

# Overview of MCT IR developments at LETI for space and science applications

**O. Gravrand et al.**

**IRIS @ Bologne 2026**

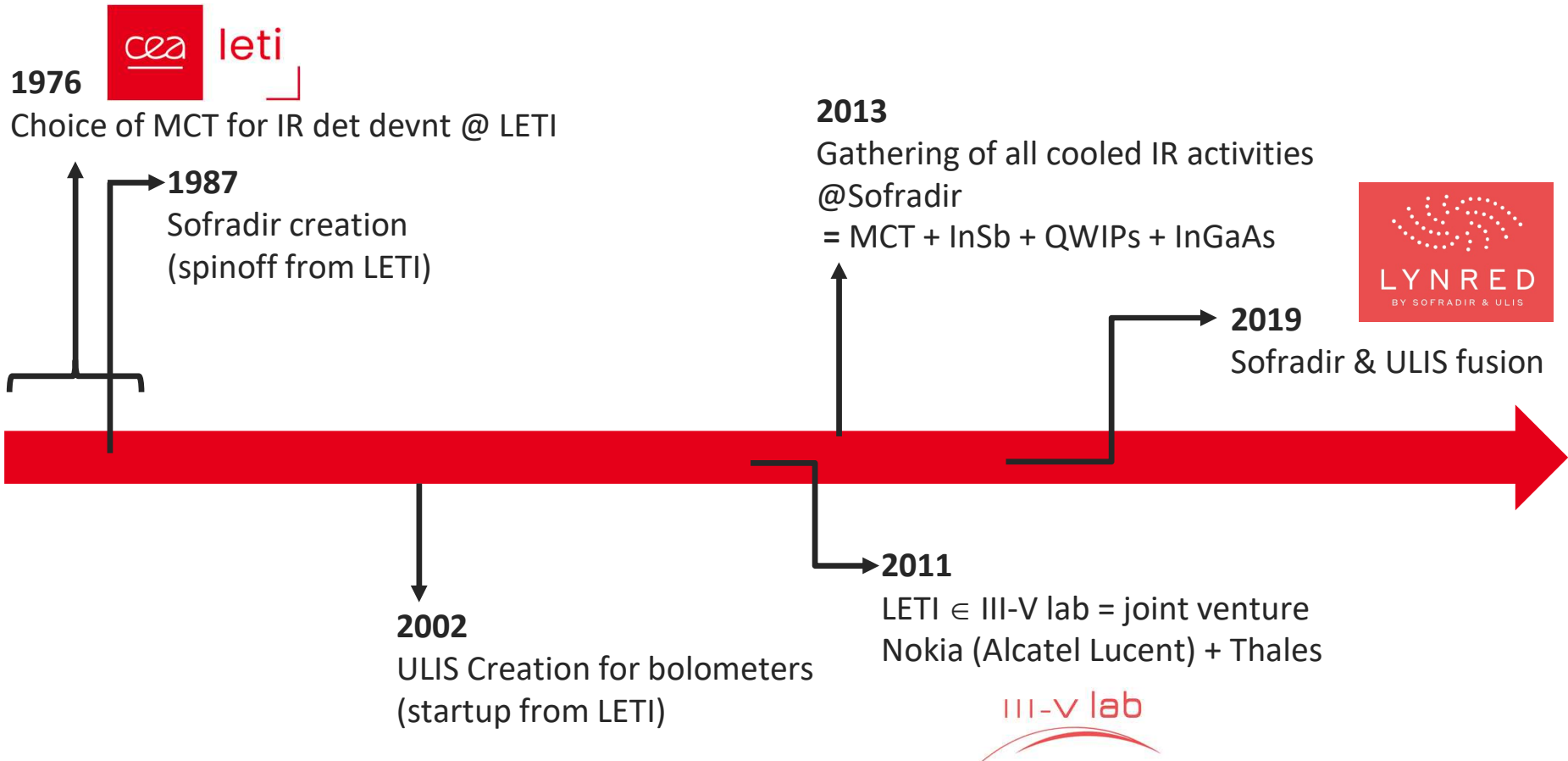
- ❑ **General IR context at LETI = Who are we ?**
  - Link with lynred
- ❑ **CdHgTe eAPDs at LETI**
  - Moon-photonics
- ❑ **CdHgTe for imaging**
  - Classical diode structure
  - MTG, ALFA, ...
- ❑ **CdHgTe New gen (NG) structure**
  - NIR to VLW
- ❑ **Sb-based III-V**
  - Bulk and T2SL



My face, MWIR ( $\lambda_c = 5.2\mu m$ ),  $7.5\mu m$  pitch

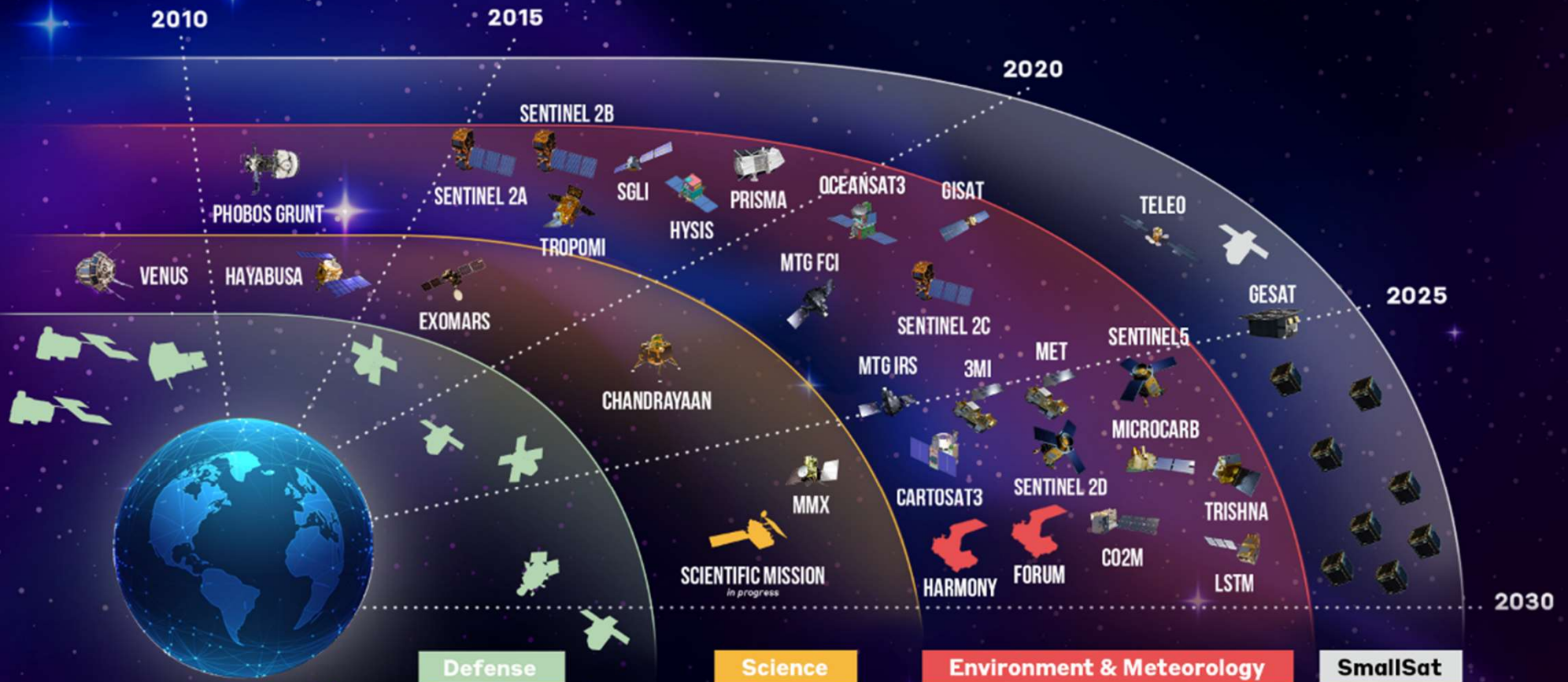


# Brief historical perspective IR imaging devnt at LETI

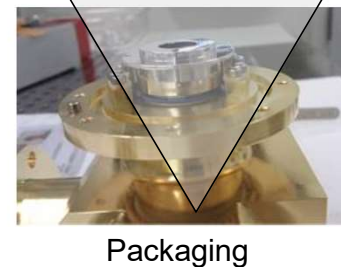
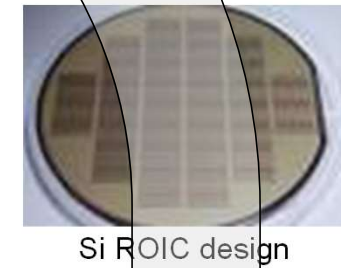
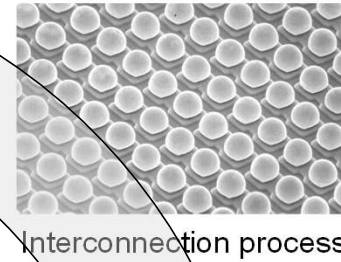
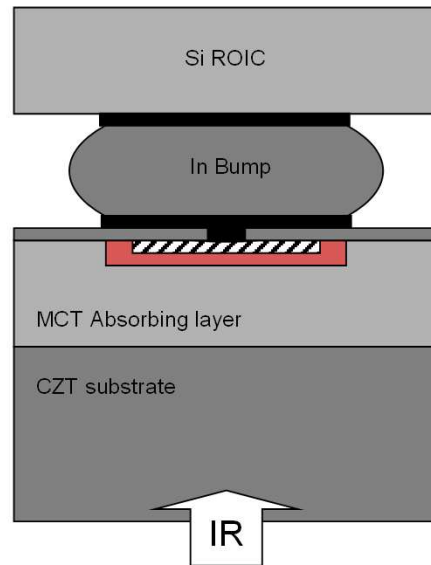
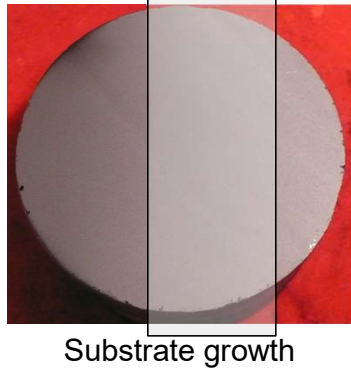
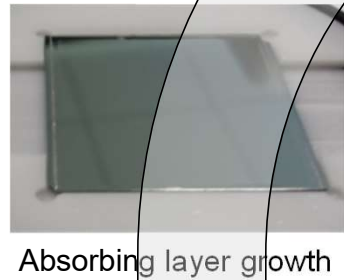
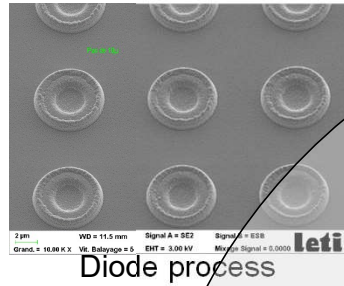


# LYNRED is the European leader for Flight Model deliveries

- > 180 Delivered Flight Models
- > 81 Flight Models in Space



# At LETI we master the full MCT integration



# MCT = initial choice at LETI

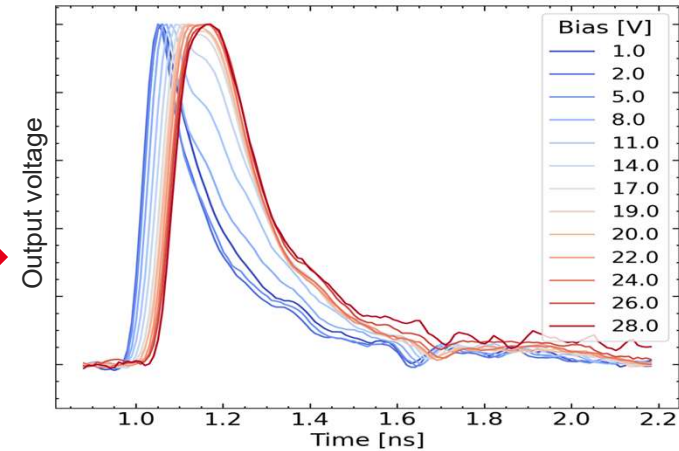
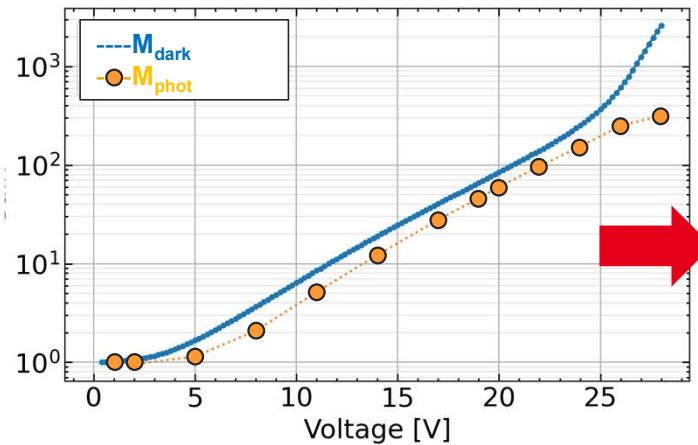
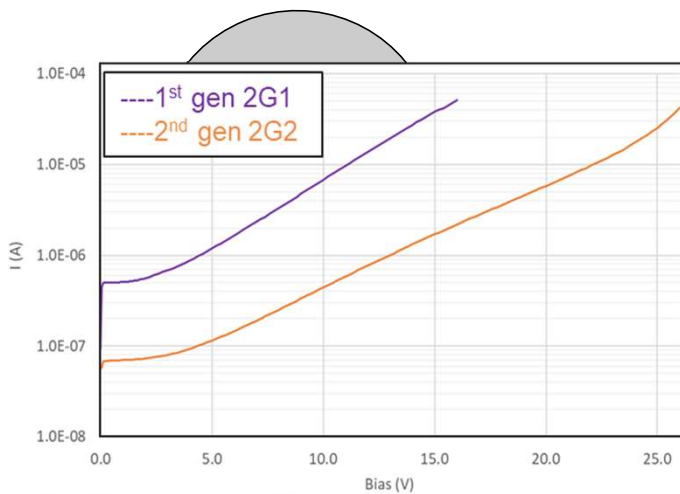
## Intrinsic n/p



- ❑ Legacy technology at Lynred
- ❑ Absorption in P-type
- ❑ VHg  $\rightarrow$  low  $\tau$ 
  - $\rightarrow$  High  $J_{\text{dark}}$
  - $\rightarrow$  high MTF
- ❑ Compatibility with eAPDs

- ❑ Electron initiated avalanche in planar devices = SAM eAPD

- High gain,  
ex 2<sup>nd</sup> gen HOT APD SW @300K  
 $M=200$  @ 26V
- High BW, high QE, low F  
up to 1.6 GHz for  $M=200$
- HOT operation now available  
 $I_{\text{dark}}=70$  nA at  $T=300$  K



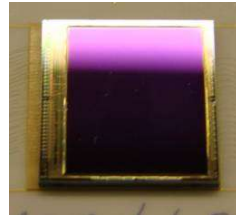
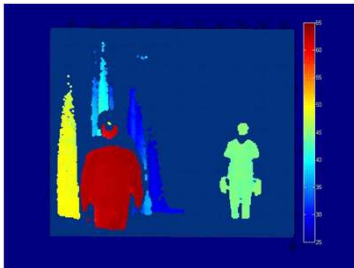
# IR eAPD history at LETI



- [3D] DeBornioli et al., Optical Engineering 51, 1305 (2012)
- [RAPID] M. Hillen, et al., AA 08544 (2016)
- [LIDAR] A. Dumas et. al., Appl. Opt. **56**, 7577 (2017)
- [DS FSO] J. Rothman et. al. CEAS Space J. **9**, 507 (2017)

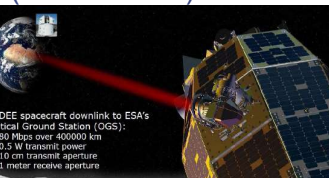
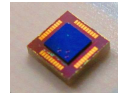
**2006**  
First MCT APD @ LETI

**2011**  
Active imaging FPAs  
(LiDAR imagers)  
320x256 30 μm pitch

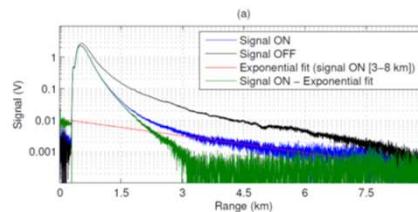


Fast frame rate for astronomy  
2 kfps, 320x256 30μm pitch,  
sub electron noise  
**2014**: RAPID at VLTI

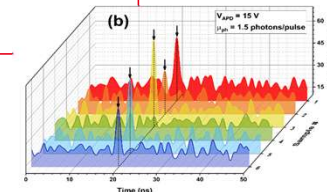
Switch from FPA to single diodes  
For high  $M \times BW$   
**Mid 2010's**



**2014**  
LLCD with Leti APD  
(80 MHz BW)

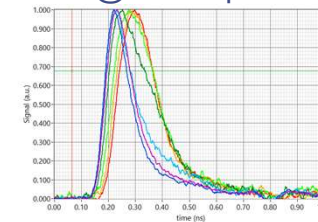


**2016** : APD for CO<sub>2</sub>  
Atmospheric Lidar



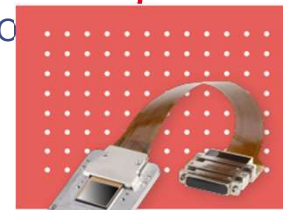
Photon counting APD  
for deep space coms  
**2022**

**2023** :1st gen  
HOT APDs for FSO  
@ 2.5 Gbps



**MONPHOTONICS**

- 2026** : Creation of Moon Photonics
- FSO
  - Lidar
  - Quantum



1380\*640 pixels  
LYNRED < 10 el. noise (goal)

Back to imaging with  
COBRA CTIA ROIC MPx

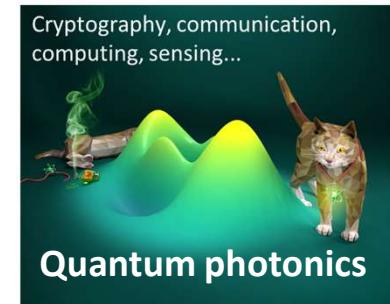


Low photon number detection

# Moon Photonics detector solutions

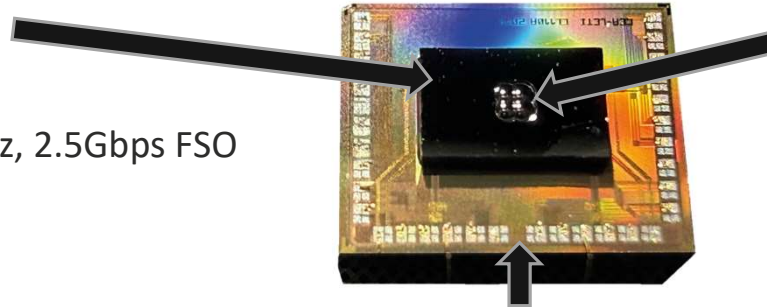


An integrated solution with the highest sensitivity for seamless integration and scaling of



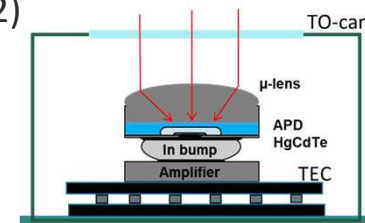
## HgCdTe APDs

- M=100-1000
- F=1.2-1.3
- BW = 1-2 GHz, 2.5Gbps FSO
- T=80-300 K
- $\lambda < 2.5 \mu\text{m}$



## Enhanced optical area with monolithically integrated micro-lenses

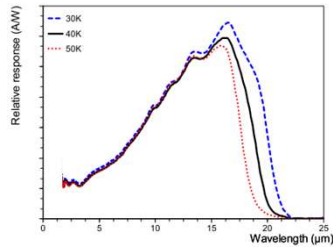
- 250  $\mu\text{m}$  diameter
- at F# = 2,27 (NA = 0,22)



## Hybridized amplifier

- Reduced thermal noise x 2-4
- Reduced electromagnetic interference (EMI)
- Guaranteed system performance through characterization of all detector chips

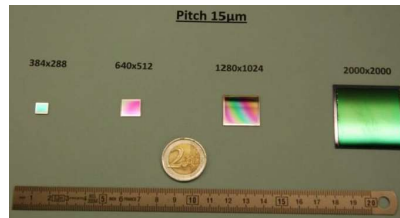
# Brief cooled IR imaging history @ LETI



VLWIR FPA n/p  
20μm co  
**2006**



MTG selection  
**2010**

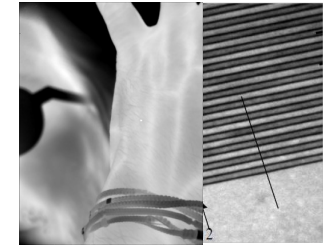


2k<sup>2</sup> hybridation  
**2013**



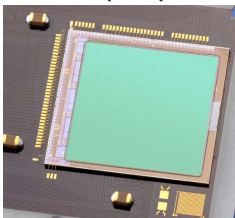
IGn InAsSb  
MWb = 4.1μm co  
TV p15 150K  
**2018**

1st NG FPA  
TV p15 LW  
**2020**



T2SL p15/7.5  
MWr = 5μm co  
HOT 130K  
**2025**

**2004**  
1k<sup>2</sup> 15μm pitch



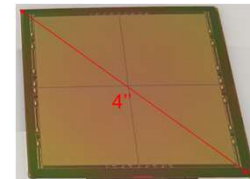
1st MCT  
eAPDs  
**2006**

P/N FPAs  
MW-LW-VLWW  
**2008**

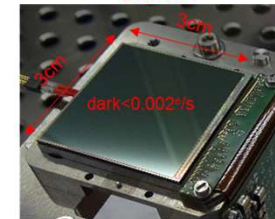
Low flux P/N  
NIR LFSA  
TV p15  
**2012**



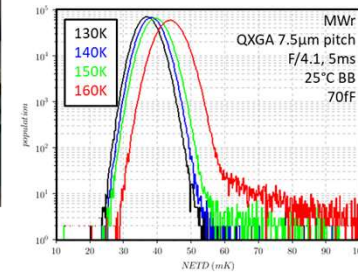
CZT 7x7cm  
4x(2k)<sup>2</sup> p15  
**2019**



ALFA NIR  
(2k)<sup>2</sup> p15  
**2021**

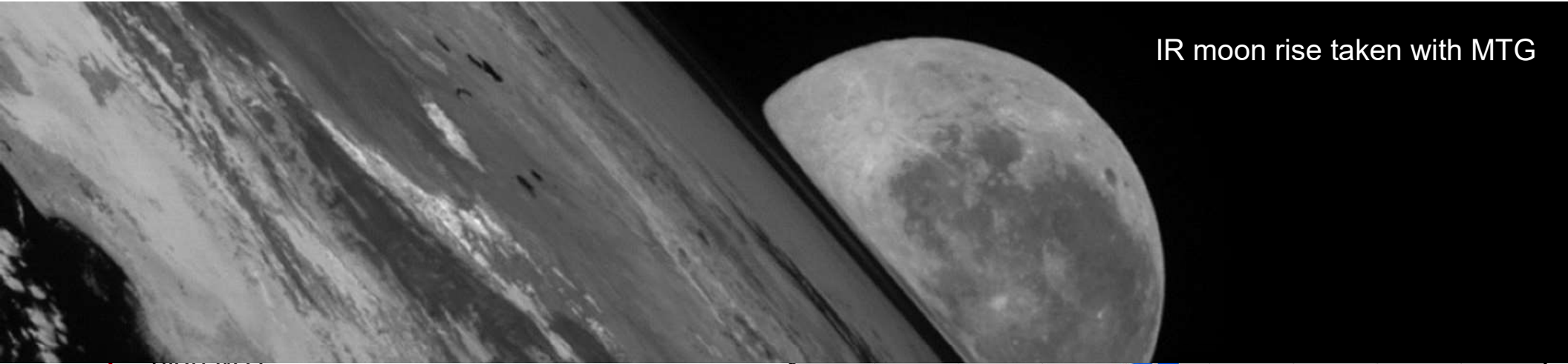


NG 3Mpx p7.5  
MWr HOT 150K  
**2025**

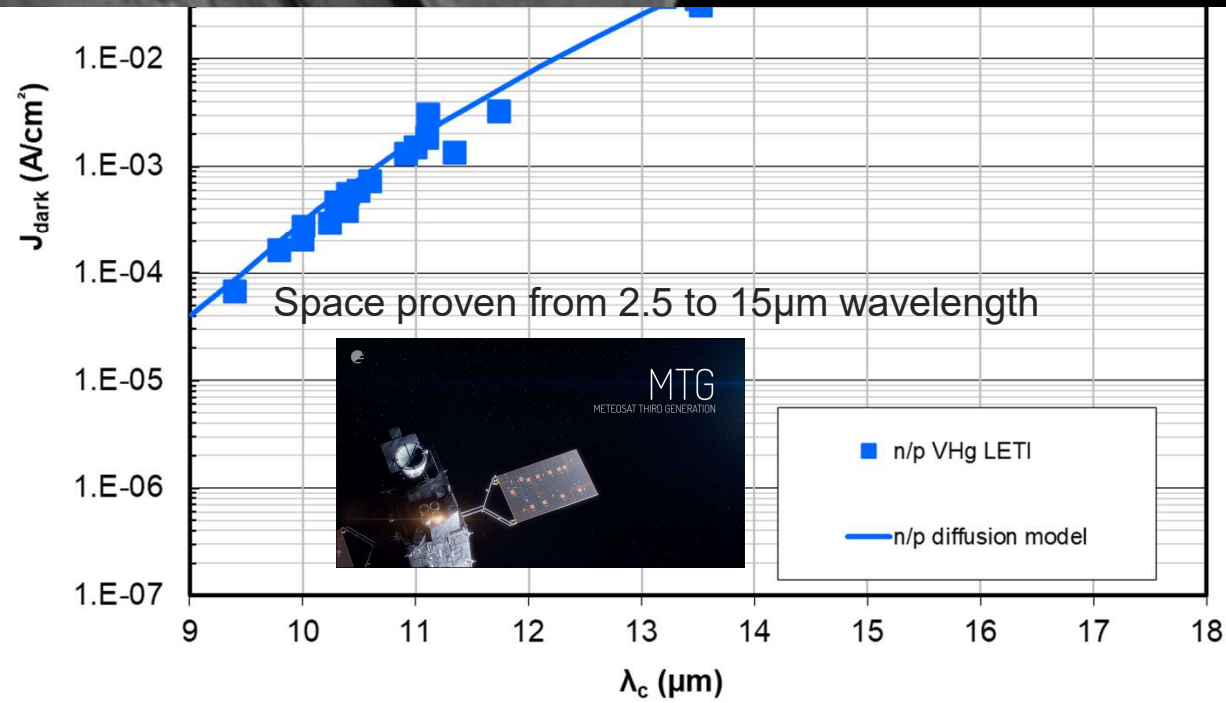
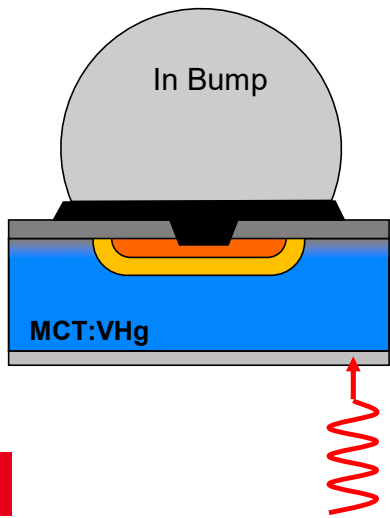


[MPX] Catelein et al. (2004) SPIE, 5251  
[VLWIR] Gravrand, et al (2007) JEM, 36(8), 981–987  
[APD] Perrais., (2009) JEM 36(8), 963  
[P/N] Mollard, et al. (2008). SPIE, 6940.  
[NIRLFSA] Gravrand et al. (2012) JEM 41(10), 2686  
[ALFA] Gravrand et al. (2022). SPIE, 1210706  
[HOT] Gravrand et al. JEM to be published 2026





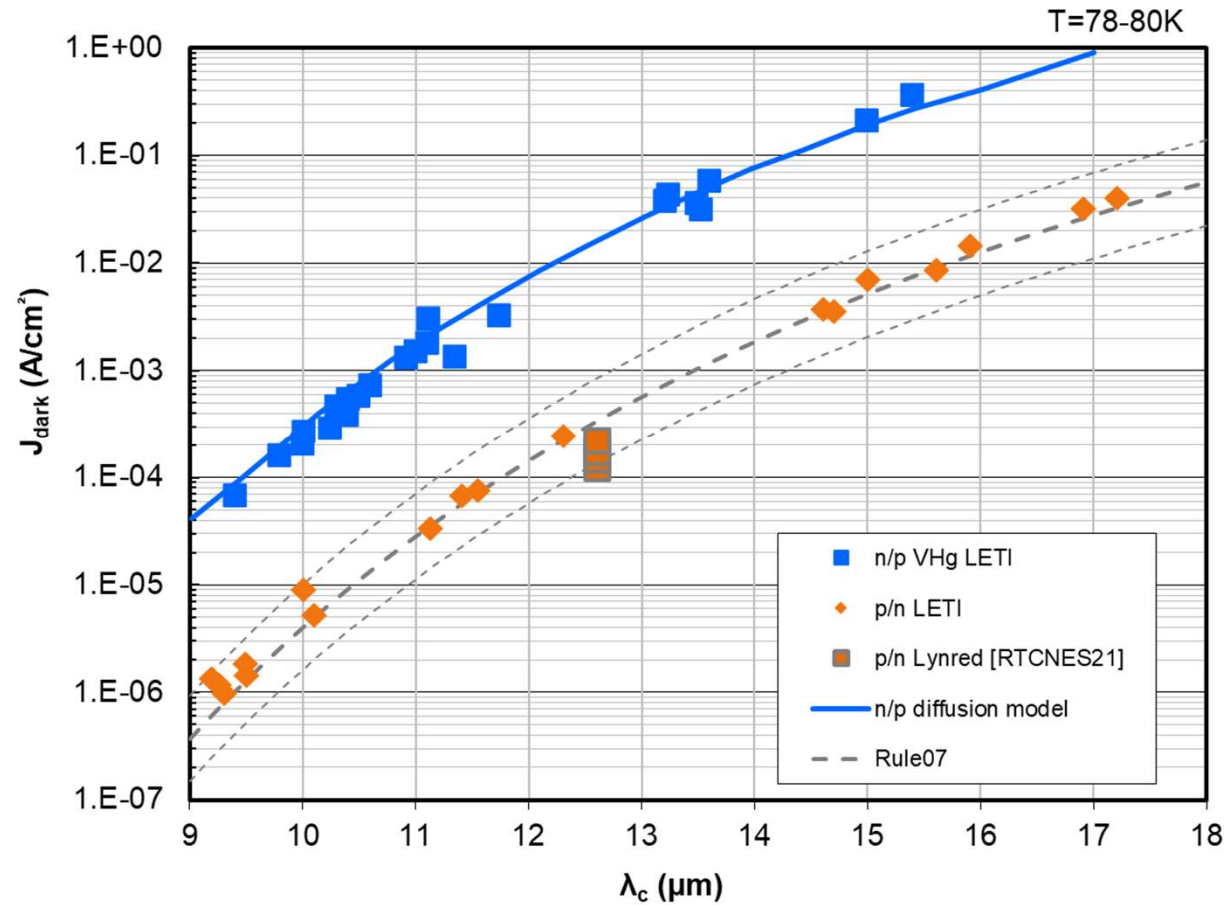
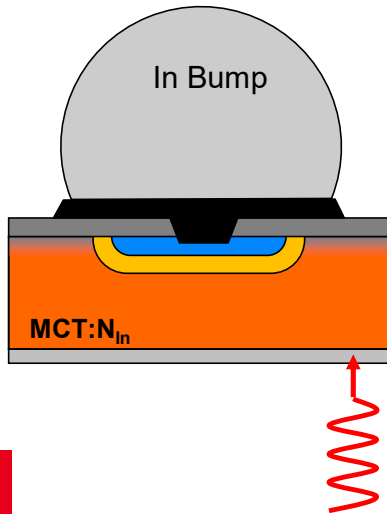
Compatibility with eAPDs



# MCT = initial choice at LETI

## 2010's = switch to extrinsic p/n

- ❑ Extrinsic N doping + Lower doping
  - $\tau > \mu\text{s}$
  - Gain of 2 OM in dark current
  - High QE
- ❑ No MTF issue down to  $7.5\mu\text{m}$  pitche
- ❑ LETI allways follows Rule 07
  - (Lynred aswell)

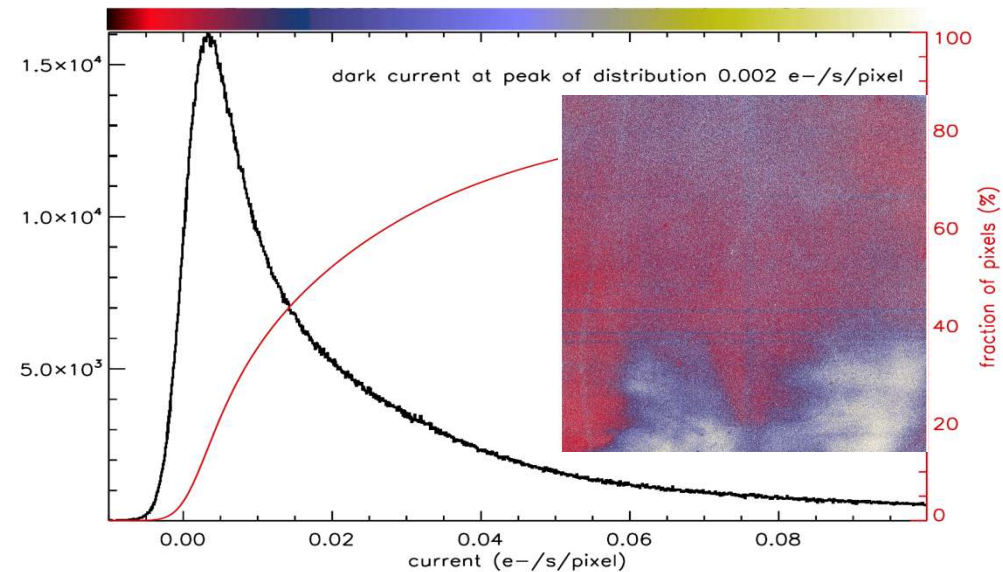
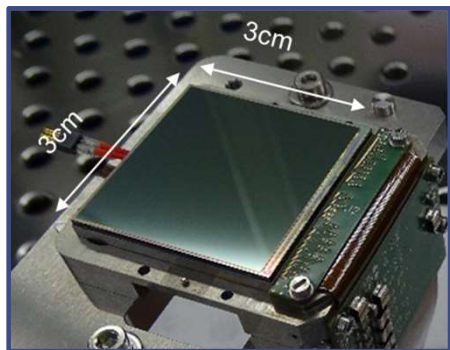
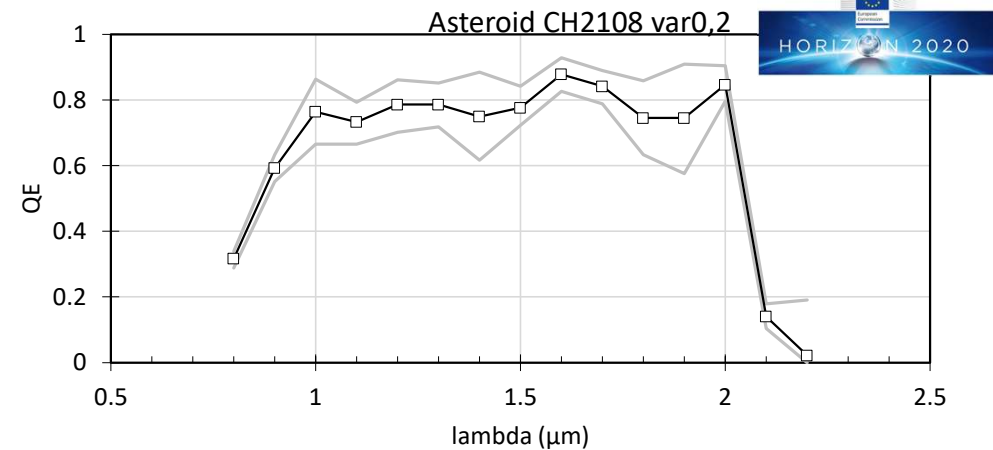


# ALFA = Astronomical Large Focal Plane Array

FOCUS  Focal Plane Array for Universe Survey

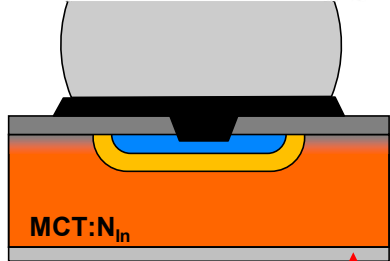
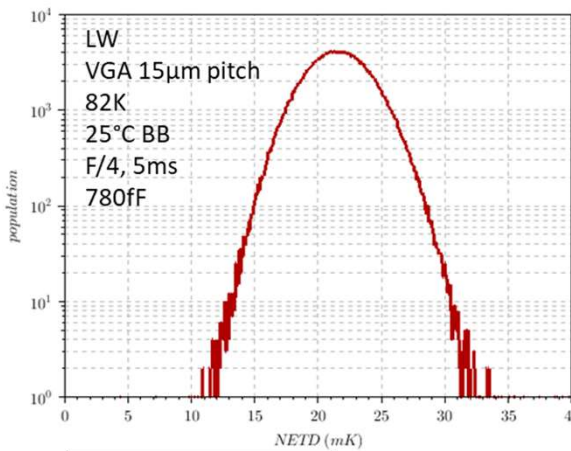
## NIR : $\lambda_c = 2.1\mu\text{m}$

- ❑ ESA prog for NIR low flux  $(2\text{k})^2$   $15\mu\text{m}$  pitch
- ❑ CdHgTe LIR – ROIC+Packaging Lynred
- ❑ Dark  $\sim 2^{\text{e}-3}$  e/s/px @ 100K
- ❑ IPC < 3% / Low persistence
- ❑ Installed in Colobri telescope in Mexico (SVOM mission to observe  $\gamma$  ray bursts)

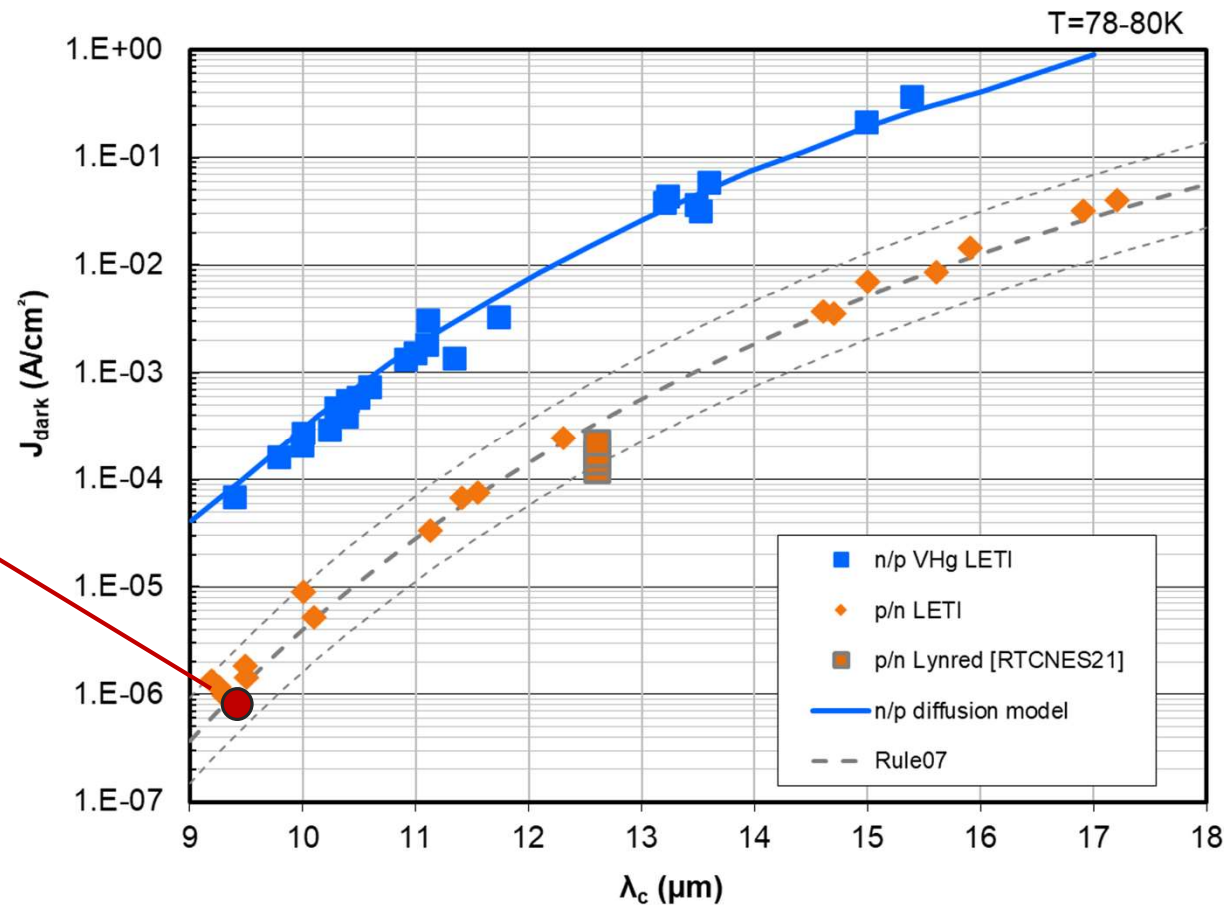


# 2020's = New generation of p/n (**NG**) LW ( $\lambda_c = 9.3\mu m$ ) for tactical applications

- Decrease the process induced defects to minimize distribution tails

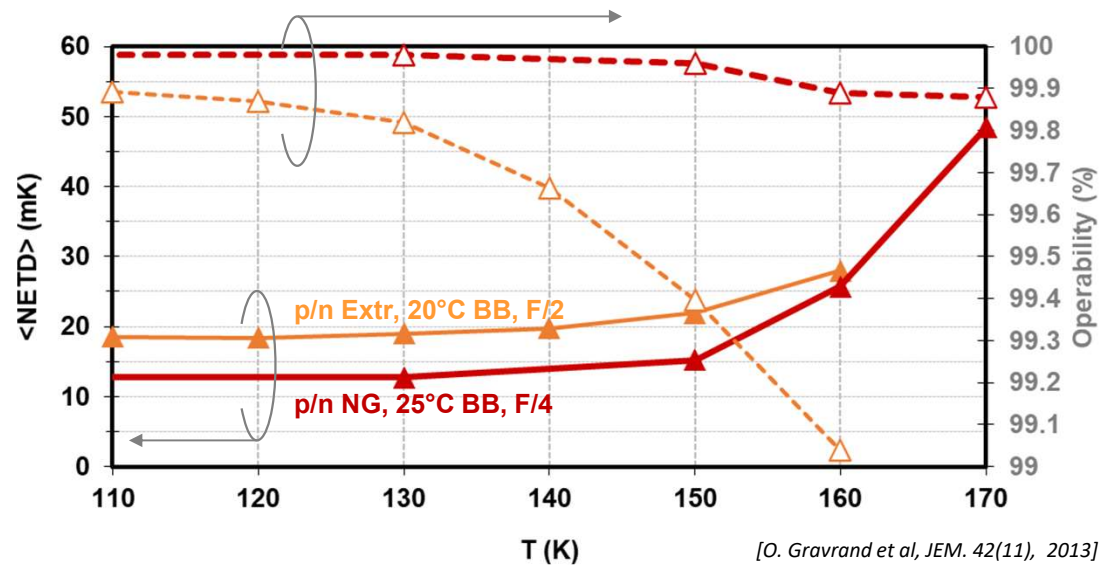
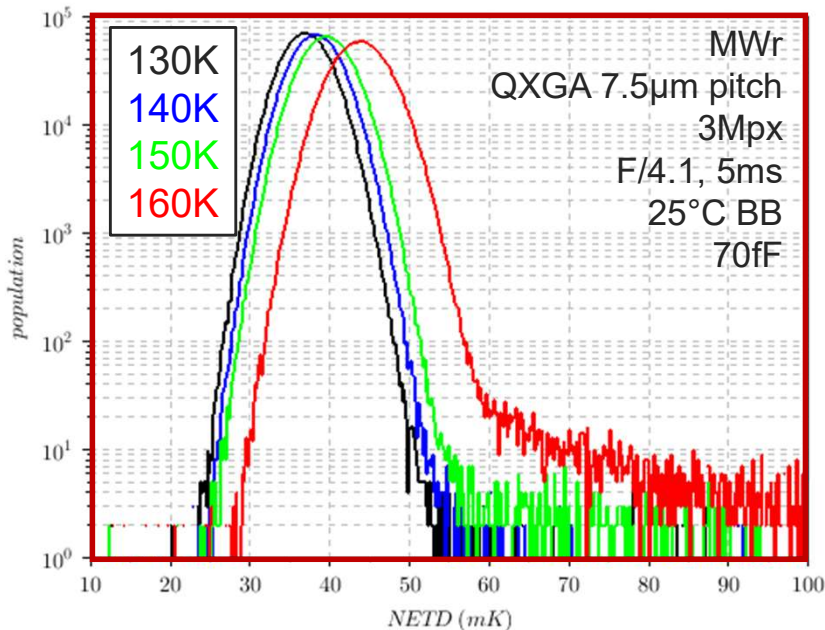
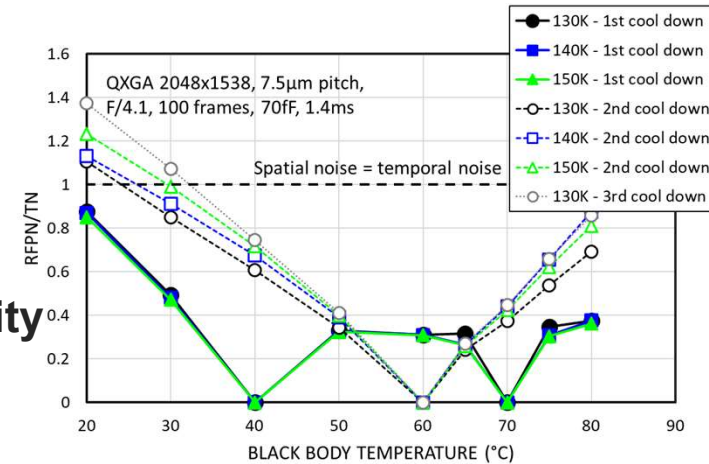


[C. Lobre et al, JEM. 0123456789, 2025]



# 2020's = New generation of p/n (**NG**) MW ( $\lambda_c = 5.2\mu m$ ) for tactical HOT

- ❑ MW HOT :  $T_{op}$  limited by operability (not dark)
- ❑ NG = drastic decrease of distribution tails /improve operability
- ❑ Decreasing pitch from  $15\mu m$  to  $7.5\mu m$  with 3Mpx formats
- ❑ >50% MTF@ Nyquist + High LF stability



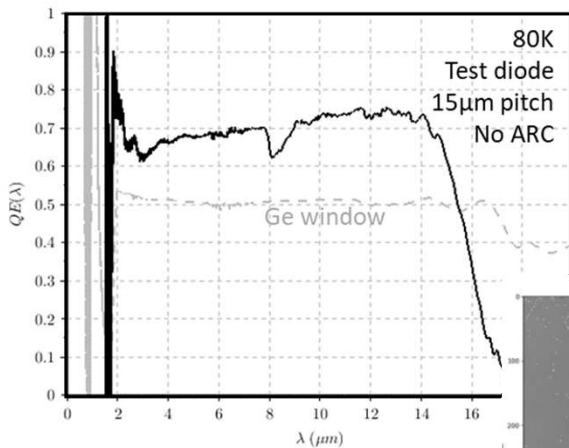
[O. Gravrand et al, to be published JEM. 2026]

[O. Gravrand et al, JEM. 42(11), 2013]  
 [N. Baier et al, SPIE 1253413 2023] [O. Gravrand et al., SPIE 121070U, 2022]

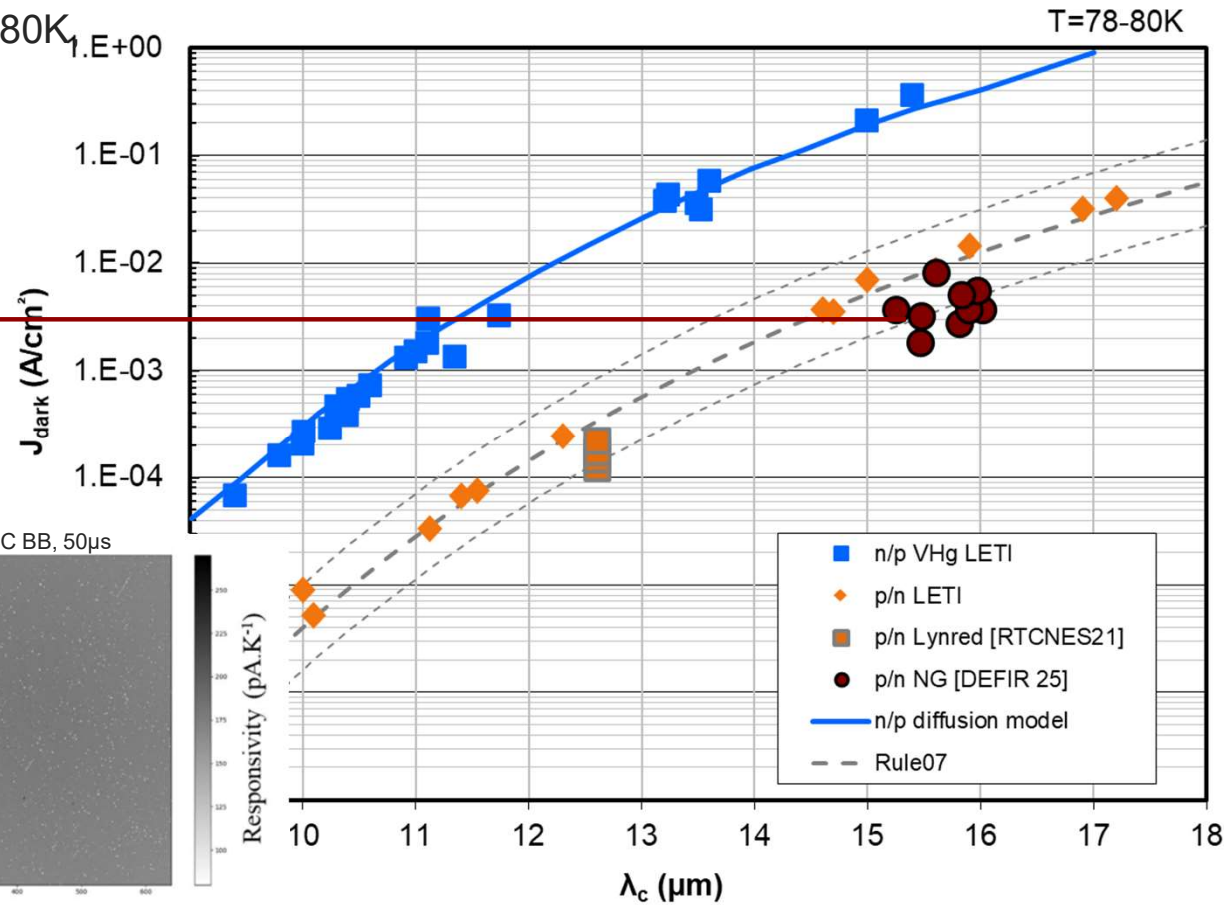
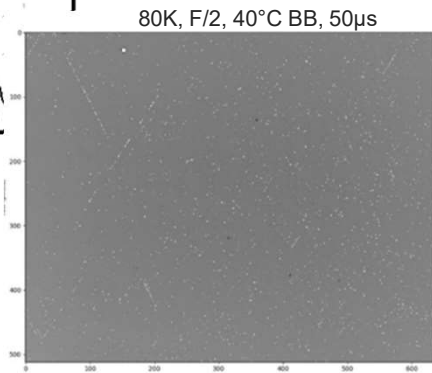
# Wider picture : MCT VLWIR **NG** for space applications (MTG++=MFG)

## 1st VLWIR arrays in **NG**, 15 $\mu$ m pitch TV arrays

- Fully functional with  $\lambda_c > 15.5\mu\text{m}$  @ 80K<sub>1.E+00</sub>
- DI ROIC from tactical applications
- Flat QE>70% wo ARC



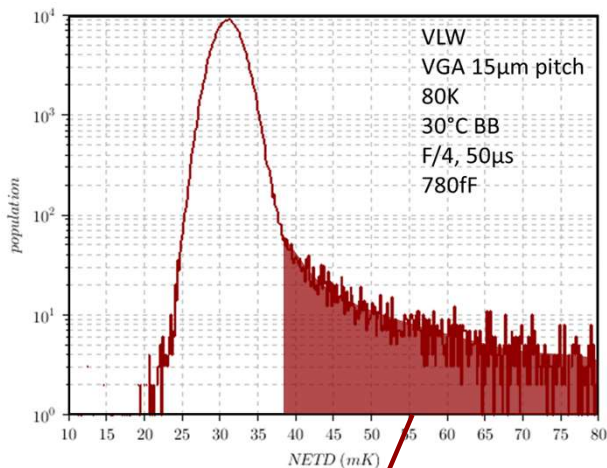
- Uniform response  $\sigma < 2.5\%$  / full array



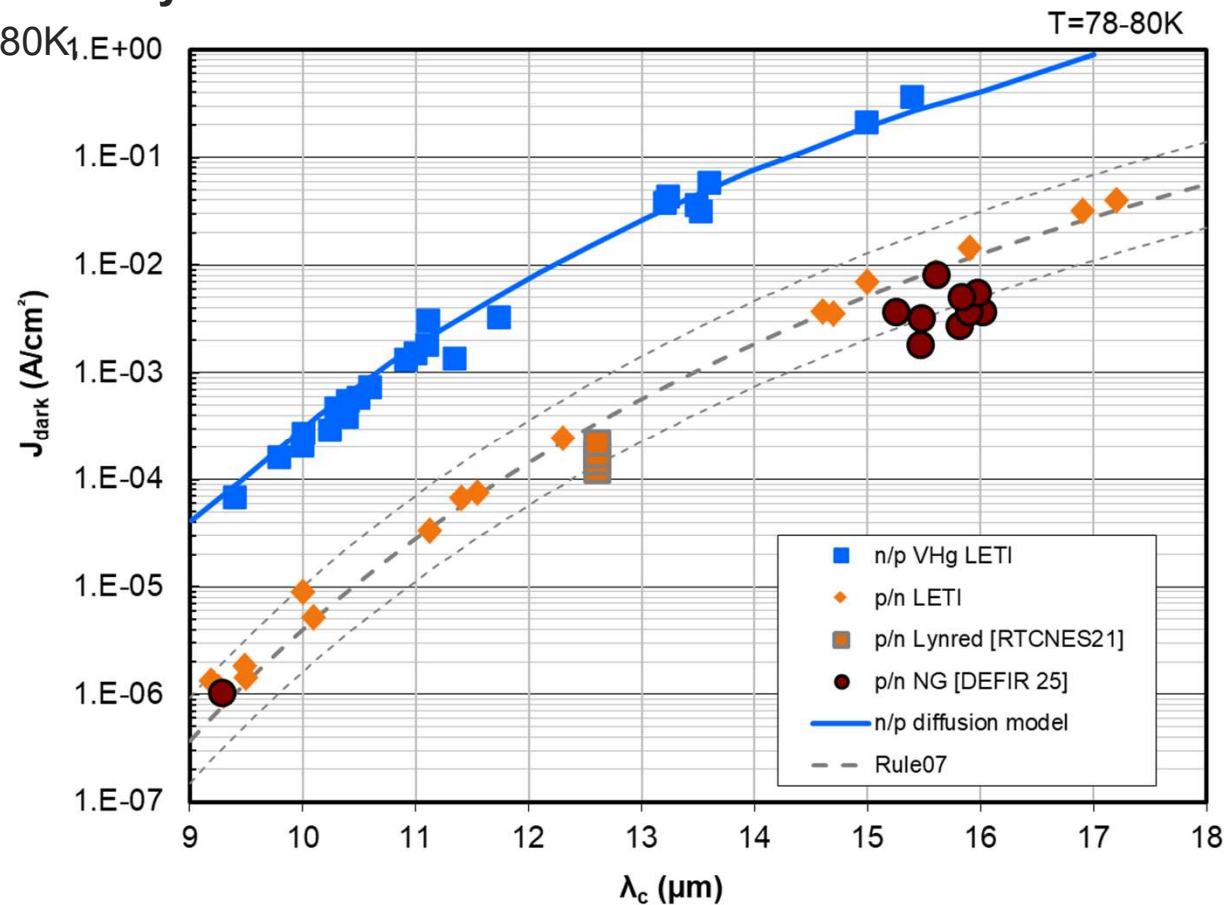
# Wider picture : MCT VLWIR NG for space applications (MTG++=MFG)

## 1st VLWIR arrays in NG, 15 $\mu$ m pitch TV arrays

- Fully functional with  $\lambda_c > 15.5\mu m$  @ 80K<sub>1.E+00</sub>
- DI ROIC from tactical applications

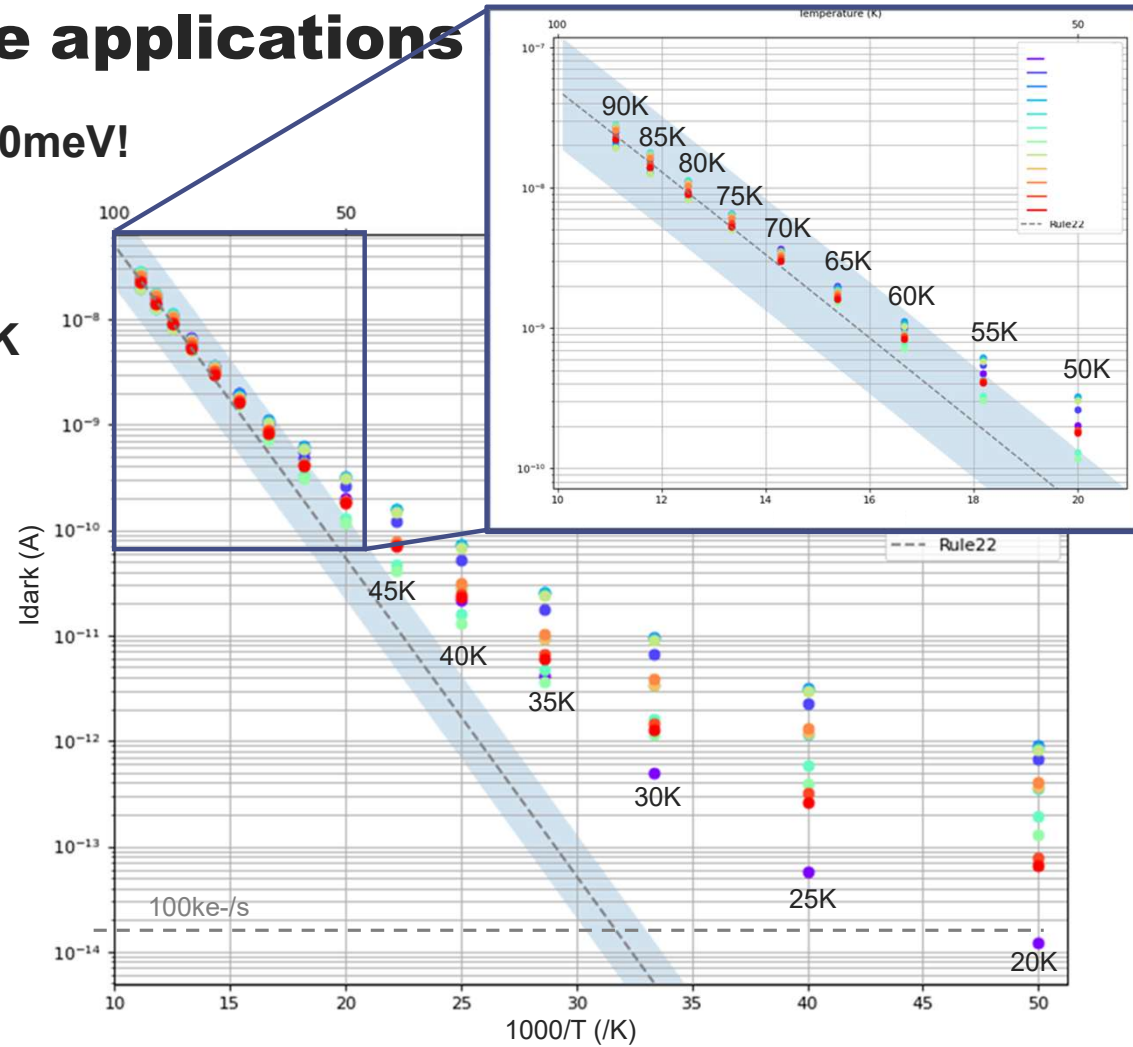
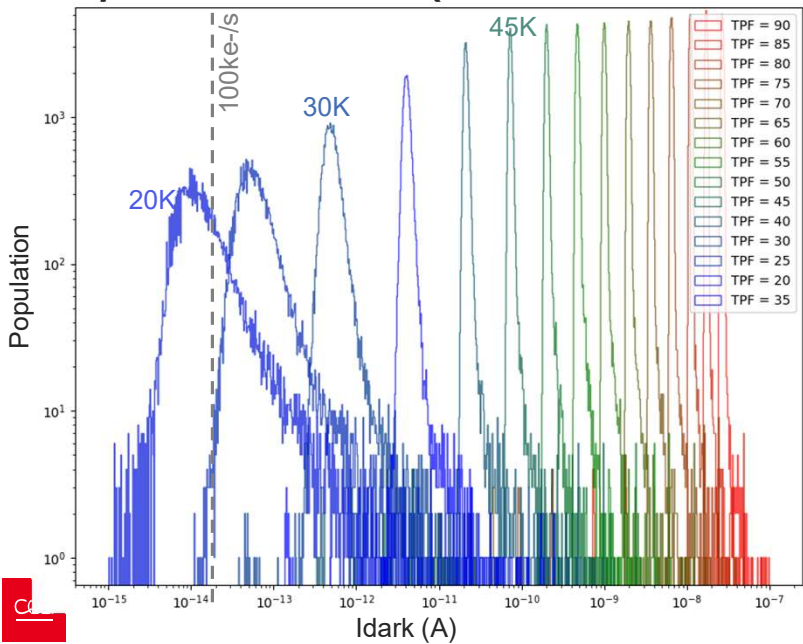


- No XS noise
- Low noise tail :  $<1\%$  (50% criteria, F/4)



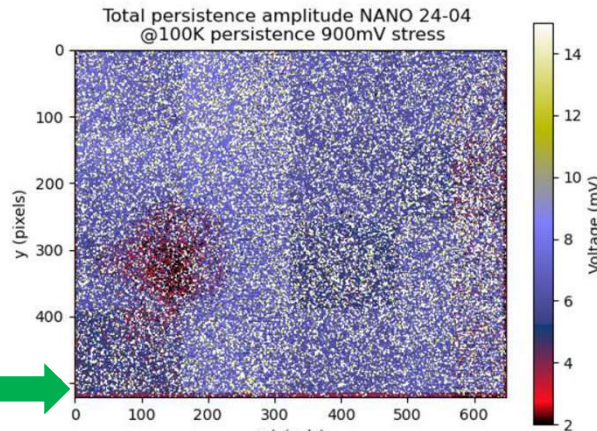
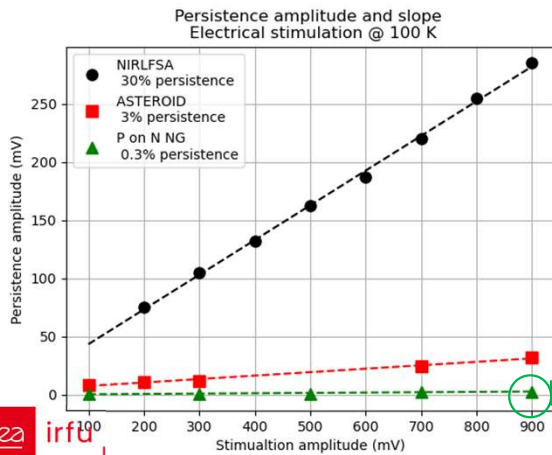
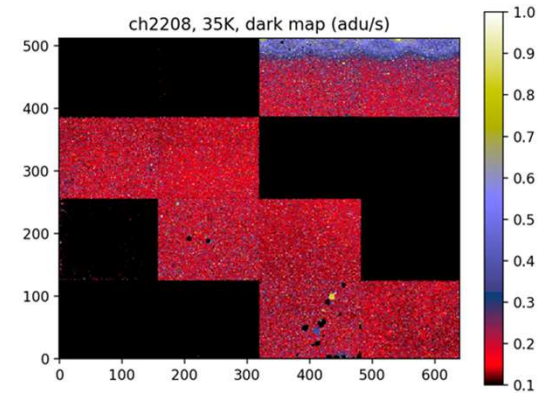
# Wider picture : MCT VLWIR NG for space applications

- ❑ Dark activation energy  $\sim 15.54\mu\text{m}$ , ie  $\sim 80\text{meV}$ !
- ❑ Consistant with Rule22
- ❑ Follow diffusion trend line down to 55K
- ❑ quasi gaussian histograms down to 30K (low distrib tails)

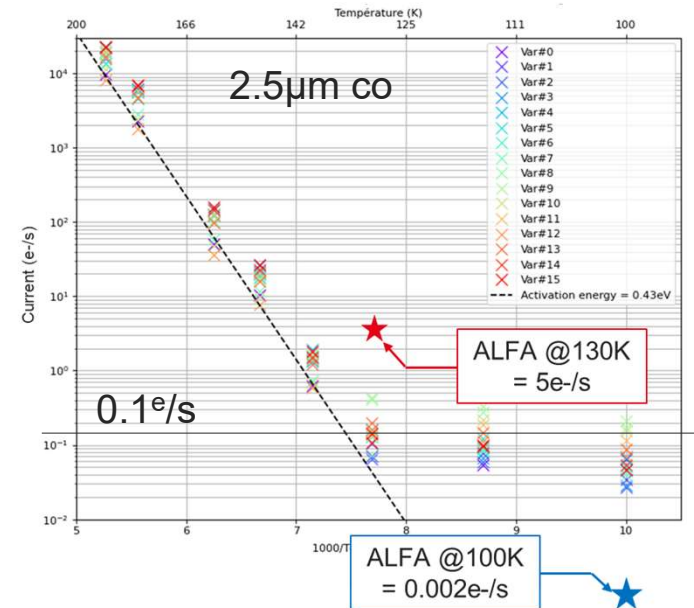


# The other side of the spectrum SWIR NG for low persistence

- 1st batch on structures for very low flux Astro applications
  - SFD ROIC (pre ALFA study ROIC)
  - Stability in MW translates into low persistence in SW SFD?
- Very low dark current demonstrated on first trial!
  - $< 0.1 e^-/s$  limited by ROIC glow
- Very low persistence levels (close to measurement limit!)



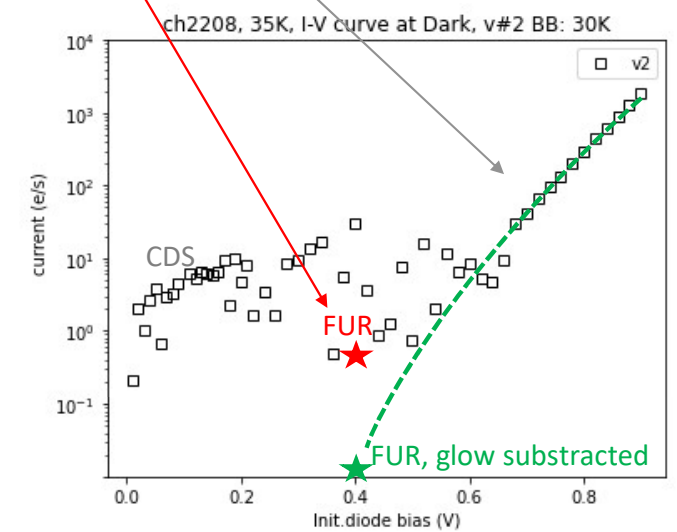
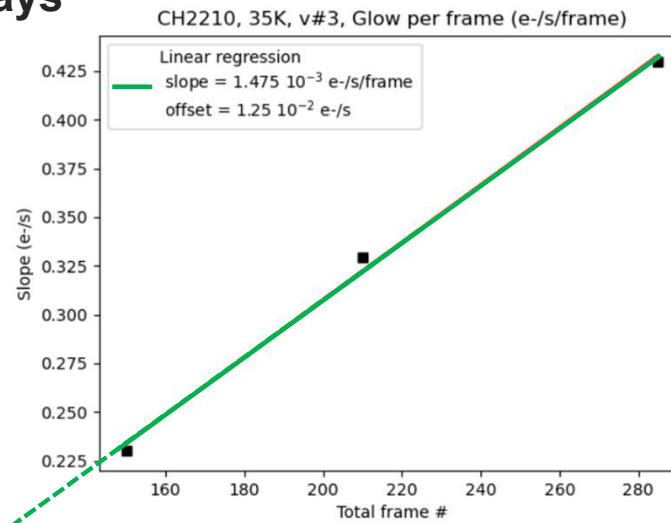
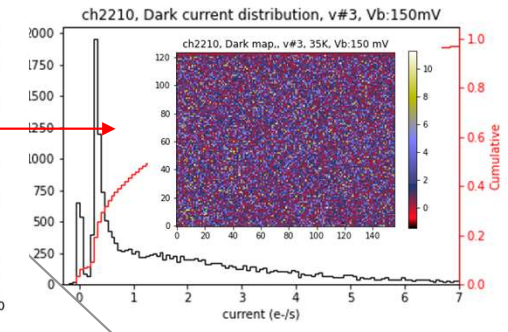
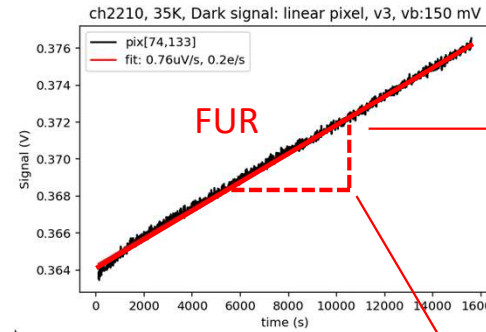
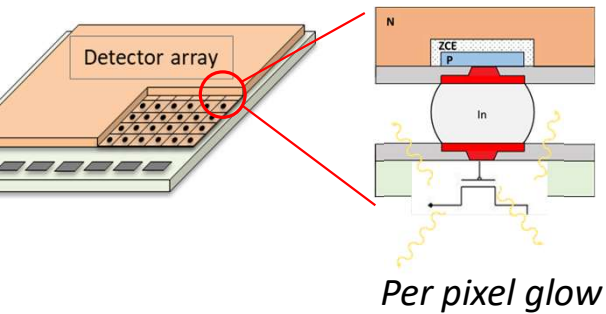
SW NG, persistence  
SFD array @100K, 15 $\mu$ m pitch



[ Le Goff (2024) SPIE130460W ]  
[ N. Baier (2025) SDW ]

# Low flux MCT LW NG

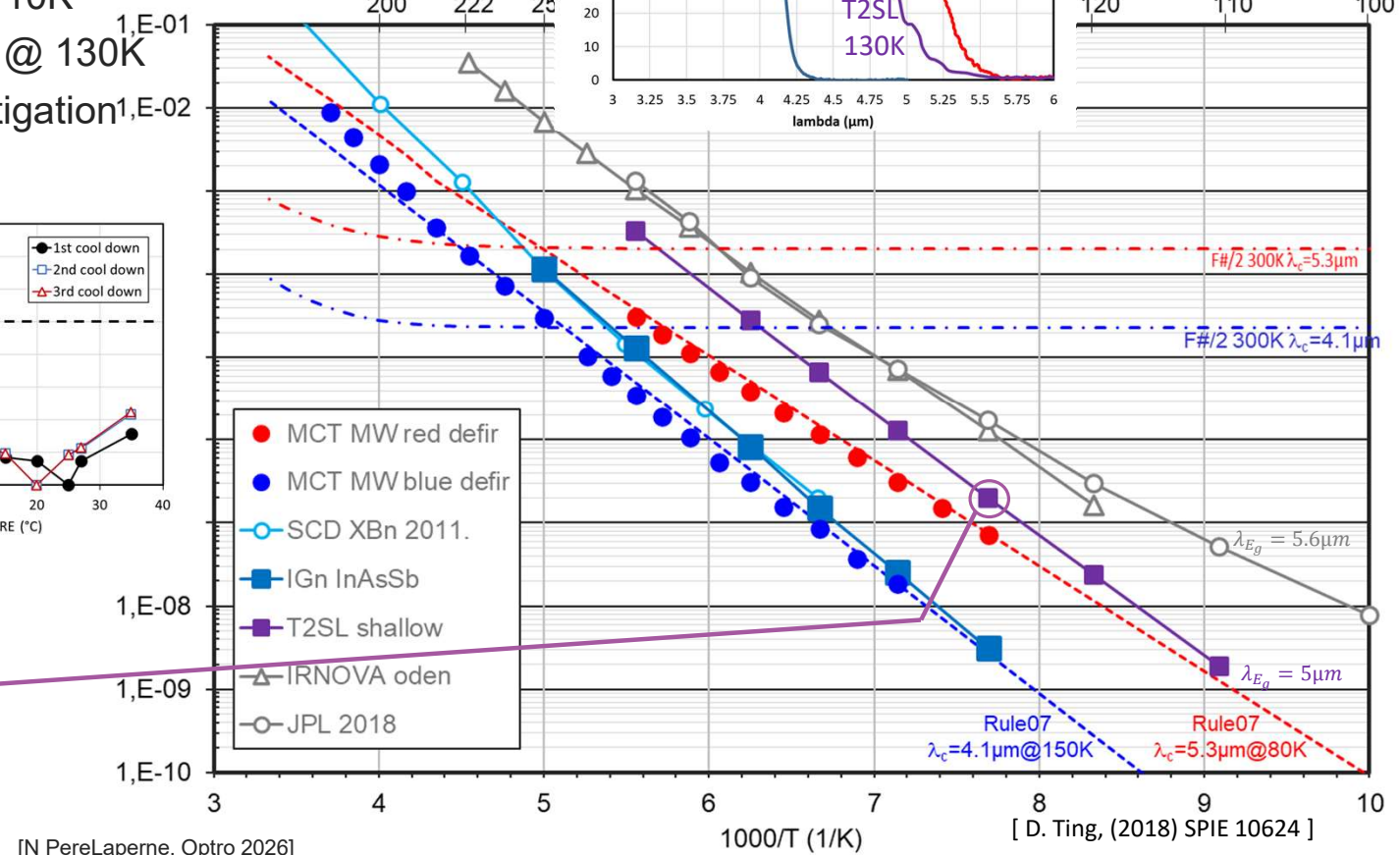
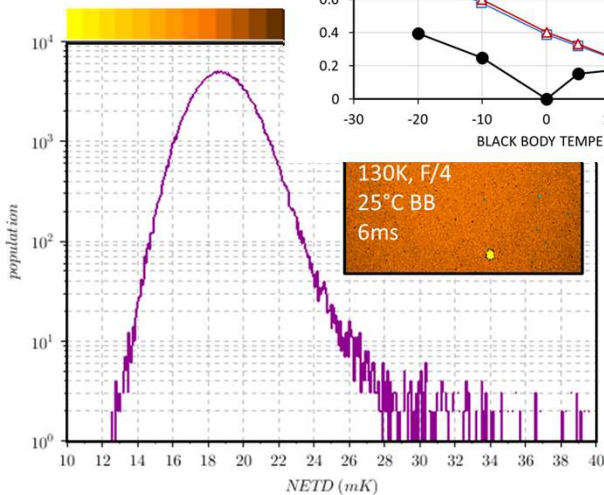
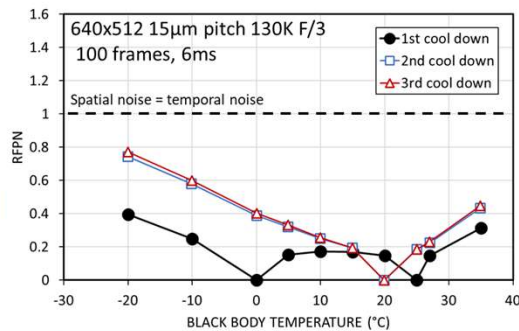
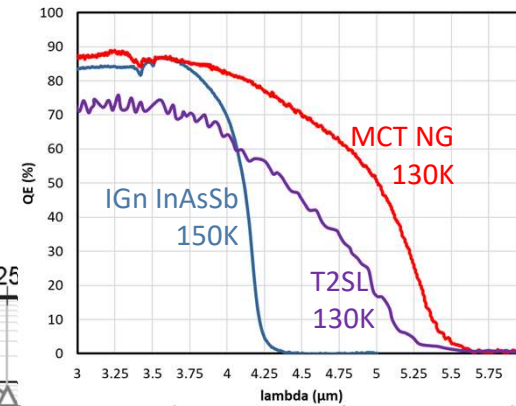
- ❑ ESA contract, IRFU collab
- ❑ Dark LW and Glow estimation, SFD ROIC
  - Video output glow
  - Per frame glow
- ❑  $10^{-2} e/s$  dark current at 30K
- ❑ Confirmed with other arrays processed @ Lynred



# Switch to III-Vs Sb-based T2SL for MWIR 5μm co

## 15μm pitch @ LETI

- Diffusion limited down to 110K
- ~ no distribution noise tail @ 130K
- Stability/MTF under investigation (looks OK)



[N PereLaperne, Optro 2026]

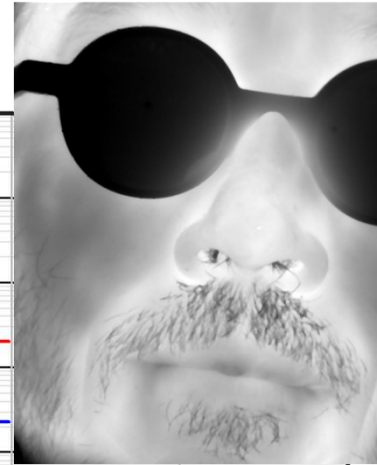
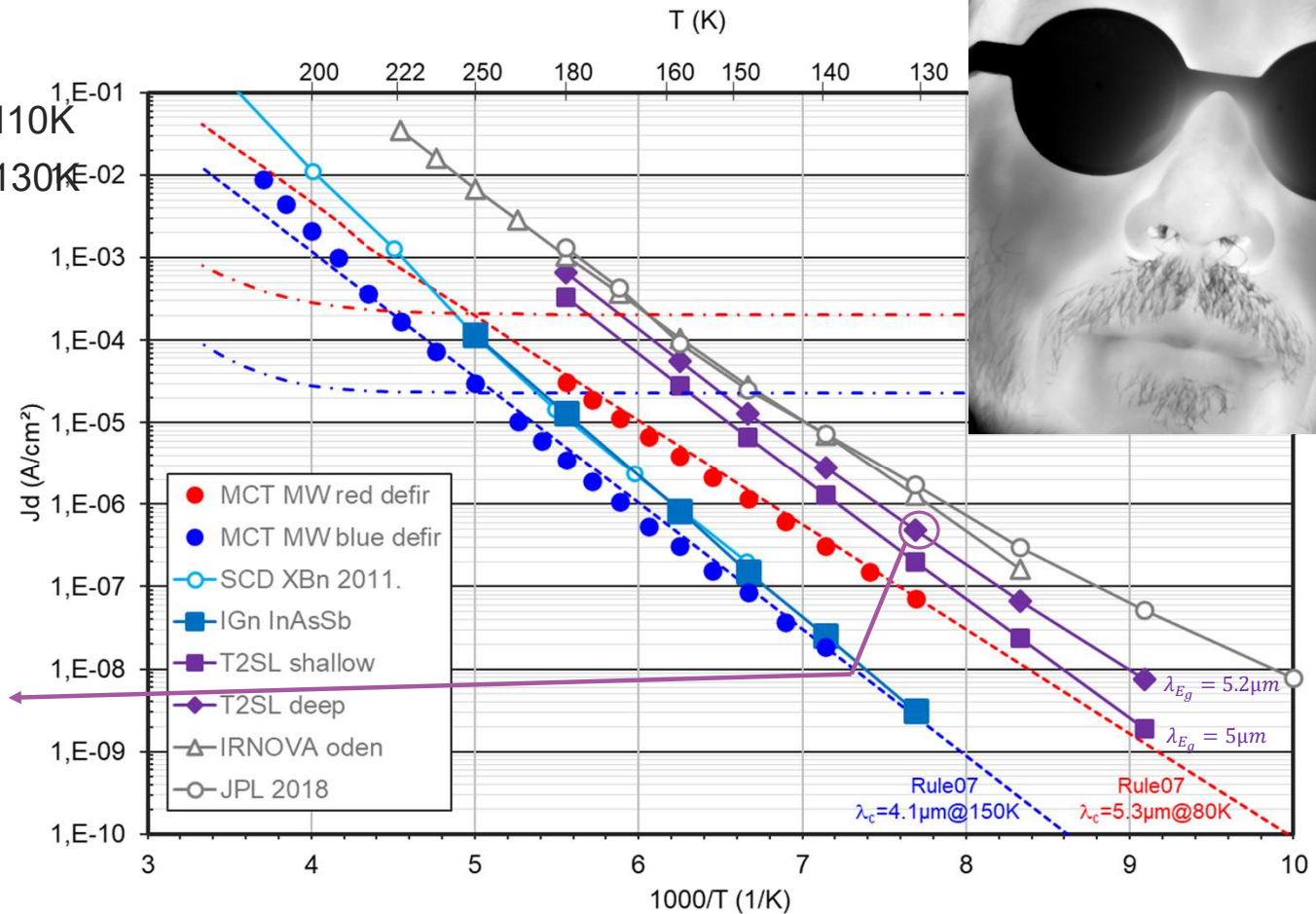
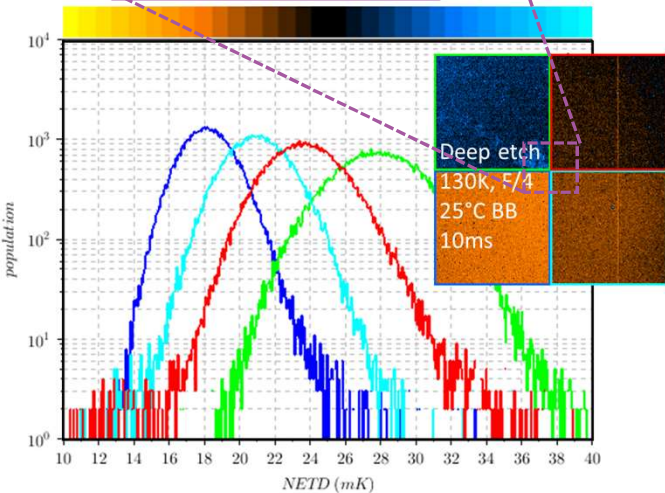
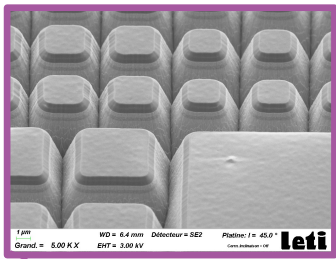
[ D. Ting, (2018) SPIE 10624 ]

[ M. Delmas,(2023). SPIE125340H ]

# Switch to III-Vs Sb-based T2SL for MWr 5 $\mu$ m co

## Smaller pitch investigation

- Super pixel 7.5 $\mu$ m and 5 $\mu$ m
- Still diffusion limited down to 110K
- ~ no distribution noise tail @ 130K



# PhD works @ LETI for advanced understanding

université PARIS-SACLAY

Modélisation et caractérisation expérimentale du phénomène de luminescence induit par l'irradiation de protons dans les détecteurs IR HgCdTe en environnement spatial

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n°127 d'Astronomie et Astrophysique Ile-de-France  
Spécialité de doctorat : Astronomie et Astrophysique  
Unité de recherche : Université Paris-Saclay, CEA, Département d'Astrophysique, 91191, Gif-sur-Yvette, France  
Réfèrent : Facultés des sciences d'Orsay

Thèse présentée et soutenue à Saclay, le 2 Décembre 2020, par **Thibaut PICHON**

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

École doctorale : PHYS - Physique  
Spécialité : Physique de la Matière Condensée et du Rayonnement  
Unité de recherche : CEAL-LETI - Laboratoire d'Électronique et de Technologie de l'Information

Etude de la stabilité des pixels d'un imageur infrarouge refroidi  
Study of the stability of the pixels of a cooled infrared imager

Présentée par :

**Antoine CLARET**

Direction de thèse :

**Olivier GRAVRAND**  
DIRECTEUR DE RECHERCHE, CEA CENTRE DE GRENOBLE  
**Vincent GOIFFON**  
Professeur ISAE, ISAE-SUPAERO

Directeur de thèse  
Co-directeur de thèse

UGA  
Université Grenoble Alpes

Rapporteurs :

**Jean-Philippe Perez**  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, I  
**Quentin Rathay**  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, I

Thèse soutenue publiquement le

**Olivier Gravrand**,  
DIRECTEUR DE RECHERCHE  
**Cyrl Cervera**,  
DOCTEUR EN SCIENCES, CEA  
**Jean-Philippe Perez**,  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, I  
**Quentin Rathay**,  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, I  
**Jean-Guy Tartarin**,  
PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS  
**Frédéric Aniel**,  
PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS  
**Clémentine Dupuis**,  
DOCTEUR EN SCIENCES, CEA  
**Serge Charlebois**,  
PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS  
**Jean-Christophe Peyraud**  
INGÉNIEUR, Direction Générale  
**Laurent Rubaldo**  
INGÉNIEUR DOCTEUR, ESA



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par : l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)

Présentée et soutenue le 05/10/2023 par :  
**Alix Nouvel de la Flèche**

Caractérisation d'un détecteur NIR et simulation des performances de la caméra CAGIRE pour le suivi des sursauts gamma détectés par la mission SVOM

JURY

<b>JEAN-LUC ATTEIA</b> Astronome	Directeur de Thèse
<b>OLIVIER GRAVRAND</b> Ingénieur	Directeur de Thèse
<b>EMERIC LE FLOC'H</b> Directeur de recherche	Rapporteur
<b>DIDIER TIPHÈNE</b> Astronome	Rapporteur
<b>VÉRONIQUE BUAT</b> Professeur d'Université	Membre du Jury
<b>ALAIN KLOTZ</b> Professeur d'Université	Membre du Jury
<b>SUZANNA VERGANI</b> Directrice de Recherche	Membre du Jury

École doctorale et spécialité :

ED SDU2E : Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace :  
Astrophysique, Sciences de l'Espace, Planétologie

Unité de Recherche :

Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (UMR 5277)

Directeur de Thèse :

Jean-Luc Atteia et Olivier Gravrand

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES  
THÈSE

UGA  
Université Grenoble Alpes

Préparée au sein du Laboratoire Imagerie Infrarouge (LIR)  
Unité de recherche : Laboratoire d'Électronique et de Technologie de l'Information  
Spécialité : Physique appliquée  
École doctorale : PHYS - Physique

ETUDE DE LA PERSISTANCE DES IMAGEURS SWIR MCT POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE DEPUIS L'ESPACE

STUDY OF THE PERSISTENCE IN SWIR MCT SENSORS FOR EARTH OBSERVATION FROM SPACE

par **Hugo ROUSSET**

Dirigé par :

**Olivier GRAVRAND** Directeur de recherche, CEA  
**Nicolas BAIER** Ingénieur chercheur, CEA  
**Diane SAM-GIAO** Ingénieur docteur, L'YNRED

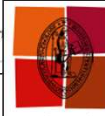
Directeur de thèse  
Encadrant de thèse  
Encadrante de thèse

Thèse soutenue à huis clos le 9 décembre 2024, devant le jury composé de :

<b>Stéphane DEMIGUEL</b> Vice-recteur, ISAE-SUPAERO	Ingénieur HDR, Thales Alenia Space	Rapporteur
<b>Fabien MALBET</b> Directeur de recherche, Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble	Professeur, ISAE-SUPAERO	Rapporteur
<b>Quentin RATHAY</b> Maître de conférences, Grenoble INP PHELMIA	Ingénieur docteur, Airbus Defense and Space	Examinateur
<b>Serena RIZZOLO</b> Astronome, Observatoire de Paris	Ingénieur docteur, Airbus Defense and Space	Examinateur
<b>Didier TIPHÈNE</b>	Astronome, Observatoire de Paris	Examinateur

Jury invité :

**Luc BOUCHER**  
**Hervé GEOFFRAY**  
**Jean-Christophe PEY**



Université de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par : l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE)

Thèse présentée et soutenue le 12/12/2023 par :

**Ségolène Dinand**

Intitulé :  
Les effets des radiations de l'environnement spatial sur les détecteurs infrarouges HgCdTe

JURY

<b>M. Carlo SITORI</b> Professeur, École Normale Supérieure	Président du Jury
<b>M. Rémi BARBIER</b> Ingénieur de Recherche, CNRS	Rapporteur
<b>M. Luc BOUCHER</b> Cadre Scientifique, European Space Agency	Membre du Jury
<b>M. Sylvain CHIRARD</b> Professeur, Univ. de St Étienne	Membre du Jury
<b>Mme Cécile GREZES</b> Ingénieure, Lynrod	Membre du Jury
<b>M. Jean-Christophe PEYRAUD</b> Ingénieur, Direction Générale de l'Armement	Membre du Jury
<b>M. Jean-Philippe PEREZ</b> Maître de Conférences, Univ. de Montpellier	Rapporteur
<b>M. Vincent GOIFFON</b> Professeur, ISAE-Supaéro	Co-Directeur de Thèse
<b>M. Olivier GRAVRAND</b> Directeur de Recherche, CEA-Leti	Co-Directeur de Thèse
<b>Mme Serena RIZZOLO</b> Ingénieure, Airbus Defense and Space	Membre du Jury

École doctorale et spécialité :

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Titouan LE GOFF**

Thèse dirigée par **Olivier GRAVRAND**  
et co-encadrée par **Nicolas BAIER**, CEA

préparée au sein du Laboratoire Laboratoire d'Électronique et de Technologie de l'Information (LETI - CEA)  
dans l'École Doctorale Physique

Etude de la persistance dans les rétines proches IR en HgCdTe pour les applications en astronomie.

Persistence study on near IR HgCdTe retinas for astronomy applications.

Thèse soutenue publiquement le 4 mars 2022, devant le jury composé de :

**Monsieur Rémi Barbier**  
PROFESSEUR ASSISTANT, IN2P3, IP2I - Université Claude Bernard, Rapporteur  
**Monsieur Didier Tiphène**  
ASTRONOME, Observatoire de Paris, Rapporteur  
**Monsieur Fabien Malbet**  
DIRECTEUR DE RECHERCHE, Université Grenoble Alpes, Examinateur  
**Monsieur Ghanem Marrakchi**  
PROFESSEUR, Université de St Étienne, Examinateur  
**Madame Alessandra Ciapponi**  
INGÉNIEUR DE RECHERCHE, ESA - ESTEC, Examinateur  
**Monsieur Quentin Rathay**  
INGÉNIEUR, Université Grenoble Alpes, Examinateur

Thèse de doctorat

NUM. 2020U1AS009

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Université de Toulouse

ISAE SUPAERO

Université de Toulouse

Doctorat de l'Université de Toulouse  
délivré par l'ISAE-SUPAERO

Etude du comportement aux irradiations de détecteurs infra-rouges faible gap

Thèse présentée et soutenue, le 19 février 2026 par **Thibaud FRIESS**

École doctorale

GEETS - Génie Électrique Electronique, Télécommunications et Santé : du système au nanosystème

Spécialité

Photonique et Systèmes Optoélectroniques

Unité de recherche

ISAE-ONERA OLIMPES Opttronique, Laser, Imagerie Physique et Environnement Spatial

Thèse dirigée par

**Vincent GOIFFON** et **Olivier GRAVRAND**

Composition du jury

**M. Philippe PAILLET**, Rapporteur, CEA  
**M. Philippe CHRISTOL**, Rapporteur, Université de Montpellier  
**Mme Adriana MORANA**, Examinatrice, Université Jean Monnet Saint-Etienne  
**Mme Sylvie BERNHARDT**, Examinatrice, ONERA  
**M. Vincent GOIFFON**, Directeur de thèse, ISAE-SUPAERO  
**M. Olivier GRAVRAND**, Co-directeur de thèse, CEA



UGA  
Université Grenoble Alpes

# Conclusion

- ❑ **Wide Spectrum @ LETI**
- ❑ **MCT NG for high performance (Science) & space (SW →VLW)**
  - Very high LF stability & Operability
  - Very Low dark & high QE!
  - Up to 16 $\mu$ m cutoff!
- ❑ **APD gain remains interesting in photon starved scenarii**
  - Single elements for LIDAR/FSO/Photon counting
  - Moon-Photonics creation
  - Investigation of COBRA APD FPA ... to be continued!
- ❑ **SWAP approach calls for more affordable solutions than MCT**
  - Bulk InAsSb for tactical MW blue
  - Ga free T2SL for Tactical MW red
    - MTF management for small pixels under study
    - Dark current always higher than HgCdTe

# Acknowledgments



Co-funded by the European Union



Horizon2020  
European Union Funding  
for Research & Innovation