas BAIER¹, Olivier BOULADE²

(1) CEA LETI – 17 Avenue des Martyrs, 38000 Grenoble (France)

(2) CEA IRFU – Orme des Merisiers, 91191 Gif-Sur-Yvette (France)

Email : titouan.legoff@cea.fr

PLAN DE LA PRÉSENTATION

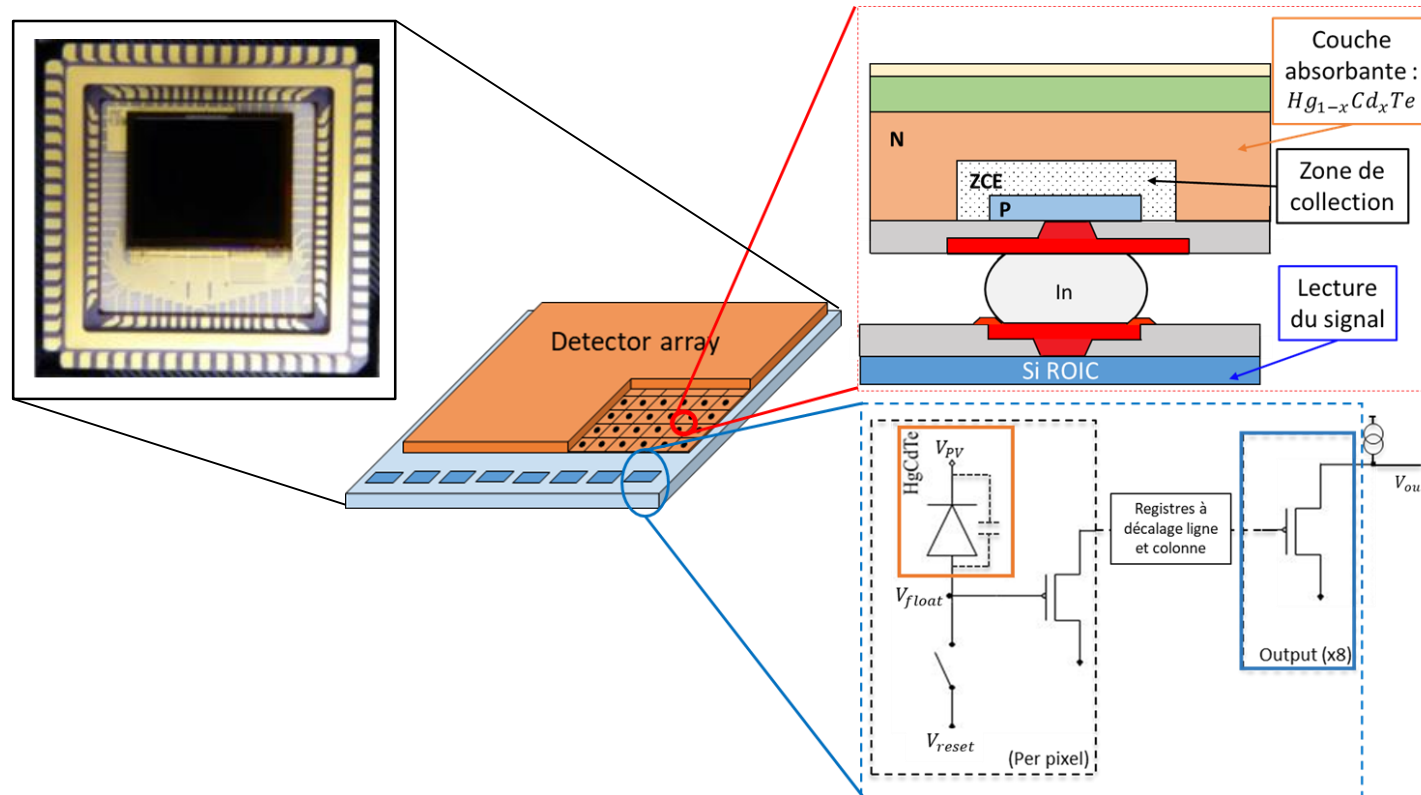


- **Introduction**
- **Instrumentation & protocoles**
 - Cryostat avec sphère intégrante + LED pulsée
 - Types de protocoles (optique, électrique, flash, rampe)
- **Analyse**
 - Fit multi-exponentiel
 - Modèle de persistance
- **Intérêts au sein de la filière & résultats marquants**
 - Comparaison carac classique et persistance
 - Etude de la persistance sur plusieurs technologies (+motifs de test)

INTRODUCTION – DÉTECTEURS D'ÉTUDE

Détecteurs de test

Lots préliminaires à ALFA
HgCdTe SWIR (2.1 et 2.5 μ m)
Diodes P/N au pas de 15 μ m, format TV



... Bas flux

Détecteur haute perf : fort QE , faible I_{dark} , faible *bruit*

Matériau absorbant : $Hg_xCd_{1-x}Te$

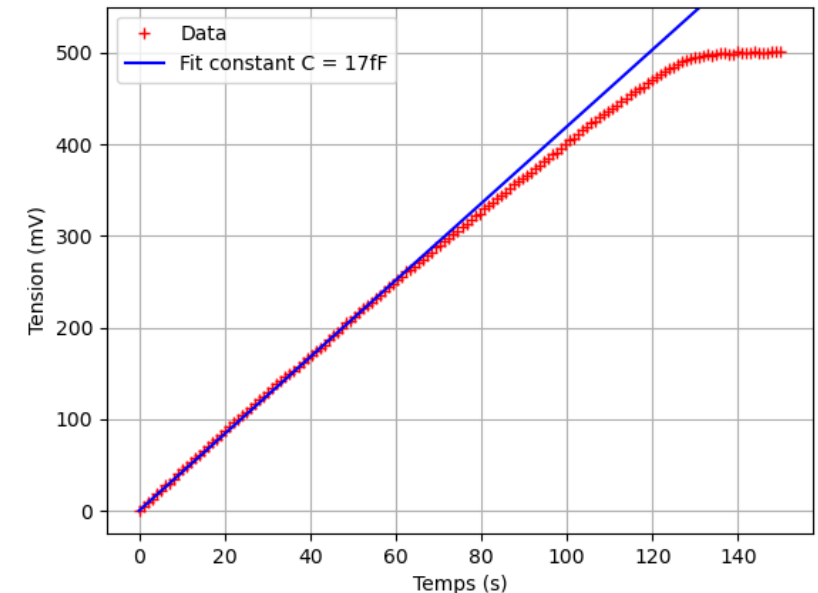
Circuit de lecture SFD

Lecture non destructive

Gain élevé

Point de polarisation flottant

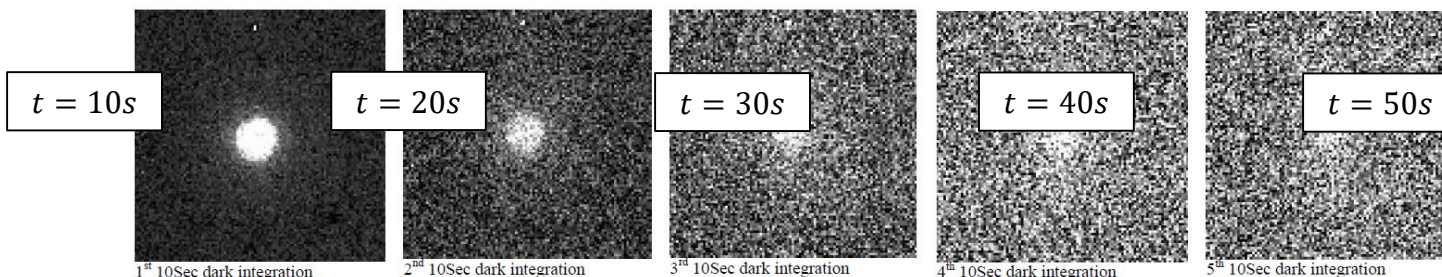
Rampe d'intégration d'un pixel SFD, flux constant



INTRODUCTION – PERSISTANCE SUR CE TYPE DE DÉTECTEURS

Persistence

= influence de toutes les images précédentes



[1] N. Besawada (2004)

Problématiques

Pas de détecteurs sans persistance

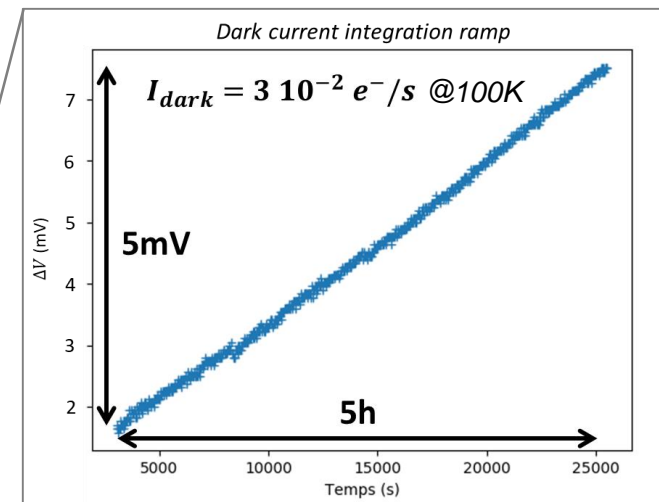
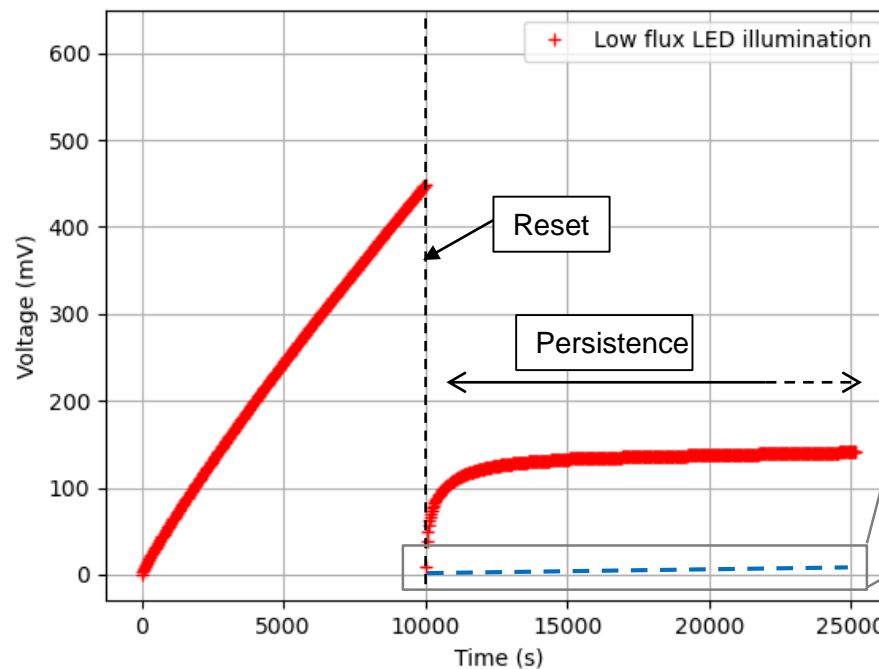
Calibration fastidieuse

Amplitude/durée/type de stimulation

Point de fonctionnement du détecteur

Pas de modèle physique

Pas d'info sur la techno



INSTRUMENTATION – CRYOSTAT ÉQUIPÉ D'UNE LED À FROID

Cryostat

Bain d'azote + régulation T° 90 à 150K

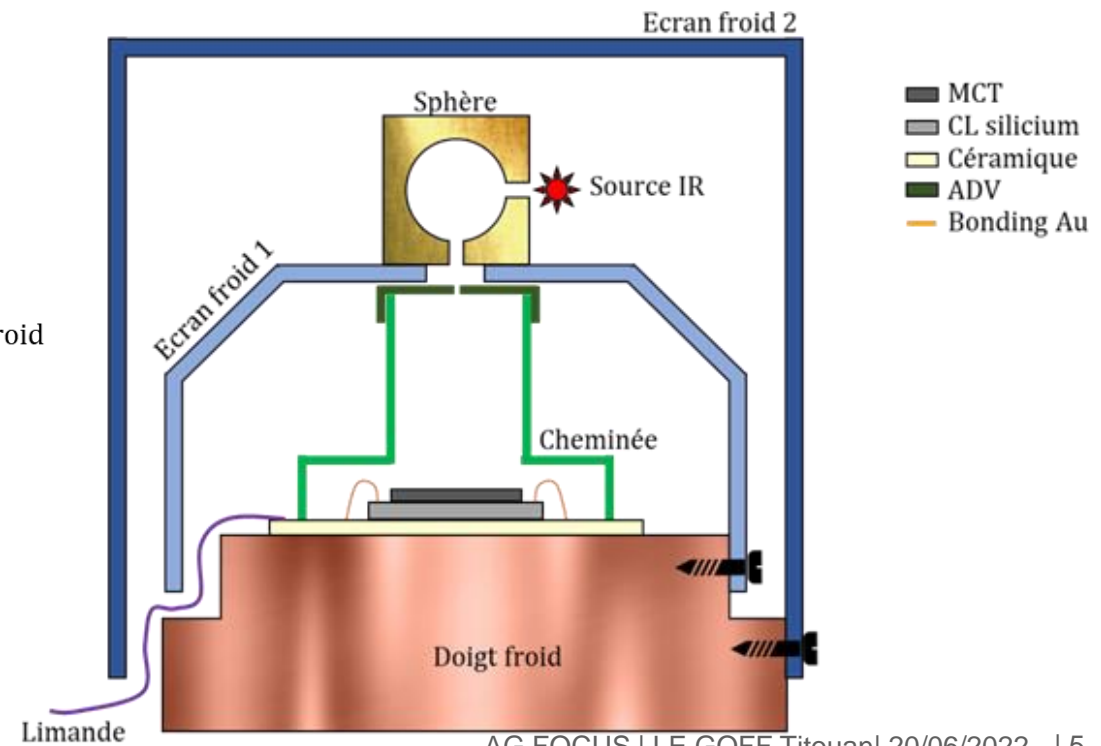
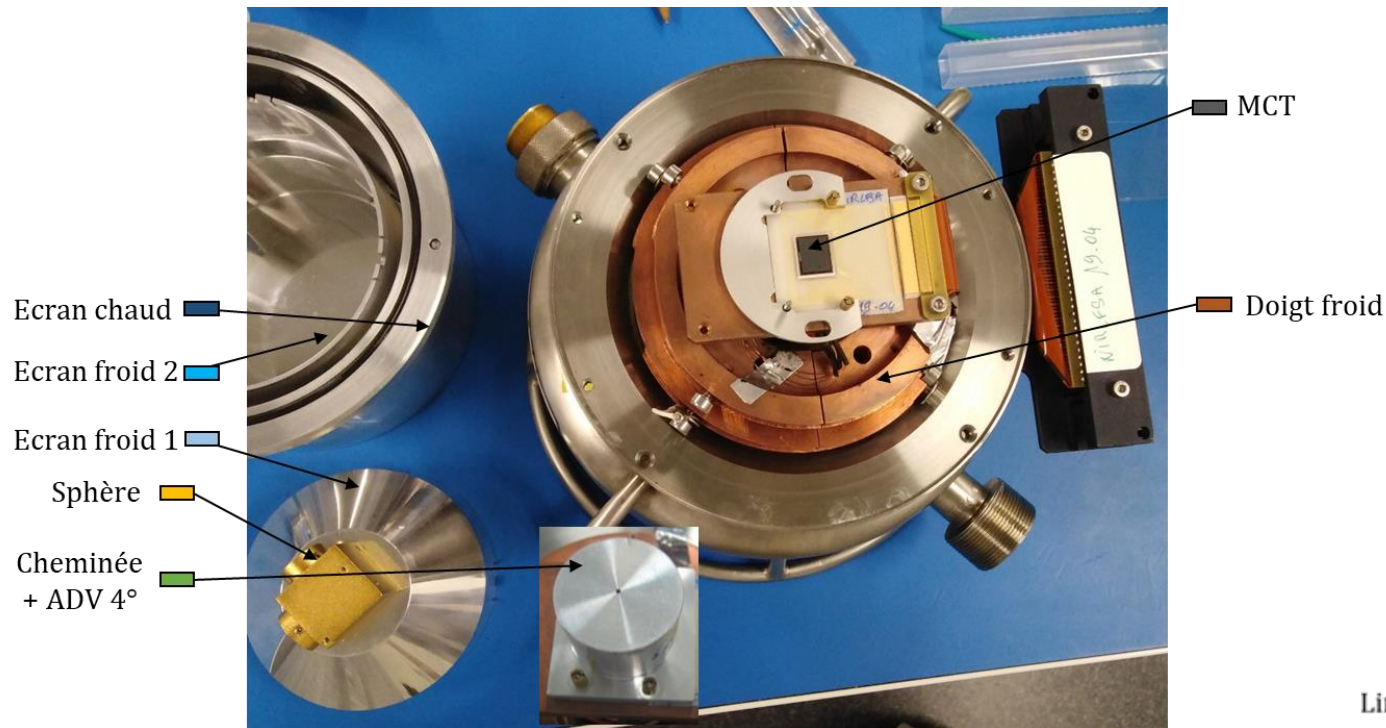
Baflage : obscurité < 0,01 ph/s

Sphère intégrante : FOCUS

Calibration et pilotage de la LED

Flux LED : 10^6 ph/s

Pilotage pulsée : répétition de flash de $1\mu s$ → 4 $ph/pix/pulse$



PROTOCOLES DE MESURES

Protocoles repris dans un environnement maîtrisé

Types de mesure :

- **Stimulation** optique/électrique
- **Dynamique** : flash ou rampe
- **Amplitude** : nbr de photons ou ΔV

Méthode d'analyse

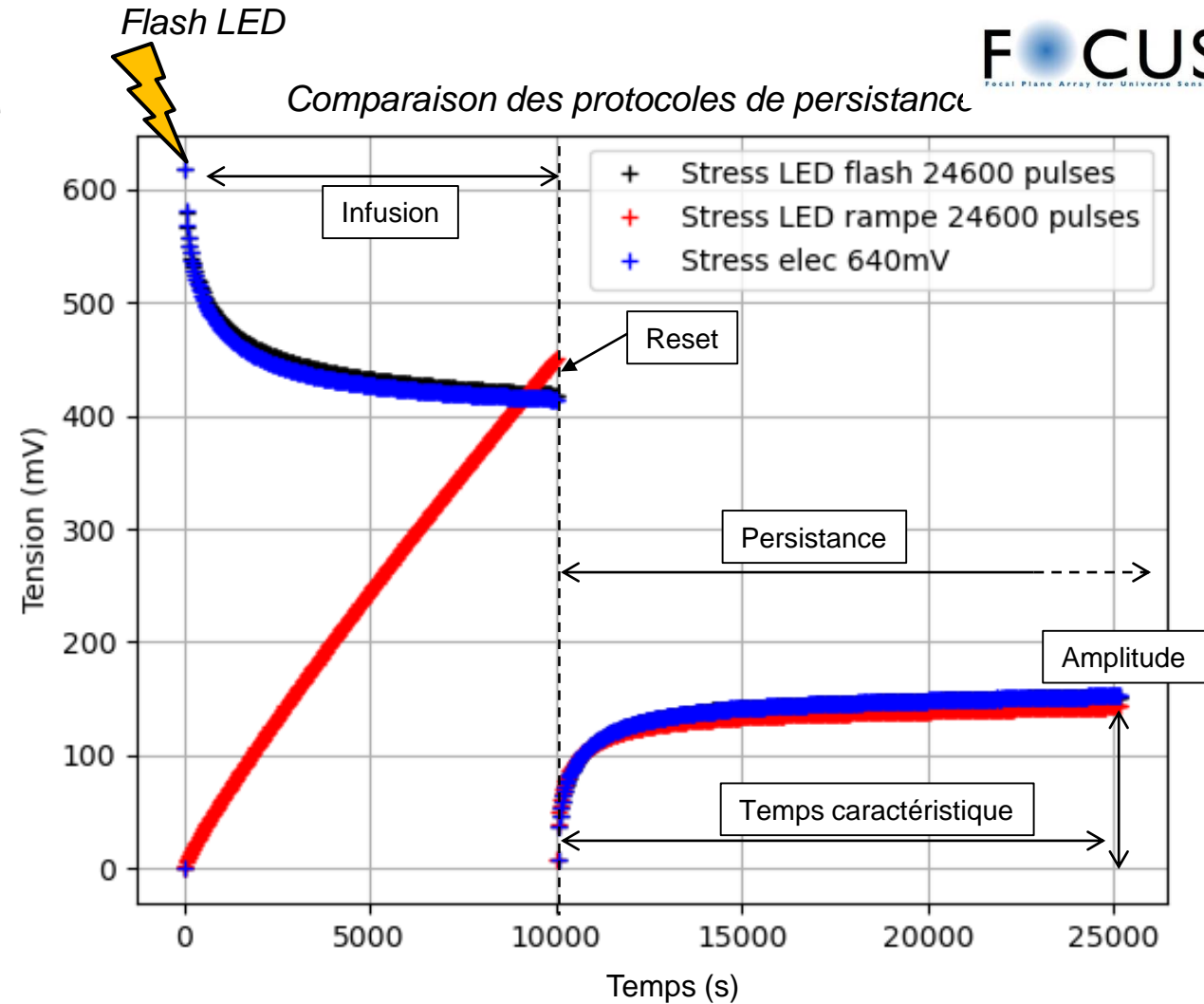
- **Fit empirique** multi-exponentiel

$$V(t) = \frac{I_{dark}}{C} t + V_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) + V_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) + V_3 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}}\right)$$

- **Modèle physique** [2]

Principaux résultats

Différence rampe LED / flash LED
Equivalence stress électrique / flash LED

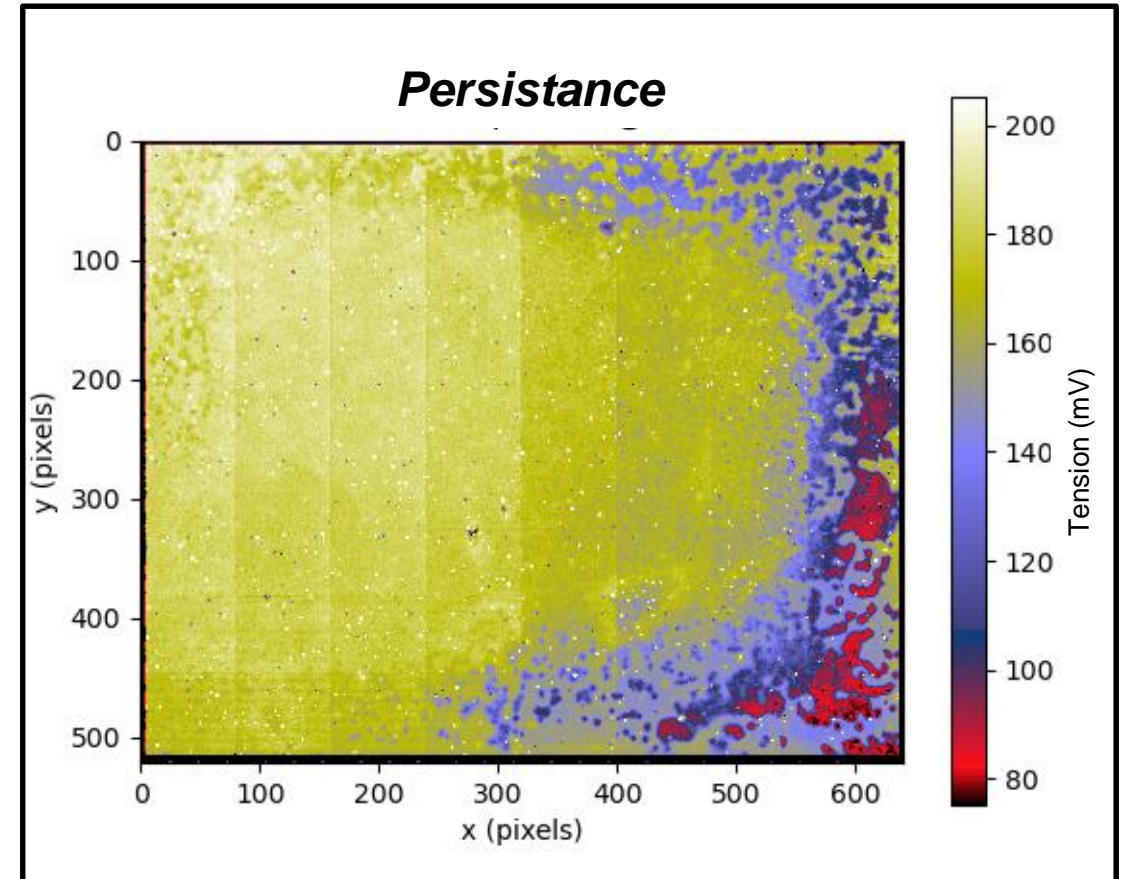
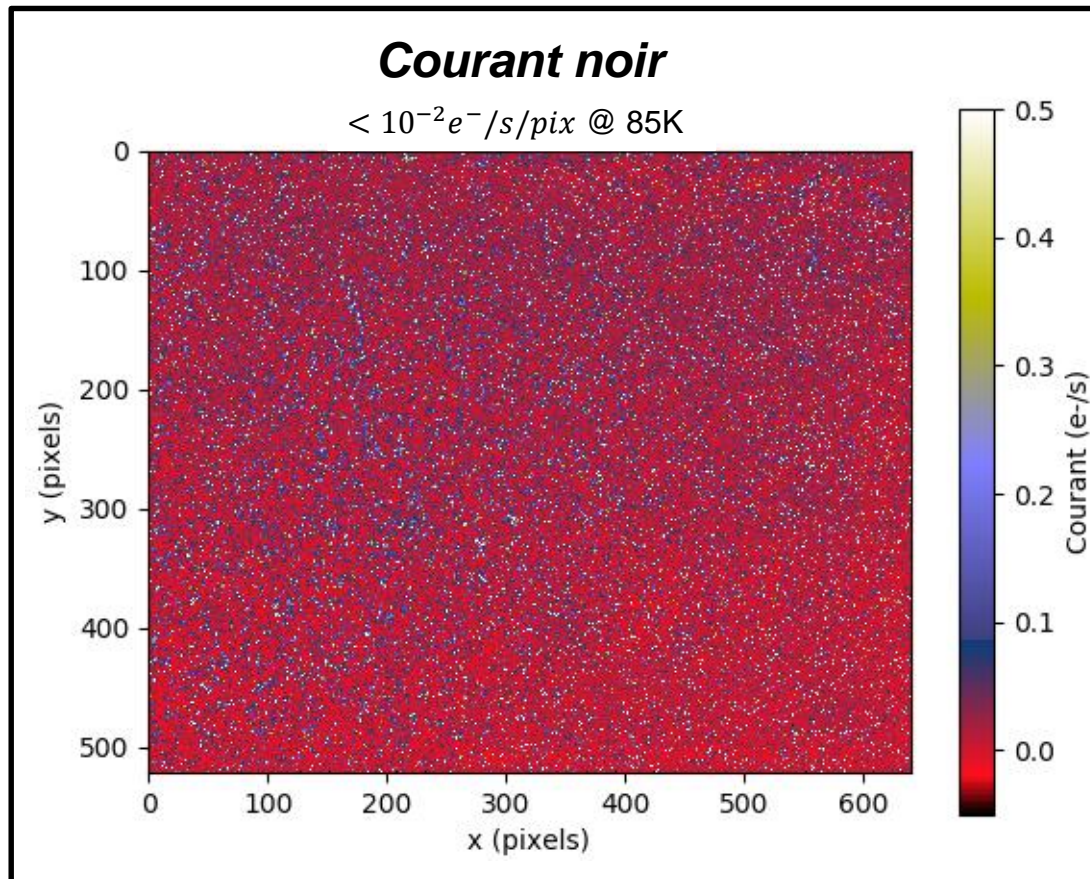


PERSISTANCE SUR DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE DÉTECTEURS

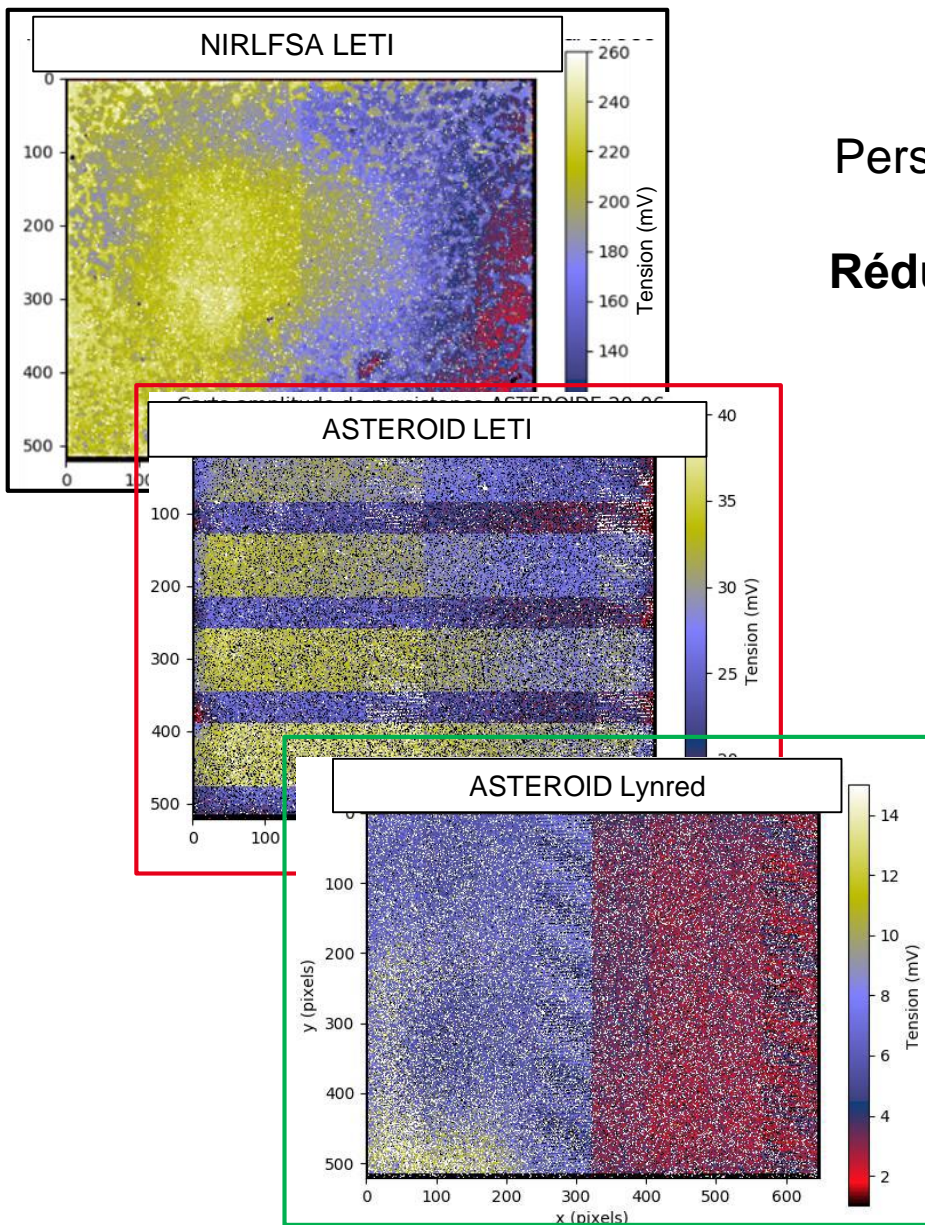
Intérêts filière :

Patterns jamais observés

→ Informations supplémentaires grâce à la persistance

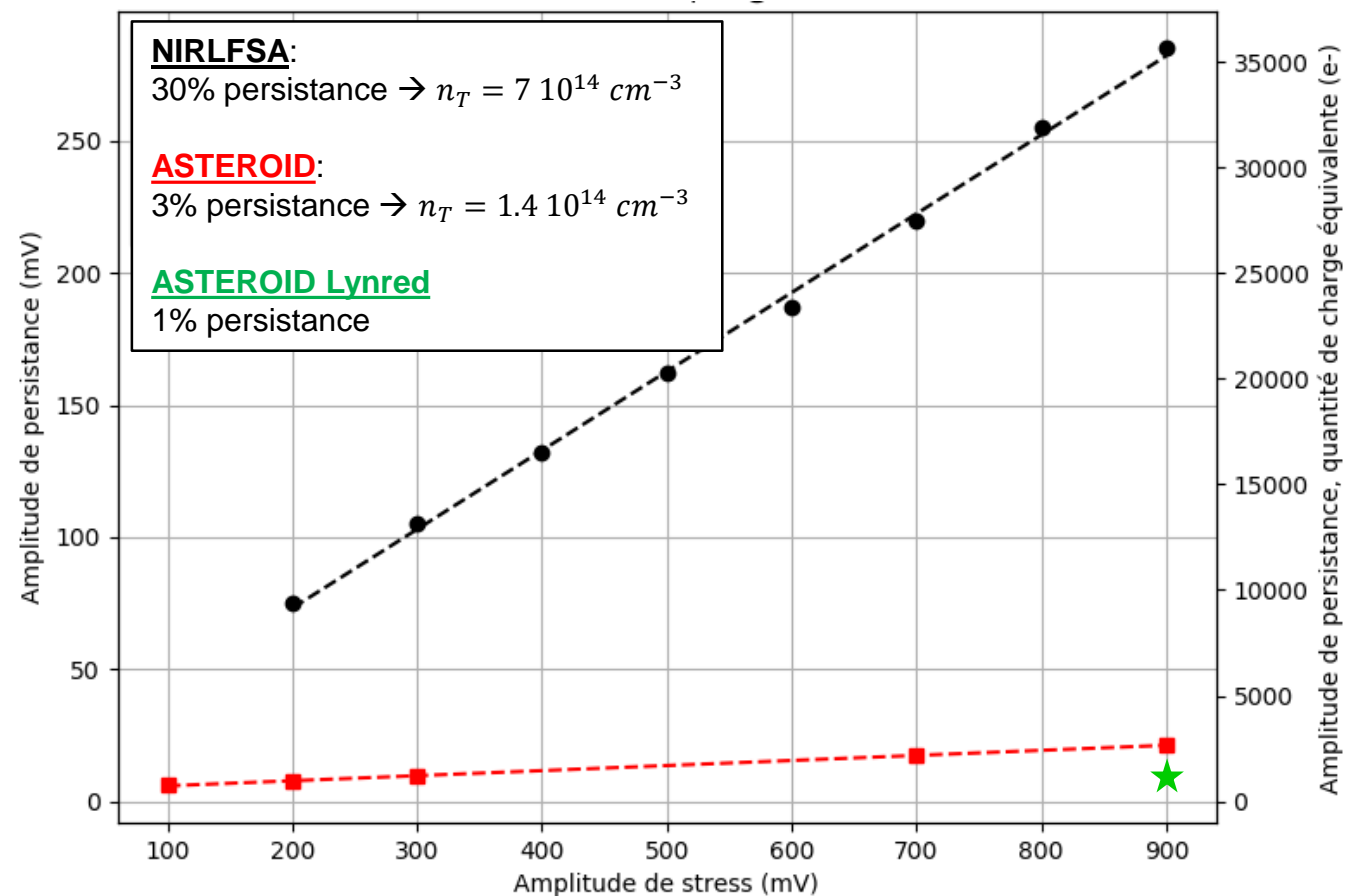


PERSISTANCE SUR DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE DÉTECTEURS



Détecteurs de test

Persistence très sensible à la technologie du détecteur
 Etudes sur matrices à variantes & motifs de test
Réduction d'un facteur 10 de l'amplitude de persistance



CONCLUSION

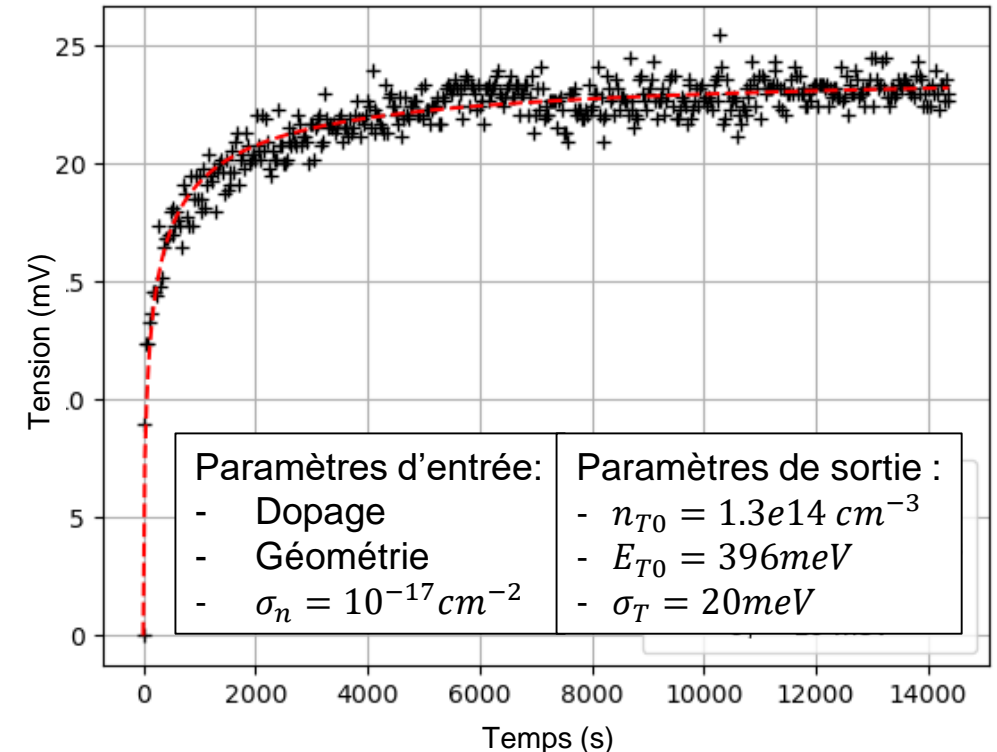
- **Moyens de caractérisation**

- Cryostat équipé sphère intégrante + LED à froid
- Outils d'analyse et de compréhension : modèle physique

- **Résultats marquants**

- Sensibilité de la persistance au protocole appliqué (flash VS rampe)
- Fort intérêt de cette méthode pour compréhension techno
- Amélioration sur ce critère au cours des programmes ALFA et ASTEROID

*Rampe de persistance d'un pixel détecteur ASTEROID
Fit avec modèle défaut étendu*



ANNEXE – MODÈLE DE PERSISTANCE

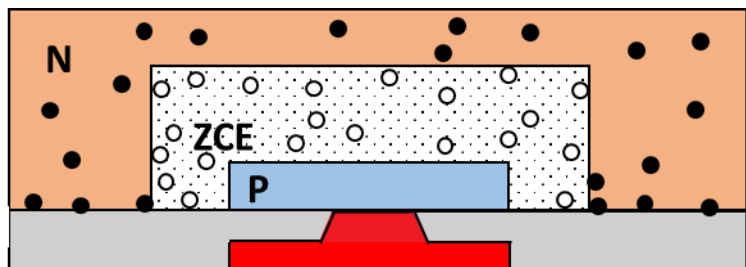
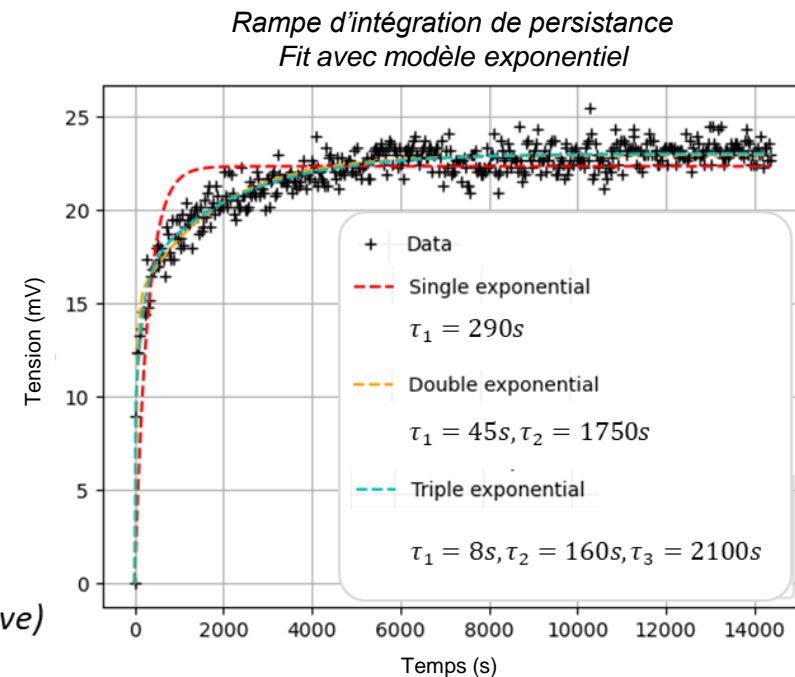
Description phénoménologique (Modèle de Smith [6])

Capture/émission d'électrons par des défauts profonds dans la ZCE

Interprétation : 1 exponentielle = 1 famille de piège

Fit multi-exponentiel non physique

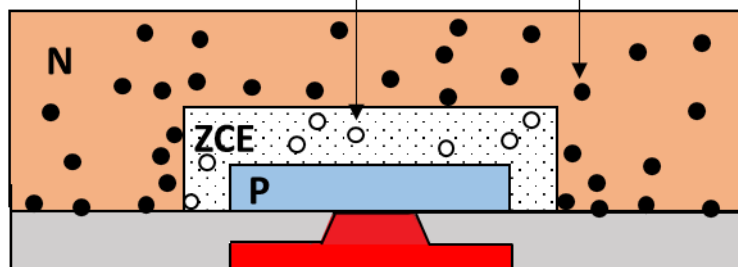
$$V(t) = V_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) + V_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) + V_3 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}}\right) + \dots$$



Etat initial : les pièges sont vides

Défaut profond occupé par un e^- (charge négative)

Défaut profond vide (neutre)



Acquisition : remplissage des pièges

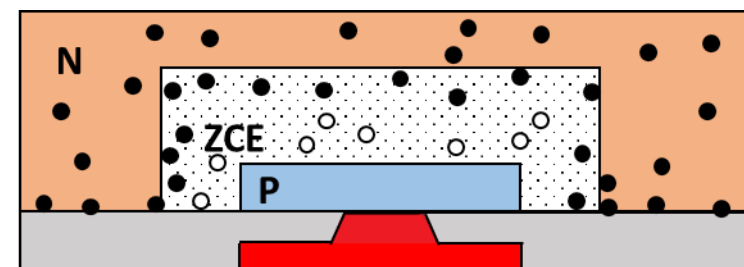


Image suivante : les pièges occupés émettent leur électron

[6] R. Smith (2008)

Explication usuelle

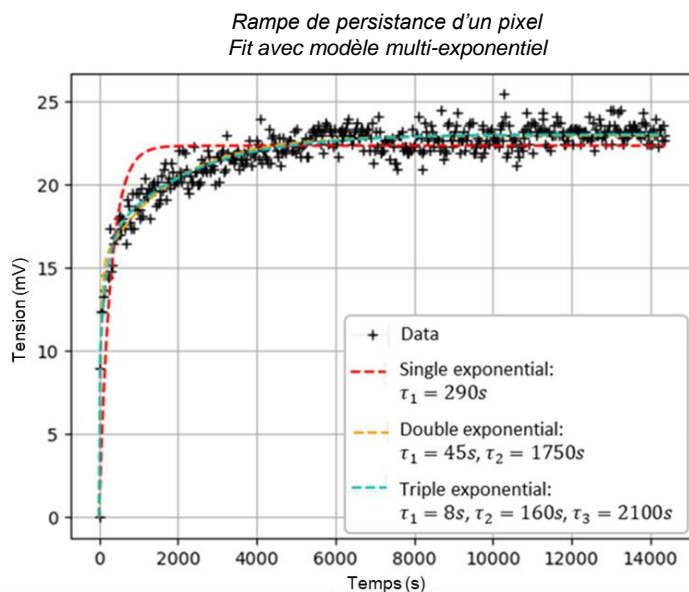
Plusieurs pièges sont nécessaires

Pour une famille de piège:

Dynamique d'émission :

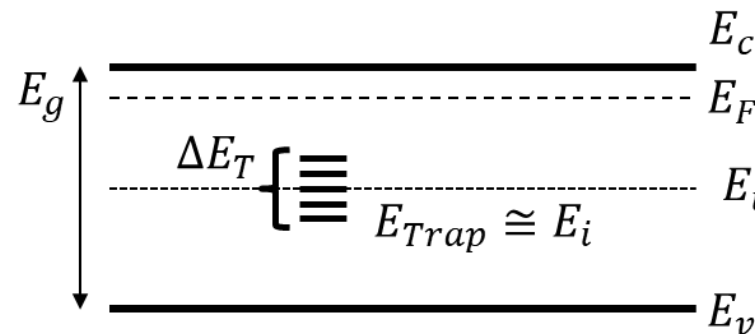
$$e_n(E_T) = \sigma_n v_{th} N_c \exp\left[-\frac{E_c - E_{T0}}{kT}\right]$$

et $\frac{dn}{dt} = e_n n_T(t)$ et $\frac{dn_T}{dt} = -e_n n_T(t)$



Nouvelle hypothèse

Distribution d'énergie dans le gap



Défauts dans le MCT

Désordre d'alliage

Défauts étendus

→ Distribution gaussienne de niveaux d'énergie

$$[8] n_T(t) = n_T(0) \int_0^\infty g(E_{Ti}) \exp[-e_n(E_{Ti})t] dE_{Ti}$$

$$g(E_{Ti}) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(E_{T0} - E_{Ti})^2}{2\sigma_T^2}\right]$$

[7] W. Schröter, J. Kronewitz, U. Gnauert, F. Riedel and M. Seibt, Phys. Rev. B, vol 52 (1995)

[8] P. Omling, L. Samuelson, and H. G. Grimmeiss, Journal of Applied Physics 54, 5117 (1983)

ANNEXE – MODÈLE DE PERSISTANCE

Persistance dans un pixel SFD

Transitoire de courant [9]

Intégré dans une capacité non linéaire

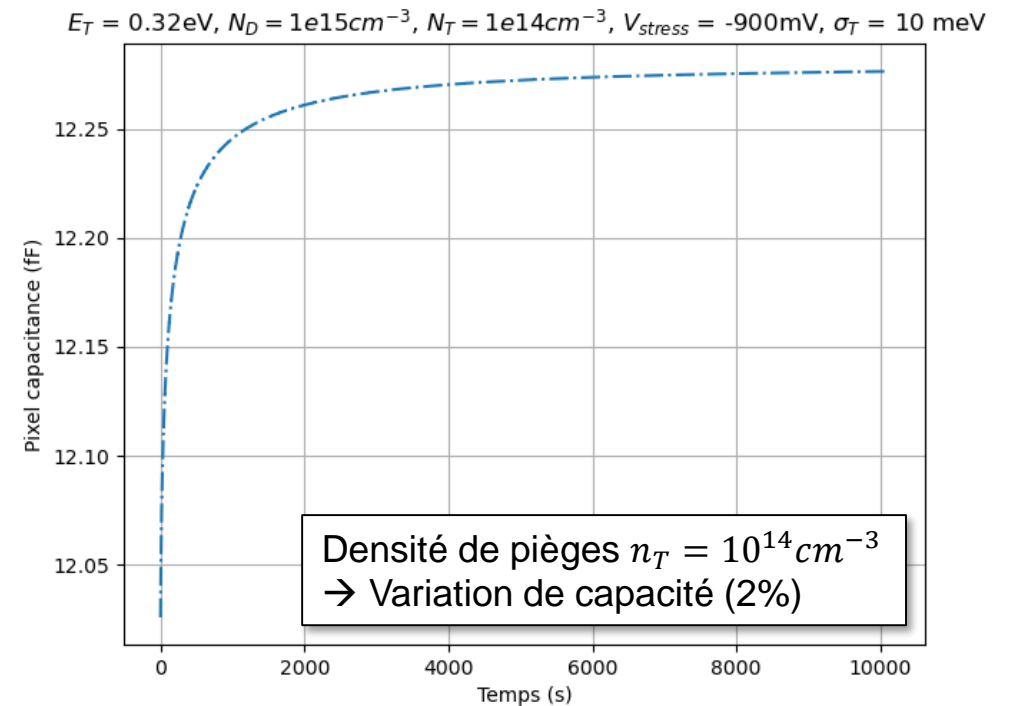
Courant de persistance [9]:

$$I = qA \left[W(t) - W_0 - \frac{W(t)^2 - W_0^2}{2W(t)} \right] \int_0^\infty g(E_T) e_n(E_T) n_T(0) \exp[-e_n(E_T)t] dE_T$$



Capacité non linéaire du pixel SFD:

$$C = \frac{A\epsilon}{W(t)}; W(t) = \sqrt{\frac{2\epsilon_{MCT}}{q[N_D - n_T(t)]} [V_{bi} - (V_{stress} + V_{float}(t))]}$$

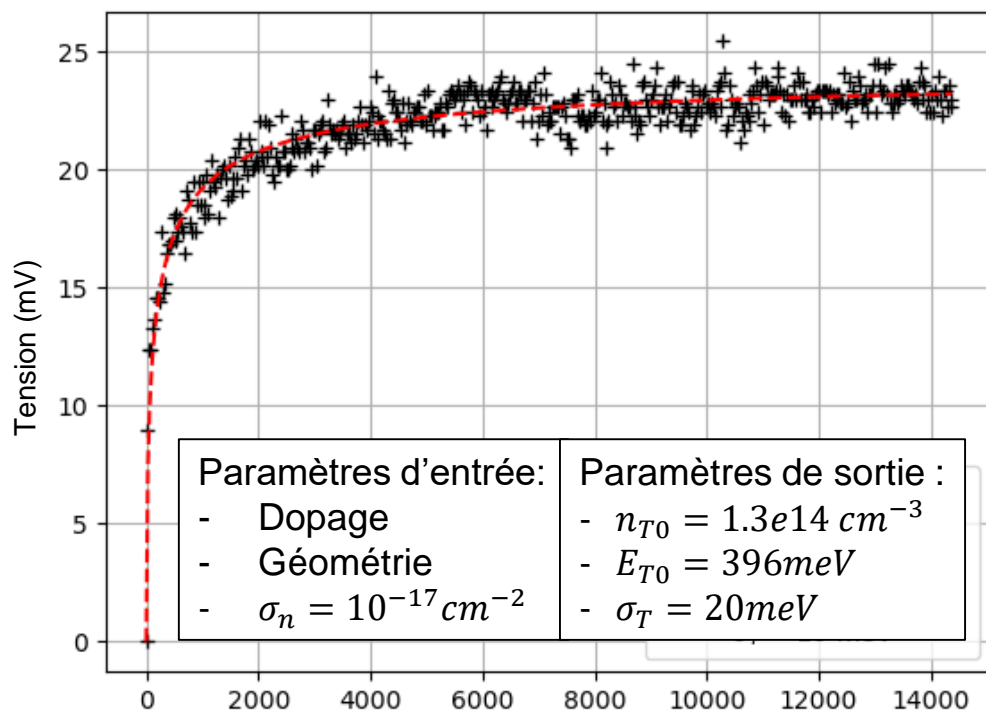


ANNEXE – MODÈLE DE PERSISTANCE

Résultats [10]

Reproduit la **dynamique non linéaire**
Amplitude de persistance dépend de n_T uniquement
ASTEROID : $n_T = \text{dopage résiduel}$

Rampe de persistance d'un pixel détecteur ASTEROID LETI
Fit avec modèle défaut étendu



Limites

Persistance sur détecteurs 1^{er} génération :
Densité de pièges \cong dopage
Matériau compensé ? Hors du cadre du modèle

Rampe de persistance d'un pixel détecteur 1^{er} GEN LETI
Fit avec modèle défaut étendu

