



Platform of Reliability tOOLs for Failure analysis
dedicated to wide bandgap devices

GT3 : Mécanisme de défaillances - Outils

Richard MONFLIER

Julien ROUL

Nicolas MAURAN



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

- Evolution des moyens de la plateforme
 - *Thermographie Infrarouge*
 - *Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS)*
 - *Effet Hall*
 - *Very Fast Transmission Line Pulse (VF-TLP)*

- Nouveau banc optique
 - *Spectroscopie de photoluminescence/Raman*

- Evolution des moyens de la plateforme
 - *Thermographie Infrarouge*
 - *Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS)*
 - *Effet Hall*
 - *Very Fast Transmission Line Pulse (VF-TLP)*

- Nouveau banc optique
 - *Spectroscopie de photoluminescence/Raman*

** Continue

- Suivre l'évolution de la température dans le temps
- Déduire la température maximale de la zone active
- Diagnostiquer les défaillances
- Quantifier les pertes thermiques

Quelques spécifications :

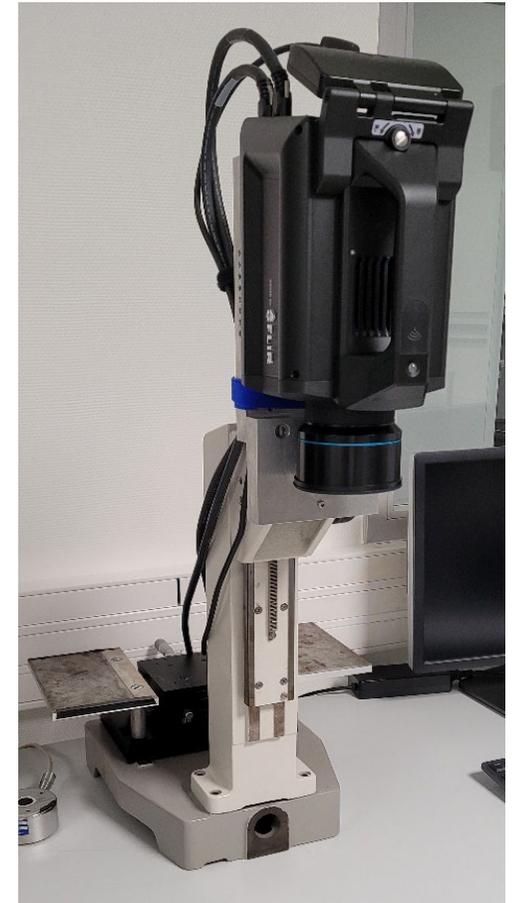
Détecteur InSb

Gamme spectrale de 1,5 à 5 μm

Temps d'intégration de 500 ns à 20 ms

Résolution de 5 μm

Distance de travail de 22 mm



** Continue

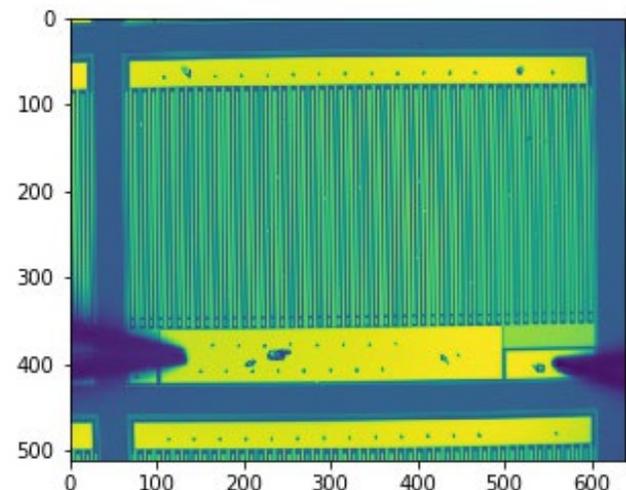
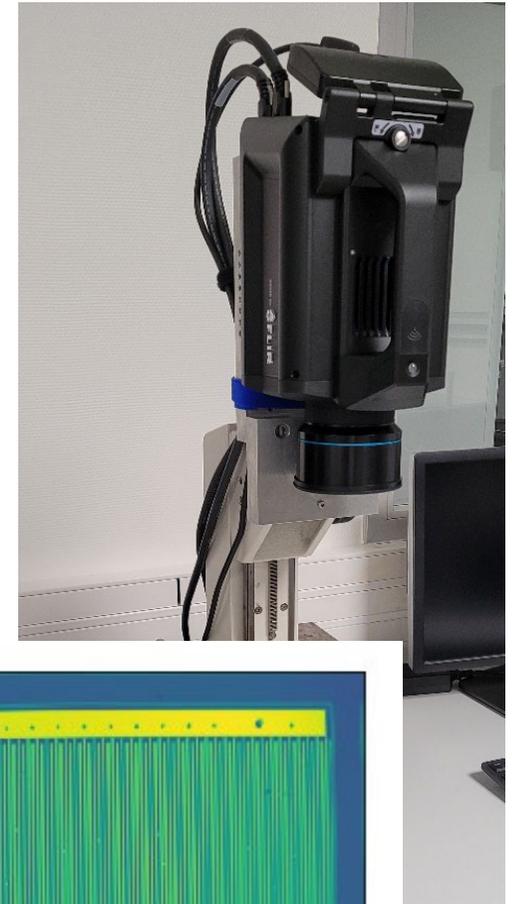
- Suivre l'évolution de la température dans le temps
- Déduire la température maximale de la zone active
- Diagnostiquer les défaillances
- Quantifier les pertes thermiques

Quelques spécifications :
Décteur InSb
Gamme spectrale de 1,5 à 5 μm
Temps d'intégration de 500 ns à 20 ms
Résolution de 5 μm
Distance de travail de 22 mm

Développement d'un script python

** Lock-in

- Améliore le rapport signal/bruit



** Continue

- Suivre l'évolution de la température dans le temps
- Déduire la température maximale de la zone active
- Diagnostiquer les défaillances
- Quantifier les pertes thermiques

Quelques spécifications :

Détecteur InSb

Gamme spectrale de 1,5 à 5 μm

Temps d'intégration de 500 ns à 20 ms

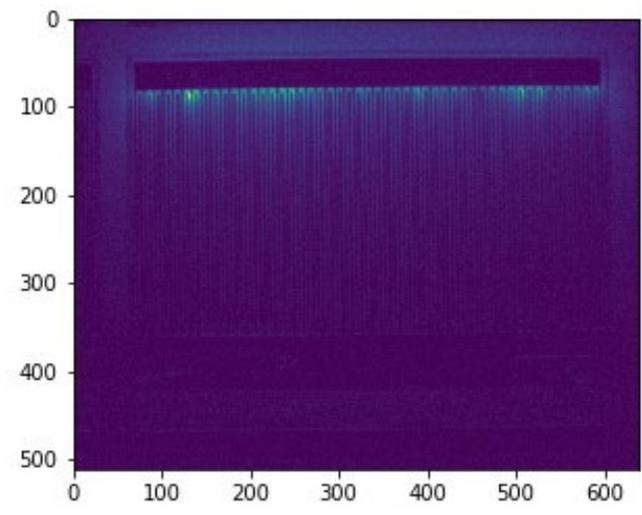
Résolution de 5 μm

Distance de travail de 22 mm

Développement d'un script python

** Lock-in

- Améliore le rapport signal/bruit





- Extraction de la mobilité, du dopage actif
- Identification des mécanismes de diffusion

Quelques spécifications :

Aimant permanent de **0,3 Tesla**

Source de courant de 10 nA à 20 mA

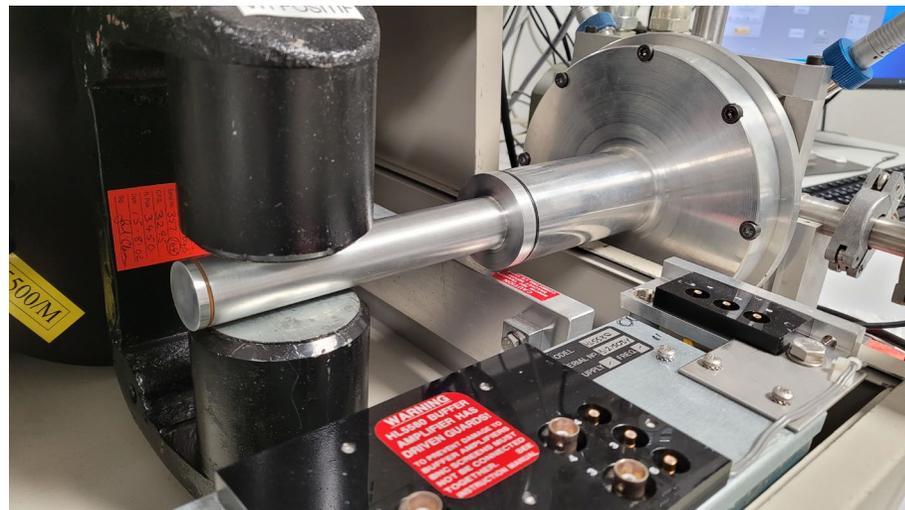
Tension d'entrée maximum de 6 V

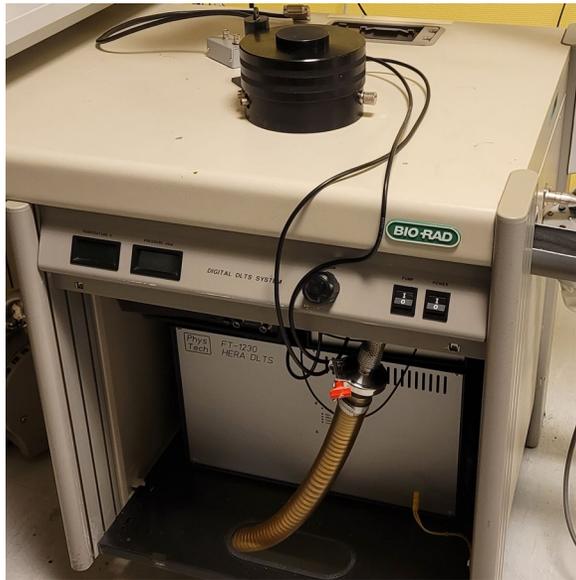
Mesures à **température ambiante sous pointes**

Mesures dans un cryostat azote (N₂) de **90 à 550 K**

Développement d'un cryostat Helium 15 K

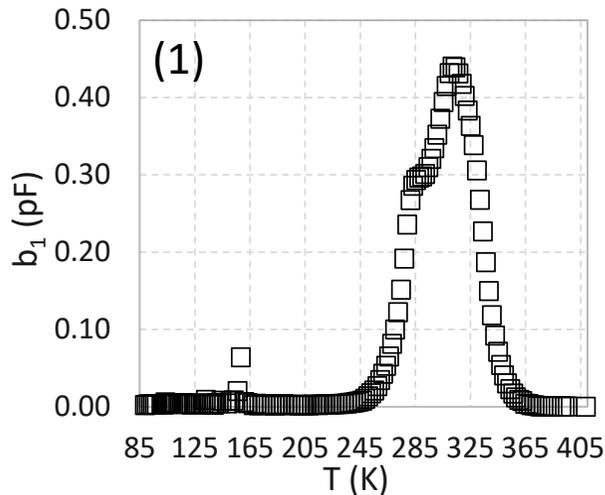
- Continuité des mesures du cryo N₂ pour faciliter l'extrapolation des mécanismes de diffusion.





→ Identification des pièges $\begin{cases} \text{Energie d'activation} \\ \text{Concentration} \end{cases}$

Quelques spécifications :
Mode C-, I-, Q-, U-DLTS
Fréquence capacimètre **1 MHz**
Gamme capacimètre 4 – 4000 pF
Tension maximum de **100 V**
Mesures dans un cryostat azote (N₂) de **90 à 550 K**



Jouvence de l'électronique

- L'ancien système (1998) était en panne et peu pratique (licence XP, changement de config manuel, ...)
- Garder le châssis et le cryostat N₂ et négocier un nouveau système FT1230

Very Fast TLP

Horix Celestron TLP

Equipement vieillissant, peu pratique..



Nouveau Very Fast TLP : HPPI TLP-8010C

Quelques spécifications :

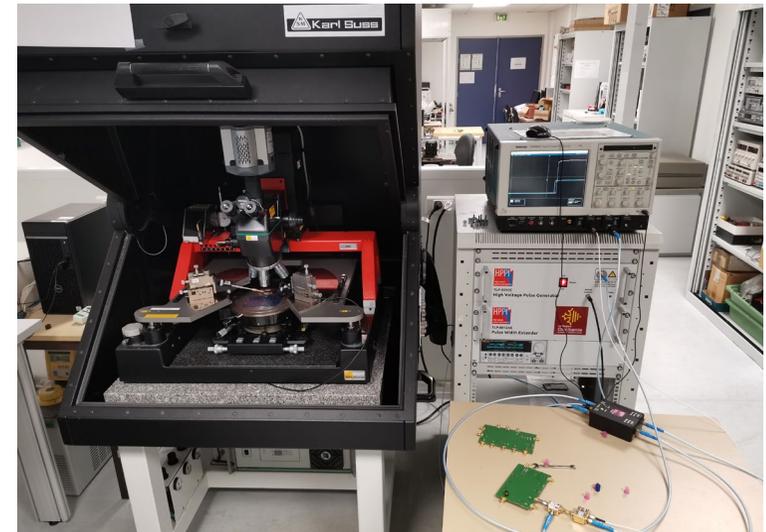
Simulation d'ESD

Courant max : **80 A (sur court circuit) ; 40 A (50Ω)**

Largeurs de pulse : 1 ns à 500 ns

Temps de montée : 0,1 ns à 10 ns

Prestations extérieures : Murata



- Evolution des moyens de la plateforme
 - *Thermographie Infrarouge*
 - *Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS)*
 - *Effet Hall*
 - *Very Fast Transmission Line Pulse (VF-TLP)*

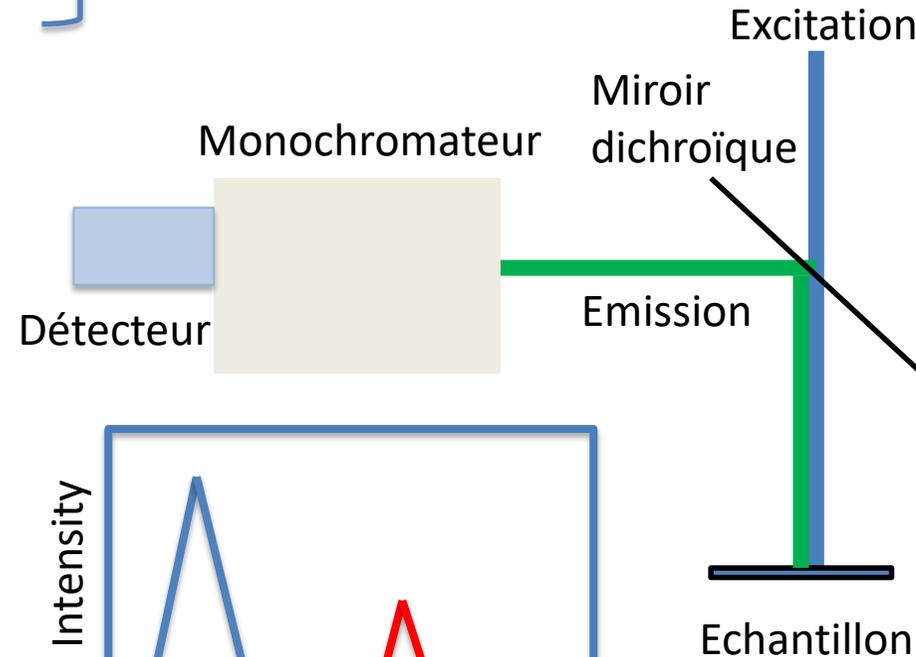
- Nouveau banc optique
 - *Spectroscopie de photoluminescence/Raman*

- Identification des défauts optiquement actif
- Connaitre leurs emplacements dans le gap du matériau

Photoluminescence (PL)

- Cristallinité du matériau
- Etat de contrainte
- Identification des espèces chimiques
- Extraction du dopage, de la mobilité
- Extraction de la température

Raman



- + Localiser en profondeur → Plusieurs excitations
- + Localiser en surface → Cartographie

Elaboration d'un banc de Raman/Photoluminescence sur-mesure

Schéma banc PROOF : excitation

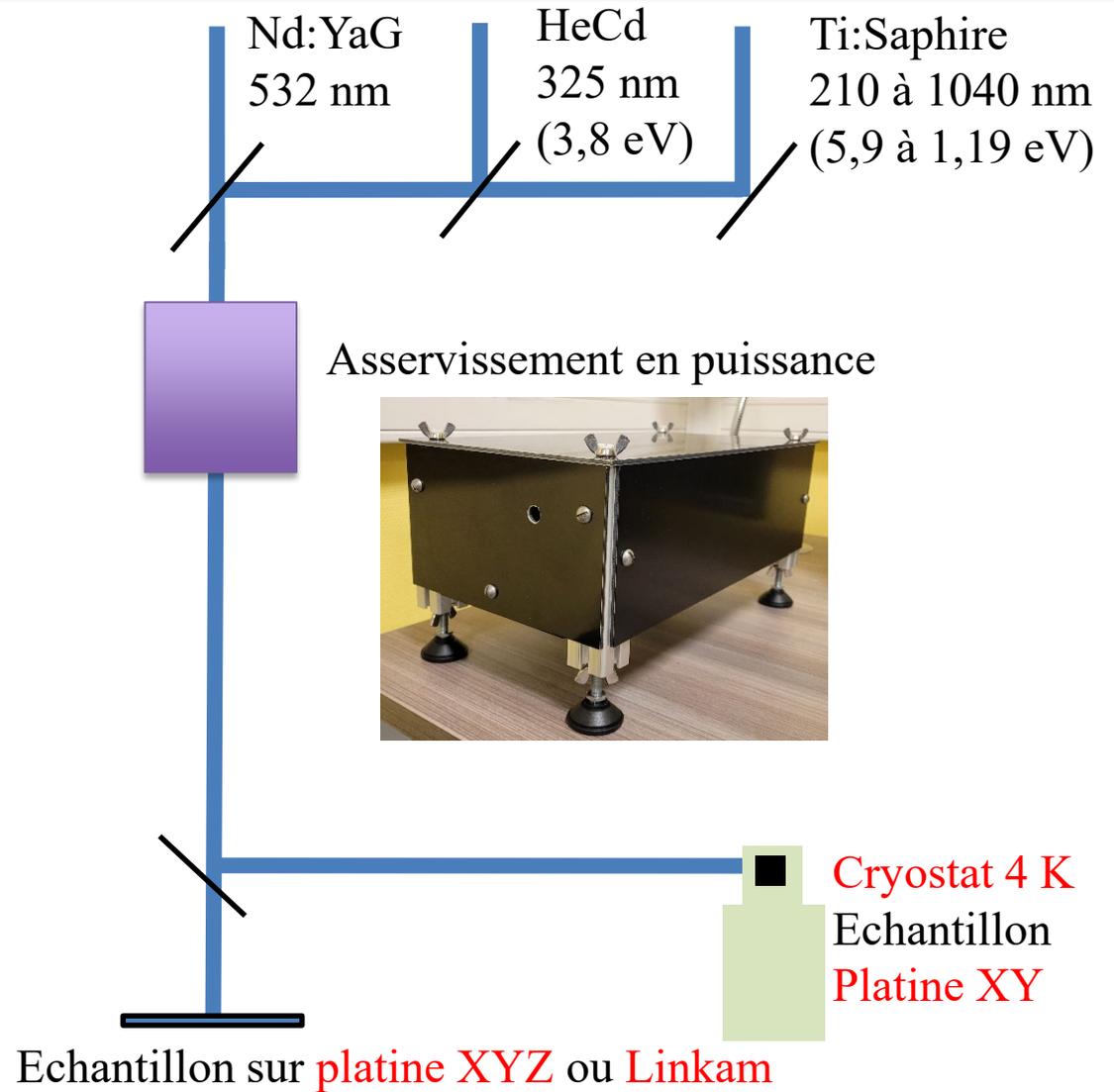
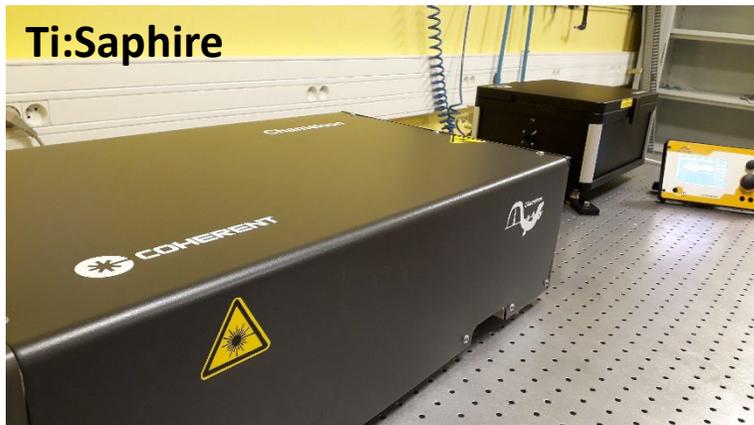
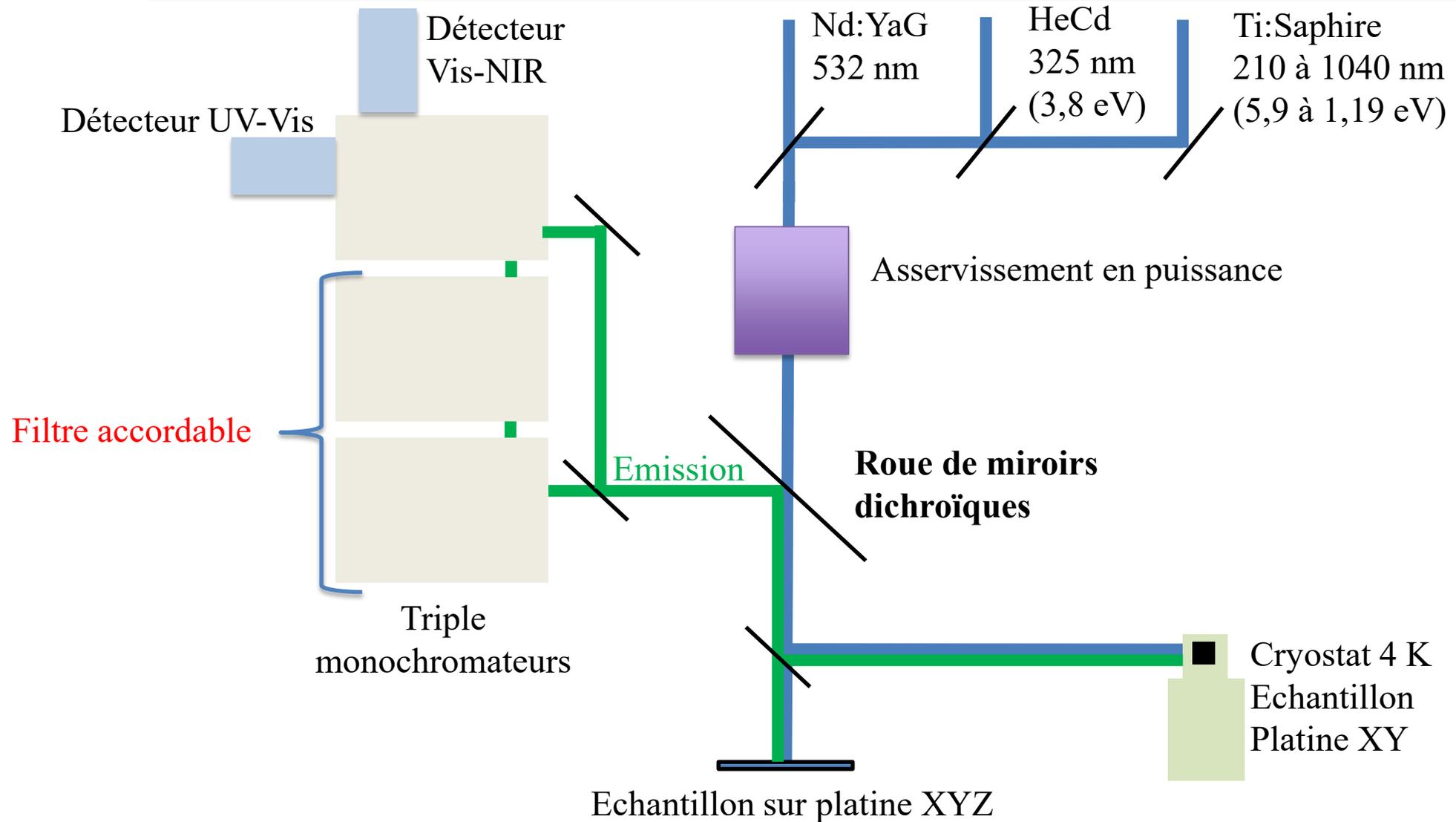


Schéma banc PROOF : émission





- ** Polyvalent
- ** Entièrement automatisé

Quelques spécifications :

- Excitation de 210 à 1040 nm
- Détection de 200 à 900 nm
- Mesures en température de 4 à 873 K
- Résolution spectrale $\sim 1 \text{ cm}^{-1}$
- Résolution spatiale de 50 nm
- Autofocus**

Plusieurs études :

- PL sur diamant implanté
- PL sur GaN (STMicroelectronics)
- Cartographie de PL sur des HEMTs GaN avant et après stress (*présentation J-G. Tartarin*)
- Cartographie Raman sur composant GaN de puissance (*présentation D. Tremouilles*)

- > Equipements complémentaires pour l'analyse des défauts dans les matériaux grand-gap
- > Evolution de plusieurs banc
- > Banc de spectroscopie de photoluminescence/Raman unique

> Back-end

Model		FLIR - X6580sc
Detector	Size	640 x 512
	Material	InSb
	Spectral Range	1.5 μ m - 5 μ m
	Pitch	15 μ m
	Stirling Cooler	FPA temperature < 76K Cool-down time < 5min
	MTBF	> 10000 h
Integration time		500ns - 20ms
Image Frequency	640 x 512	355 Hz
	320 x 256	668 Hz
	160 x 128	1194 Hz
	320 x 8	4568 Hz (max)
Trigger Delay		12.5 ns
Resolution		13 bit
NETD without lens		16.78 mK
Lens G3	Magnification	x 3
	Pixel size	5 μ m
	Working distance	22 mm
	FOV	(3.2 x 2.56) mm
	Calibration range	5 - 300°C
	Option : extension rings (observation only)	- x4.7 (3.2 μ m/pixel) - x5.6 (2.68 μ m/pixel)
Lens 50mm	Calibration range	5 - 300 °C

Modèle	PhysTech GmbH HERA-DLTS FT1230
N° de série	010685/21
Gamme de température	85 à 550 K
Tension maximum	100 V
Fréquence capacimètre	1 MHz
Installation date	01/06/2021

- Types : C-DLTS, I-DLTS, Q-DLTS, Isothermal Transient (C ou I), Laplace DLTS, C(V), I(V), C(t), I(t)

DLTS mode	C	U	I	Q
Sensitivity	+	o	-	o
Recovery time	-	-	o	o
Offset compensation	+	+	-	-
Measurement	+	o	+	o
Exponential	o	+	+	o
NT calculation	+	+	o	o
NTs, depth profiles	o	+	-	-

The table on the left makes a **simplified comparison** with '+' as good, 'o' as medium and '-' as bad.

- Gamme de spécification : +- 10 V (résolution : 0,30 mV), +- 20 V (0,61 mV) , +- 40 V (1,22 mV) et +- 100 V (3 mV)

Caractéristique Tp :

- Largeur de pulsation minimum en interne : 10 μ s
- Largeur de pulsation minimum avec pulse generator : 20 ns
- Largeur de pulsation maximum en interne : > 100 h

Caractéristique Tw :

- Période minimum : 27 μ s
- Période maximum : 110 h

Capacimètre :

- Plage de compensation : 1 pF à 3300 pF
- Signal alternatif de 20 ou 100 mV à la fréquence de 1 MHz
- Gamme : 4 pF - 4000 pF (100 mV)

Amplificateur de courant :

- Courant maximum : 15 mA
- Resolution : < 10 pA

Electrique

	Standard System	With HL5580PC Buffer Amplifier
Current Source		
Range	10nA - 20mA	1pA - 10μA
Compliance	20V	20V
Output Impedance	$10^{10}\Omega$	$>10^{13}\Omega$
Voltage Measure		
Input Impedance	$10^{10}\Omega$	$10^{13}\Omega$ in parallel with 3pF per input
Input Voltage Operating Range	+6V	+6V
Input Leakage Current	20nA per input (typical)	40fA per input (typical)
Current Input Voltage Noise	0.8μV pk-pk at 0.1 - 10Hz (typical) 15nV/ \sqrt{Hz} at 213Hz	4.0μV pk-pk at 0.1 - 10Hz (typical)
Measurement Modes	AC(213Hz)/DC	DC
Sample Inputs	Coaxial	Two-lug female coaxial BNC with driven screen. Guard to input potential < 100μV
Contact Switching	FET	Dry Reed

Magnétique

Type	Permanent with field reversal by magnet rotation
Field	Strength 0.32T nominal $\pm 1\%$ of marked value Stability 0.1% over 10 years Uniformity $\pm 1\%$ over 25 mm diameter from center
Pole Gap	33.4mm
Max Measurement diameter	25mm