

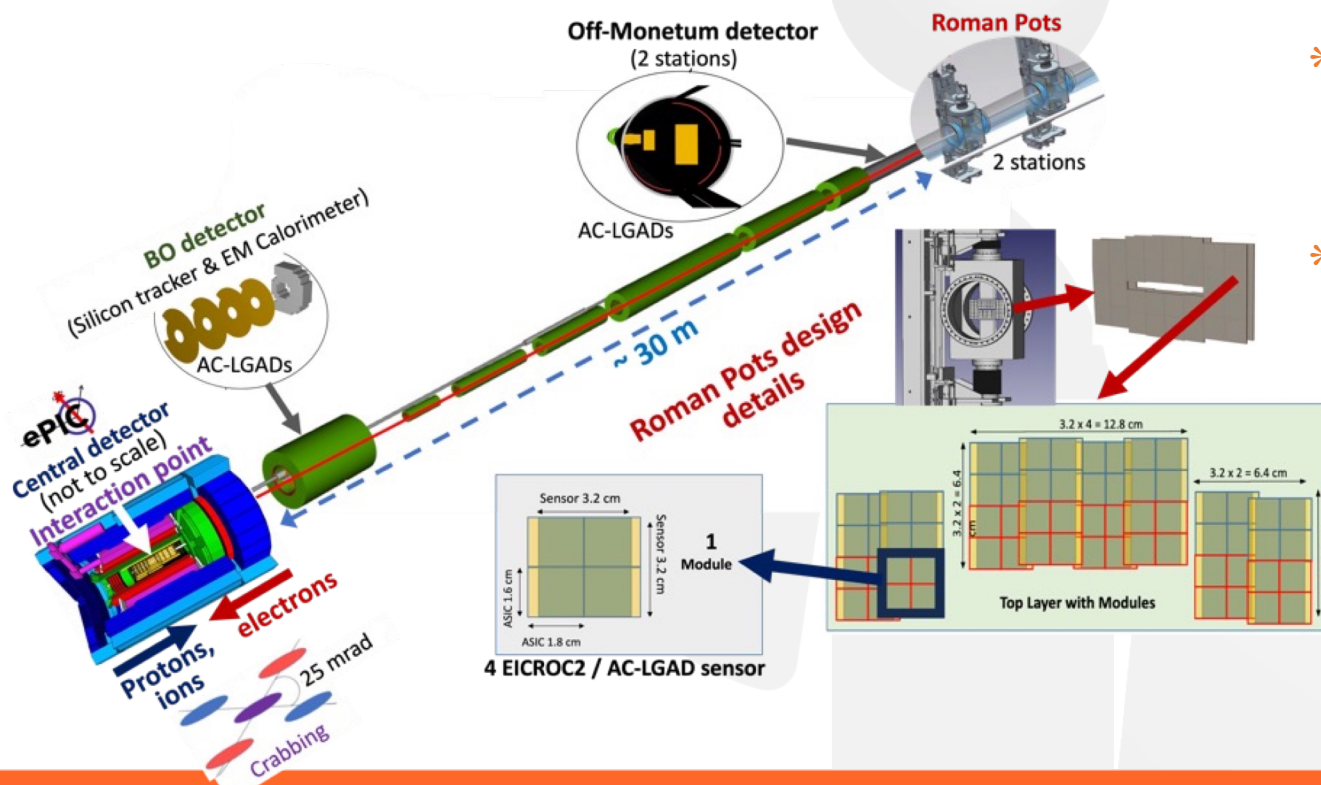
EIC – Roman Pots : caractérisation de l'ensemble AC–LGAD + EICROC à IJCLab

A. Torrentó

O. Brand-Foissac, V. Chaumat, T. Cornet, D. Hohov, B.-Y. Ky, D. Marchand , L. Serin, A. Sharma



Electron-Ion Collider (BNL, 2035) : études QCD approfondies → origine de masse/spin des nucléons, études de systèmes denses de gluons, image 3D de la distribution des quarks et des gluons dans les hadrons (GPD – General Parton Distributions).



- * **ePIC Central Detector** : autour point d'interaction, couches avec symétrie axiale (tracker, calorimètre, TOF,...)
- * **Détecteurs Far-forward (~30 m)** : essentiels pour processus exclusifs (particules à petits angles de diffusion)
- **Off Momentum** : effets nucléaires
- **Roman Pots : GPDs**
 - * DVCS (Deep Virtual Compton Scattering)
 - * DVMP (Deep Vector Meson Production)
 - * ./..

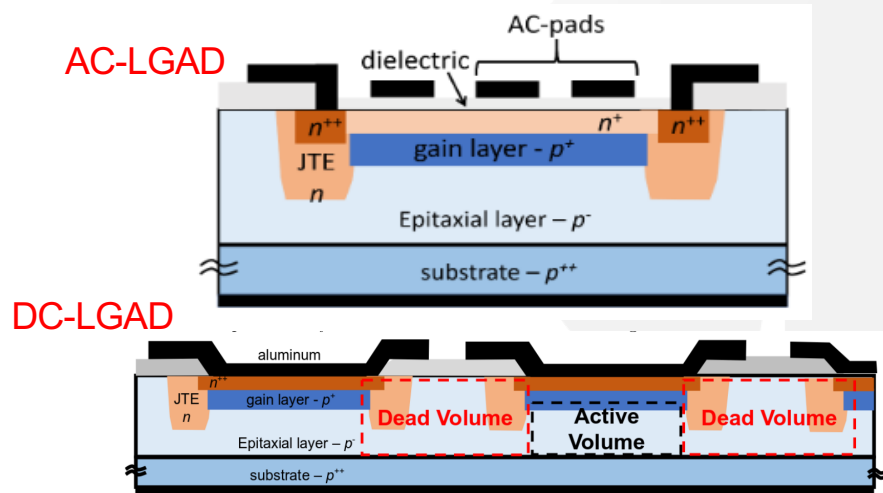


AC-LGAD + EICROC for Roman Pots

Objectif : développer et caractériser une puce EICROC (32 x 32) qui puisse lire et exploiter les performances des capteurs AC-LGAD pixelisés (500 x 500 μm^2) pour trajectographie 4D : ~ 30 ps résolution temporelle, < 50 μm résolution spatiale

- **AC-LGAD:**

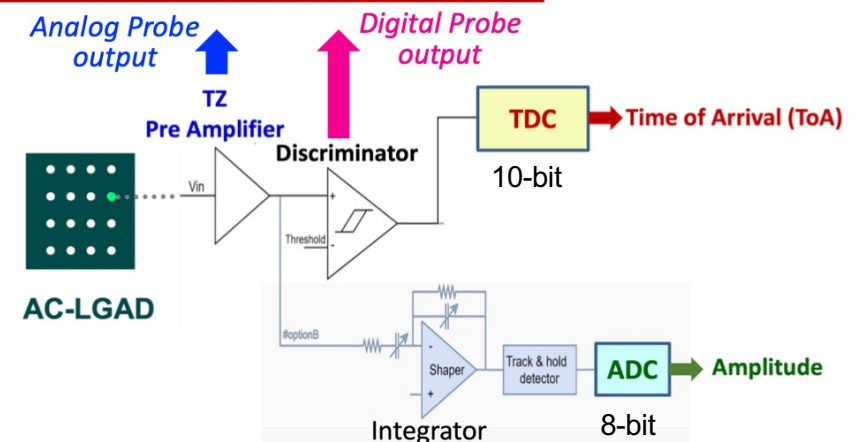
- LGAD : amplification ~ 10 $\rightarrow$ signal plus rapide, maintien amplitude sur détecteurs minces
- AC : pas de zone morte, partage de charge



- **EICROC (OMEGA, CEA/Irfu, AGH Krakow, LPCA Clermont-Fd), spécifications:**

- Jitter ~ 20 ps, < 2 mW/voie, bruit ~ 1 mV/voie, sensibilité ~ 3 fC (partage de charge)

1 channel (1 pixel) schematics

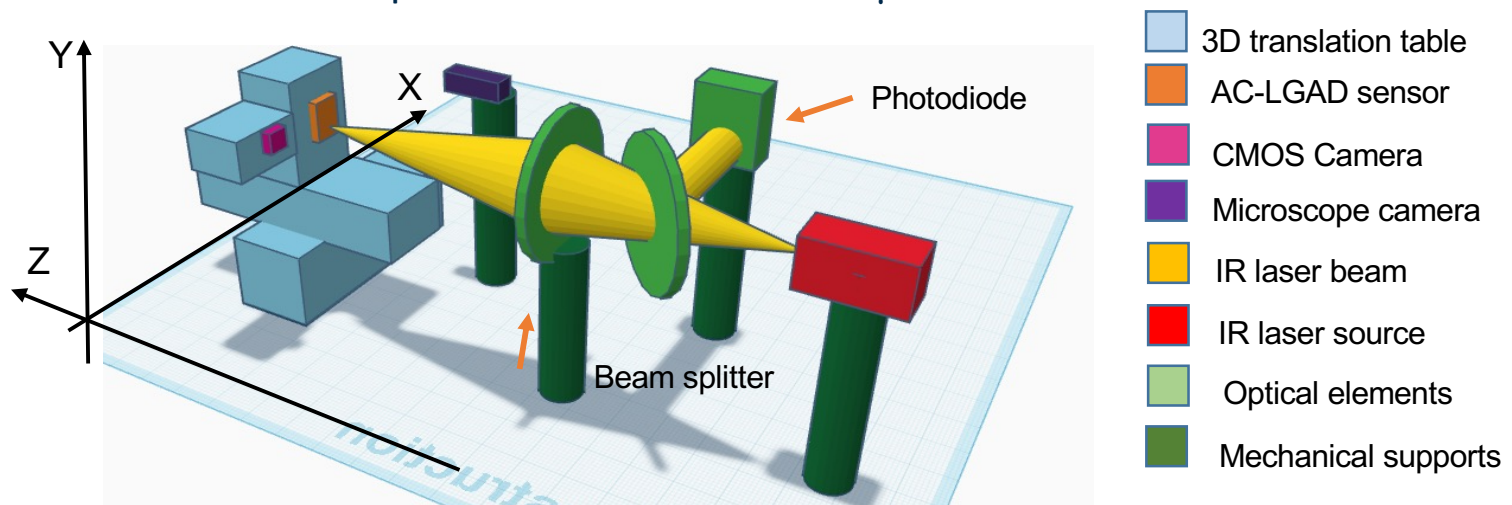




Banc test laser IR

- **Motivation** : mesurer la résolution spatiale et temporelle, et le partage de charge pour l'ensemble AC-LGAD + EICROC

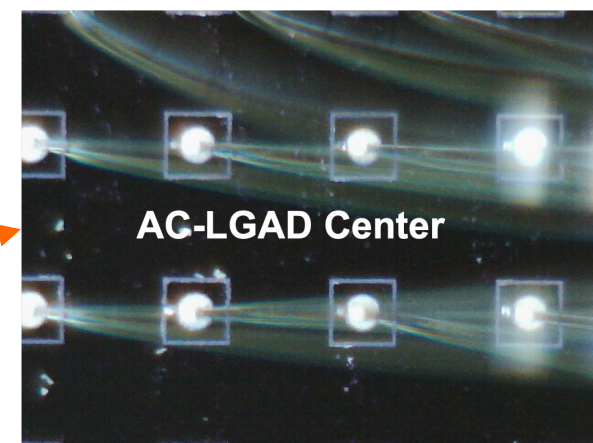
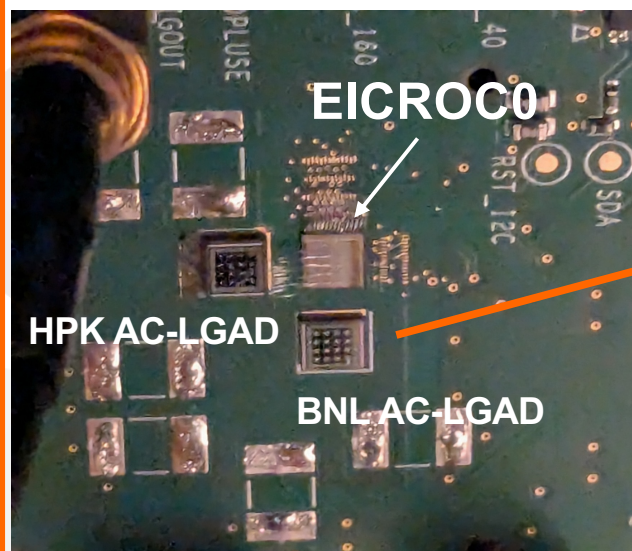
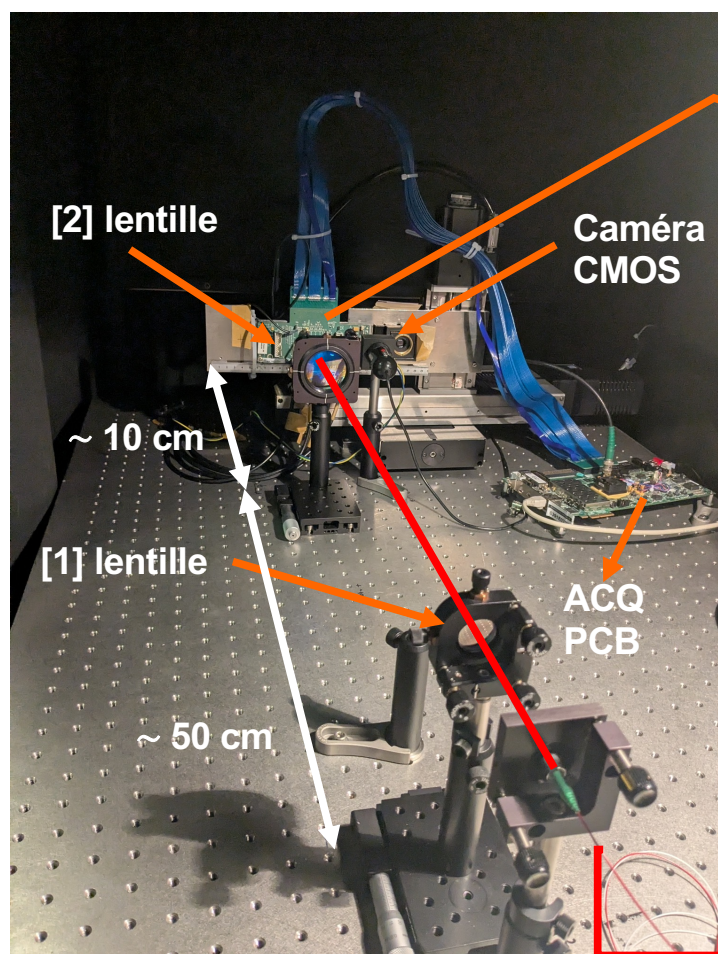
→ Laser IR imite MIPs → $\lambda = 1056$ nm photons traversent ≈ 700 μm de Si



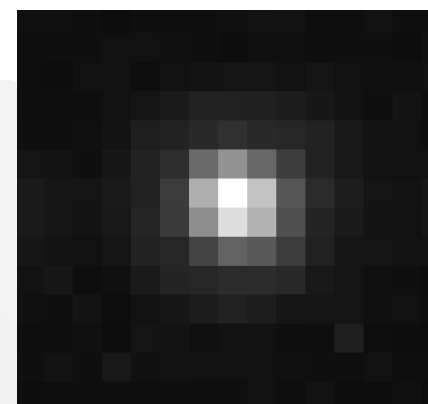
- **Objectif**: obtenir le point focal le plus petit possible :
 - **Contrôle** de la position incidente de la « MIP » (vs. beta source avec émission isotrope) et du temps d'interaction (déclenchement laser)
 - **Mais** : seulement accès à la zone inter-pixel car photons IR sont reflétés par les électrodes métalliques



Banc test laser IR



IR laser λ 1056 nm
Pulse < 40 MHz
Jitter_{RMS} = 10.8 ps



↳ Point focal propre

↳ $\phi \lesssim 8 \mu\text{m}$

(CMOS pixel = $3.75 \mu\text{m}$)



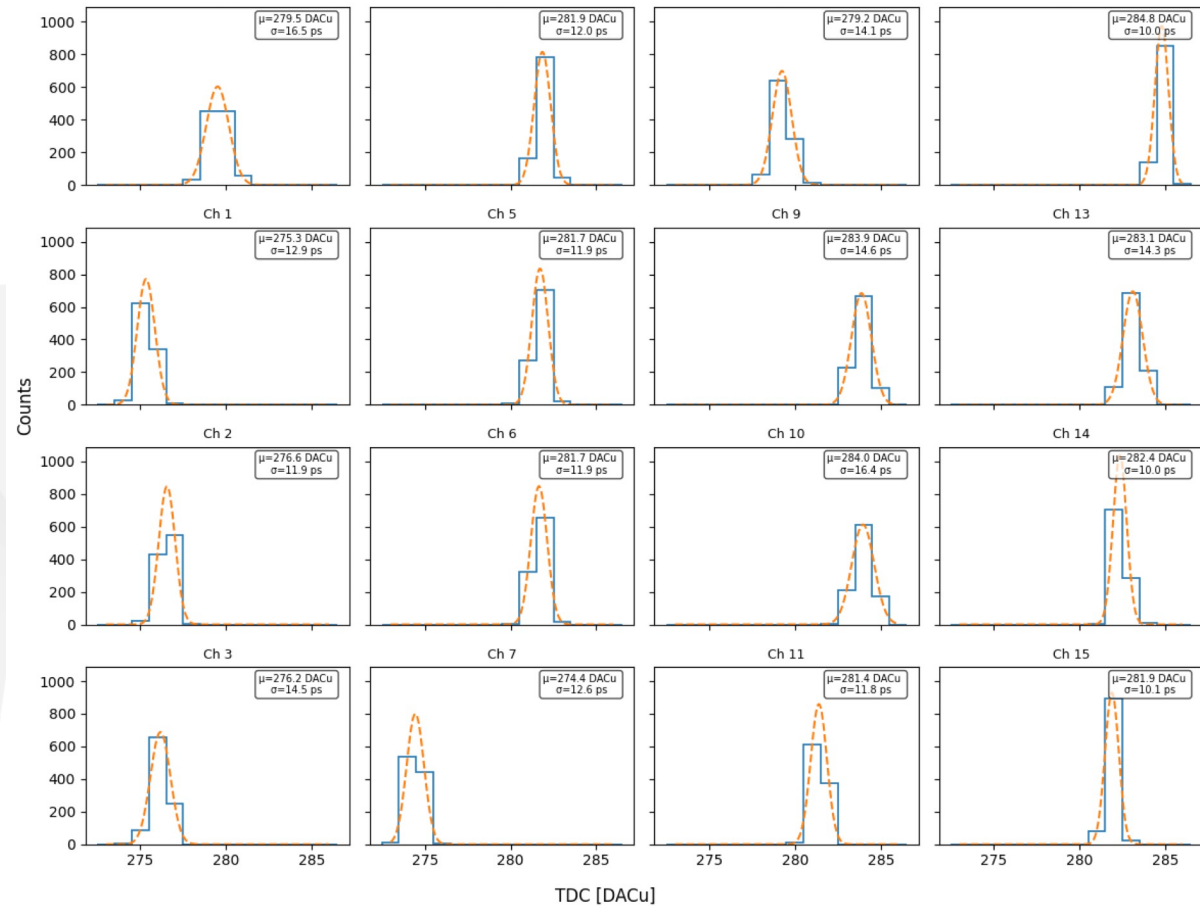
AC-LGAD + EICROCO : mesure de temps

- 16×16 pixels
- Capteur pas polarisé
- CMD Pulse DAC = 63 $\simeq$ 25 fC
- Vth 380 DACu
- 1000 evts/voie
- TDC 10-bit: 1024 values
- TDC LSB: 25 ps

$$\sigma_t < 20 \text{ ps} \quad \checkmark$$

TDC jitter

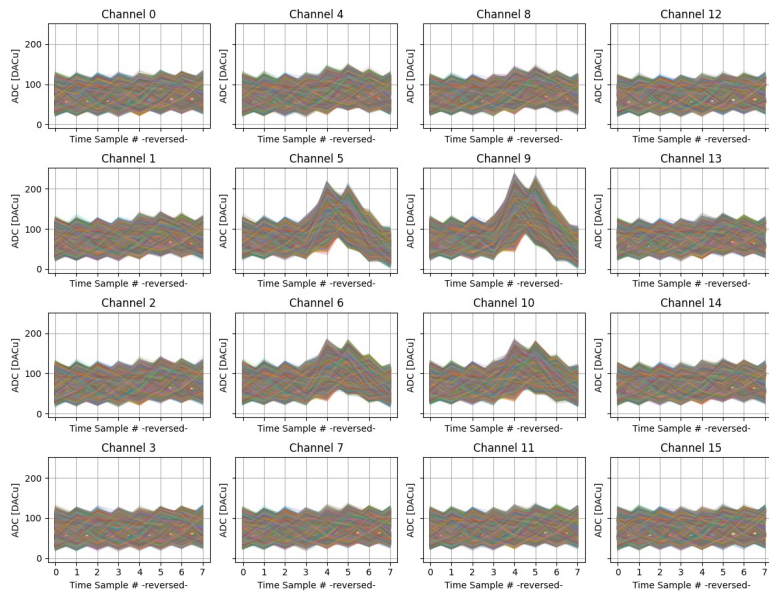
Raw TDC Distributions – BNL WB “new” – CMD pulse (DAC 63 $\simeq$ 25 fC)



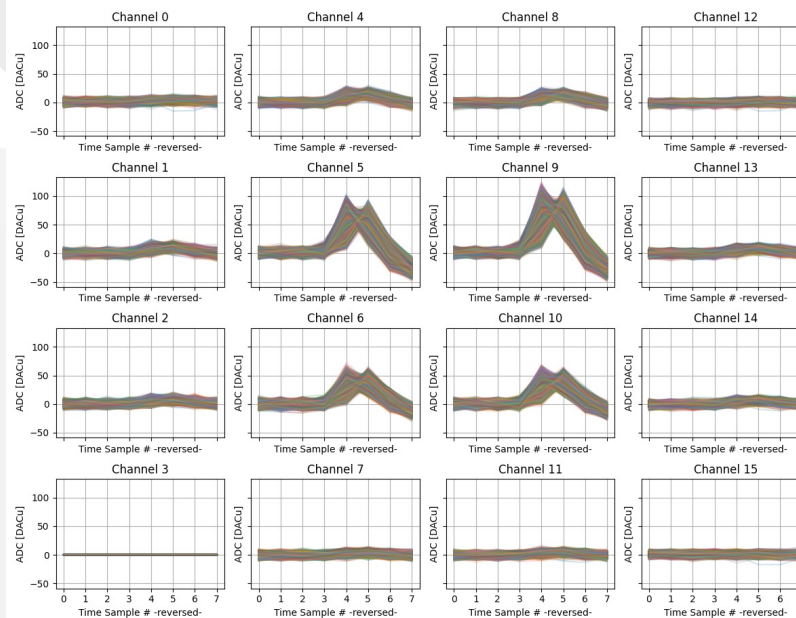


SIGNAUX BRUTS ADC

ADC waveform RAW



SIGNAUX ADC après soustraction du piédestal (evt/evt) de la voie 3



10 000 evts

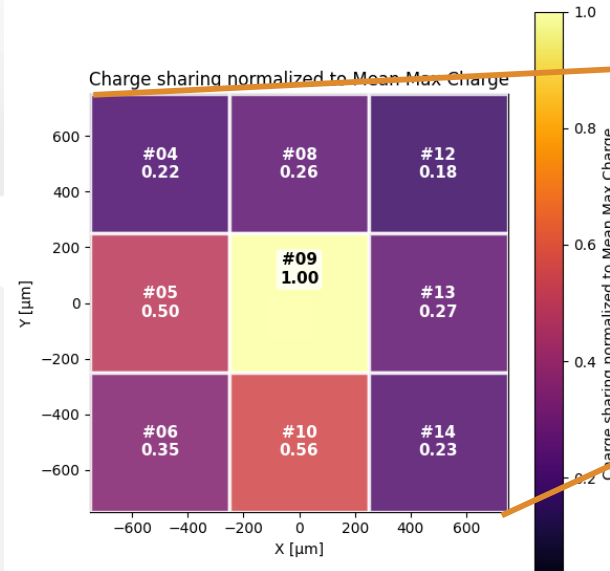
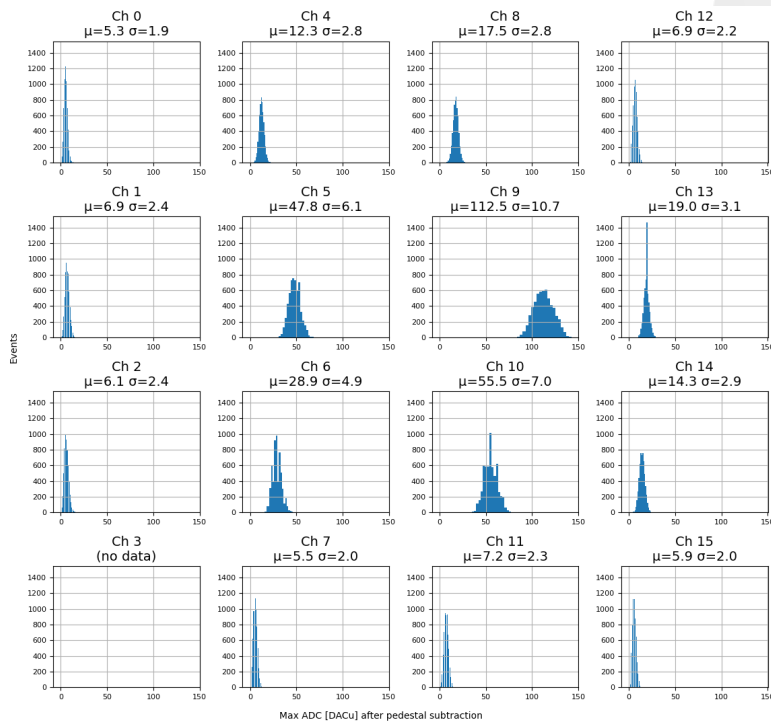
Pixel / Channel Mapping	Column 0	Column 1	Column 2	Column 3
Line 0	Pixel (0,0) #00	Pixel (1,0) #04	Pixel (2,0) #08	Pixel (3,0) #12
Line 1	Pixel (0,1) #01	Pixel (1,1) #05	Pixel (2,1) #09	Pixel (3,1) #13
Line 2	Pixel (0,2) #02	Pixel (1,2) #06	Pixel (2,2) #10	Pixel (3,2) #14
Line 3	Pixel (0,3) #03	Pixel (1,3) #07	Pixel (2,3) #11	Pixel (3,3) #15

Laser IR pointé approx. au centre

V_{pol} (AC-LGAD) = -158 V; IR laser 1 kHz « Auto-trigger »; V_{th} (Thresh. Discr.) = 500 DACu



Distributions ADC max [DACu]



**Partage de charge
(normalisé par la moyenne de la
charge maximale)**

10 000 evts

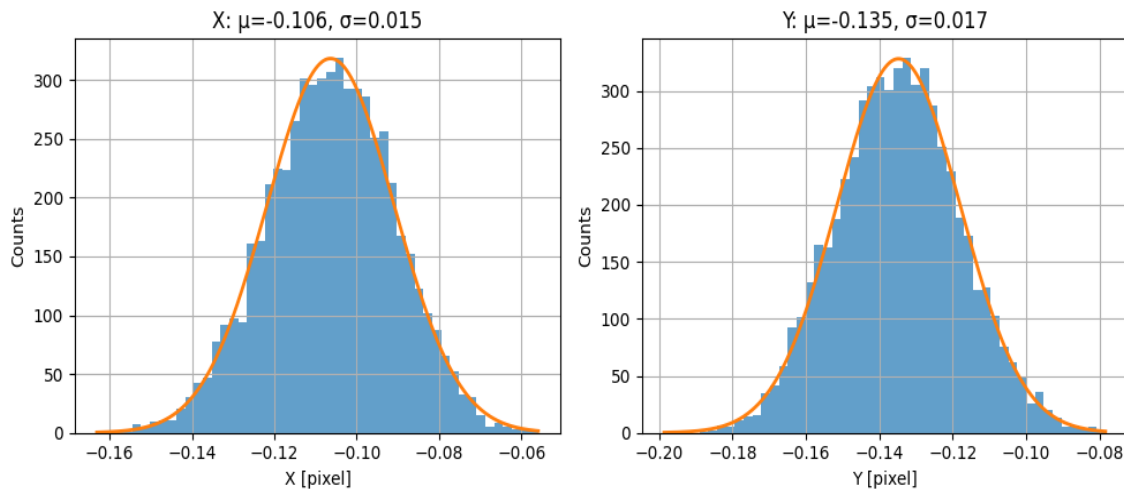
Pixel / Channel Mapping	Column 0	Column 1	Column 2	Column 3
Line 0	Pixel (0,0) #00	Pixel (1,0) #04	Pixel (2,0) #08	Pixel (3,0) #12
Line 1	Pixel (0,1) #01	Pixel (1,1) #05	Pixel (2,1) #09	Pixel (3,1) #13
Line 2	Pixel (0,2) #02	Pixel (1,2) #06	Pixel (2,2) #10	Pixel (3,2) #14
Line 3	Pixel (0,3) #03	Pixel (1,3) #07	Pixel (2,3) #11	Pixel (3,3) #15

Laser IR pointé
approx. au centre

V_{pol} (AC-LGAD) = -158 V; IR laser 1 kHz, « Auto-trigger »; V_{th} = 500 DACu

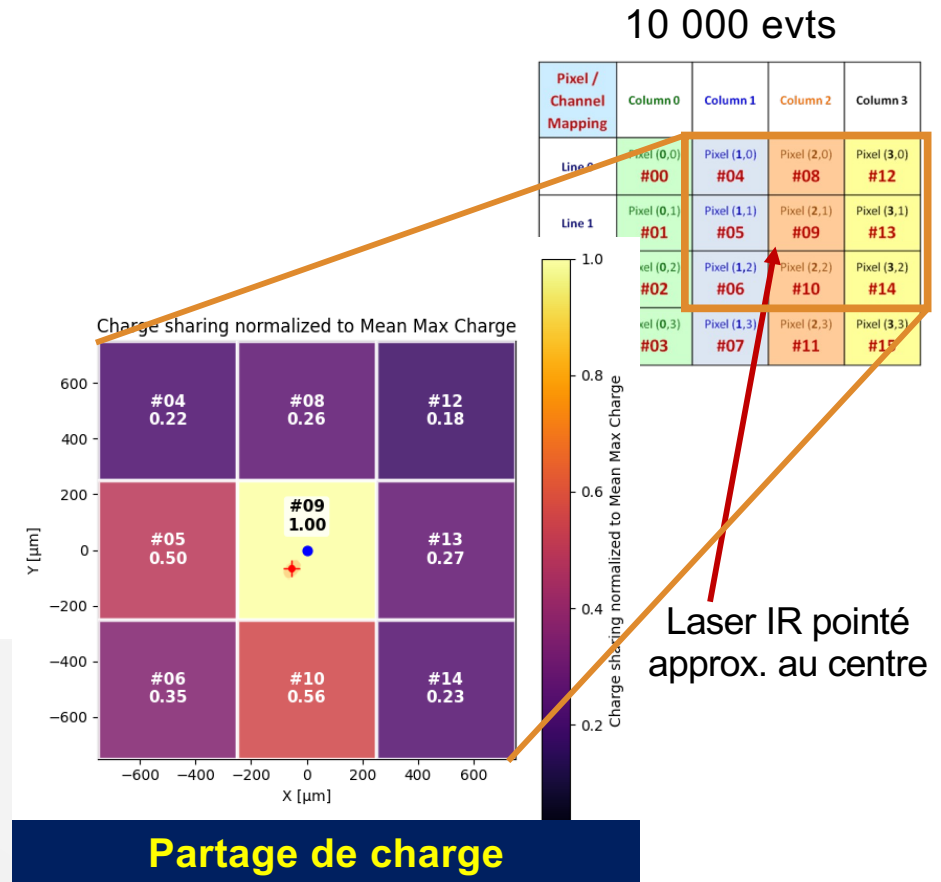


Positions X et Y reconstruites avec la méthode du barycentre



X: Mean = $-53 \pm 8 \mu\text{m}$

Y: Mean = $-68 \pm 9 \mu\text{m}$



V_{pol} (AC-LGAD) = -158 V; IR laser 1 kHz, « Auto-trigger »; V_{th} = 500 DACu



Conclusions

- **EICROC status:**
 - EICROC0
 - EICROC0: 1^{er} prototype, 4×4 voies
 - Tests en cours: des couplages ont été observés, correction pour la prochaine itération
 - TDC jitter & résolution position : satisfont déjà les spécifications pour les Roman Pots
 - EICRICOA/B/1
 - Reçus en mars 2026
 - EICROC0A et AC-LGAD wire-bondés sur PCB → Tests en cours @ OMEGA
 - EICROC2
 - Digital on top : développement en cours au LPCA Clermont-Fd
- **Évolution du banc test laser :**
 - Nouvelle tête laser 940 nm pour minimiser réflexions sur l'électrode arrière
 - Développement d'une électronique indépendante pour étudier en détail les signaux des LGAD
 - Développement d'algorithmes IA de reconstruction de la position (méthode du barycentre sensible à la collection de charge, surtout sur les bords du détecteur).



➤ Développement en parallèle d'un programme R&D sur les LGAD: **Projet R&T « Time and Track »**

- Expertise en caractérisation de détecteurs silicium et celle qu'on est en train d'acquérir sur les LGAD
- Équipements de test : station sous pointes, banc test laser, banc test source, enceintes climatiques
- Simulation (accès Silvaco au CC Lyon)

1. AC-LGAD

1. Travail fait avec EICROC pour EIC-Roman Pots
2. Collaboration FJPPN avec KEK: « ***Design and characterization of very finely pixelated AC-LGAD sensors and readout electronics*** »
 - ☞ KEK collabore avec BNL (projet DRD3 sur les AC-LGAD), ils fabriquent aussi des prototypes (Hamamatsu)

2. TI-LGAD : **Projet DRD3-WP2 porté par l'Université de Zürich (A. Macchiolo) « Development of TI-LGAD for 4D Tracking »**

- Participation d'IJCLab et LPNHE pour les tests (+ responsabilité de la 2^e publication)
- IJCLab: caractérisation des prototypes fabriqués en 2026 et 2028
 - Inclus dans le P2 « Électronique 4D, LGAD, Interconnexions » du Master Project DEPHY (M. Barbero)
 - Projet « **Characterization and Development of novel LGAD sensors for Nuclear and High Energy Physics** » : Obtention d'une thèse financée par HADRON – 2030, implication LPNHE & UZH

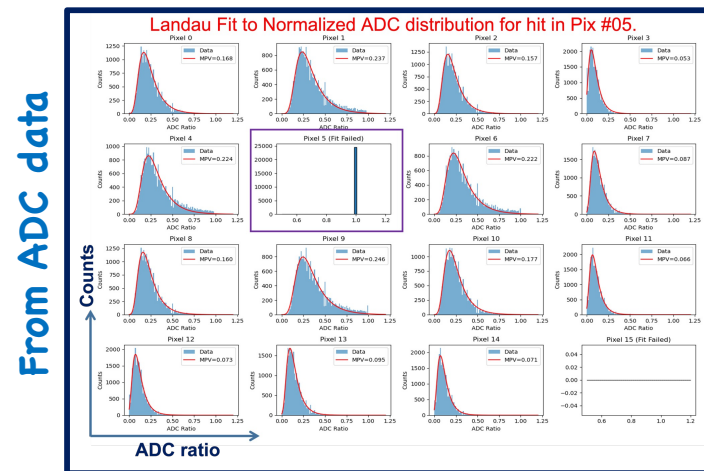
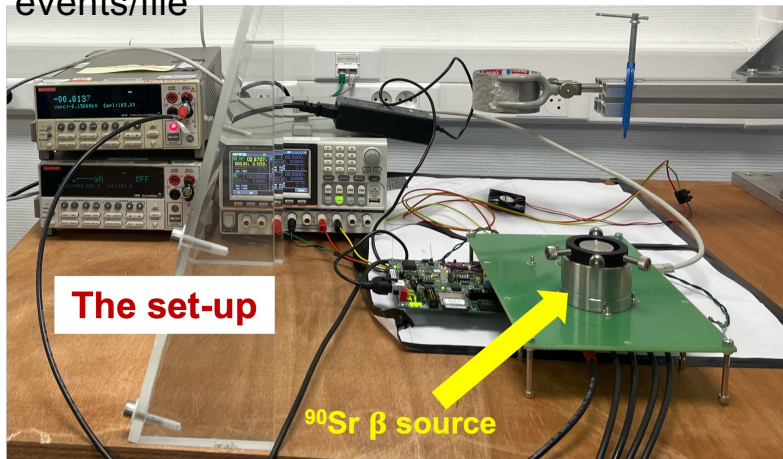


Pixelated AC-LGAD read-out characterization

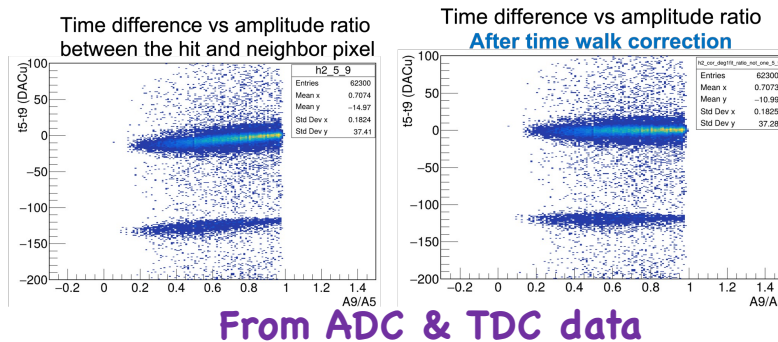
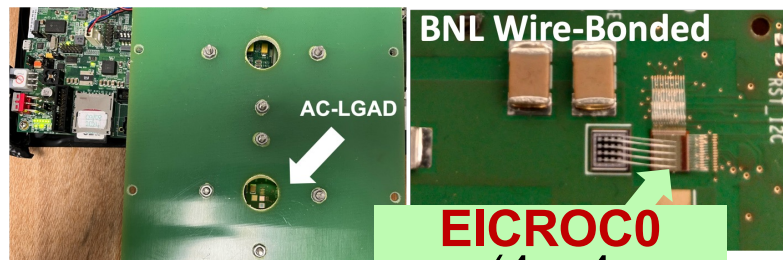
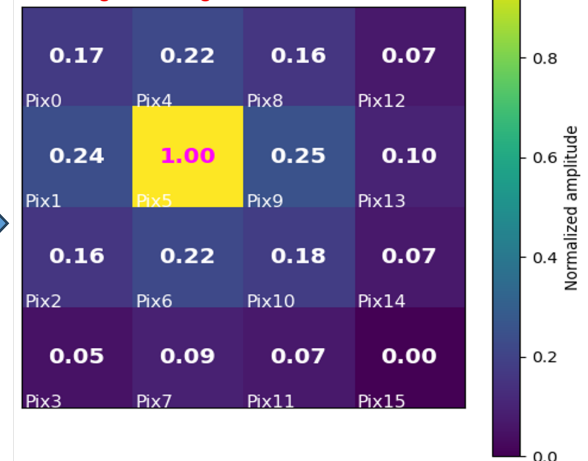
Measurements with ^{90}Sr β source at IJCLab PSI platform



Firmware updated 1) to store digital data only when the PreAmp signal amplitude of at least 1 channel among the 16 is passing the discriminator threshold; 2) to take long run splitting data into multiple files with reasonable fixed number of events/file



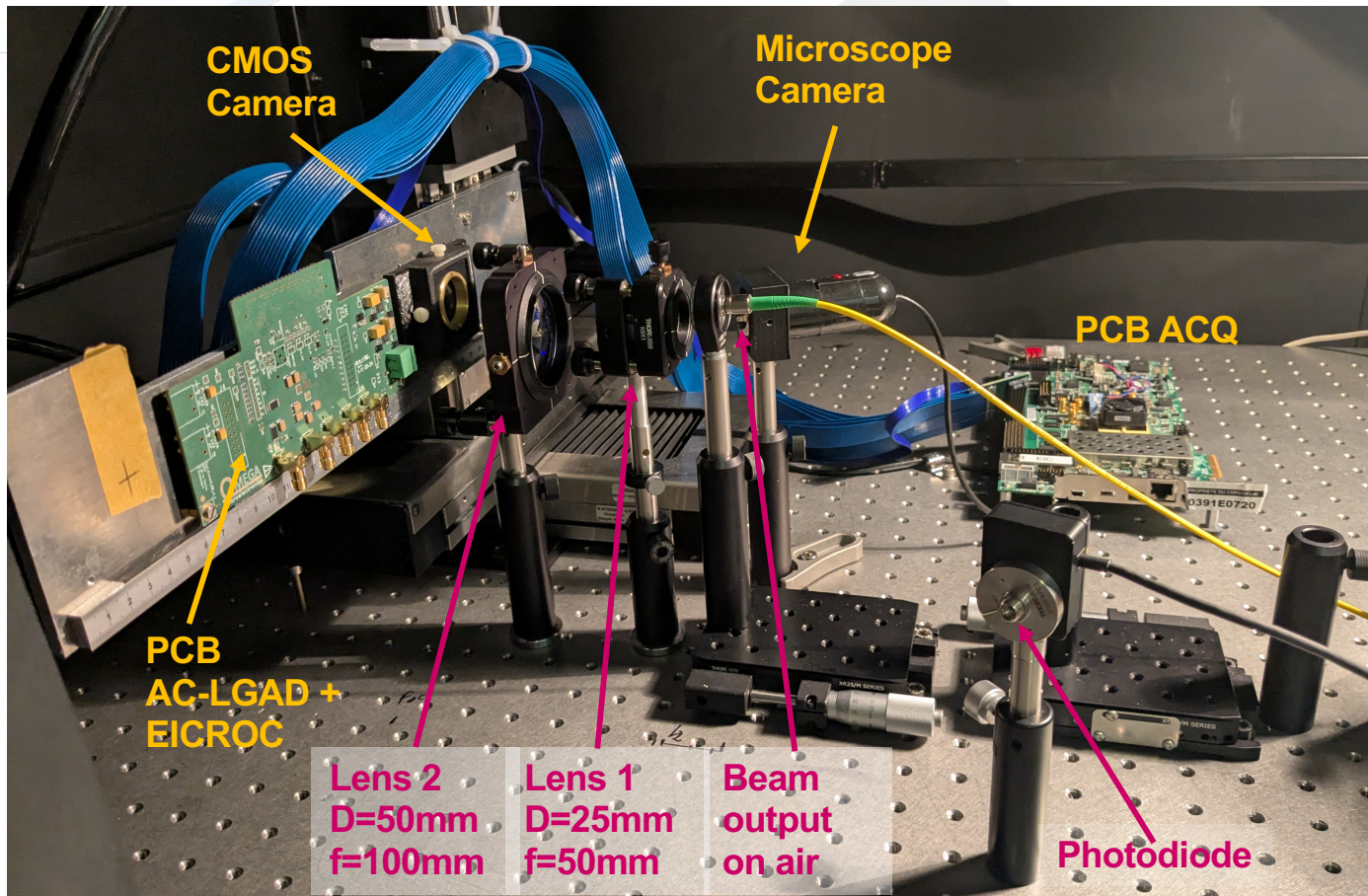
Charge Sharing ratio for hit in Pix #05



- ADC pedestal subtraction computed from "far" pixel
- More charge sharing ($\sim 23\%$) for adjacent neighbors
- Time walk correction applied successfully to TDC data

A. Sharma, B.-Y. Ky, D. Marchand, L. Serin

Laser test bench: optical configuration



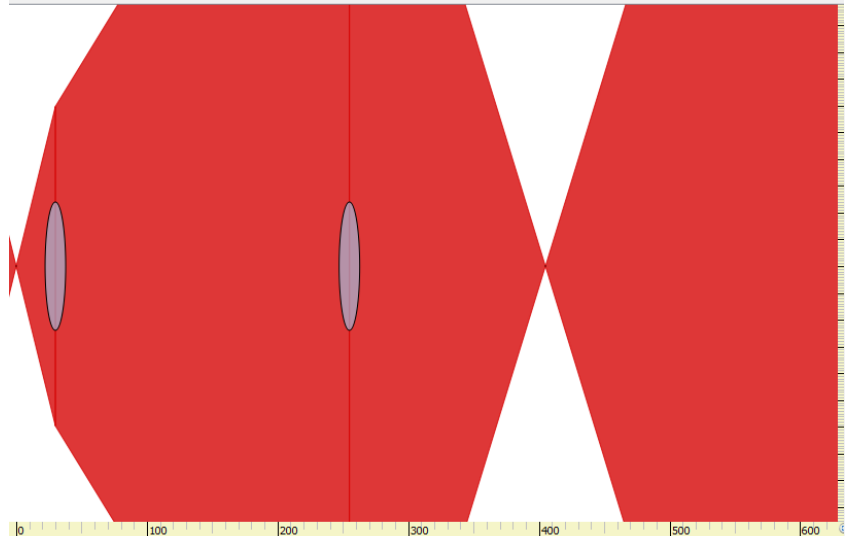
NKT Photonics Diode Laser

- 1056.4 ± 7.4 nm
- 7 nW av. Power
- 150 mW peak intensity
- 0 – 40 MHz
- 35 ps pulse width (FWHM)
- Jitter RMS = 10.8 ps
- Fiber MFD: $5.3 - 6.4 \mu\text{m}$ @ 980 nm



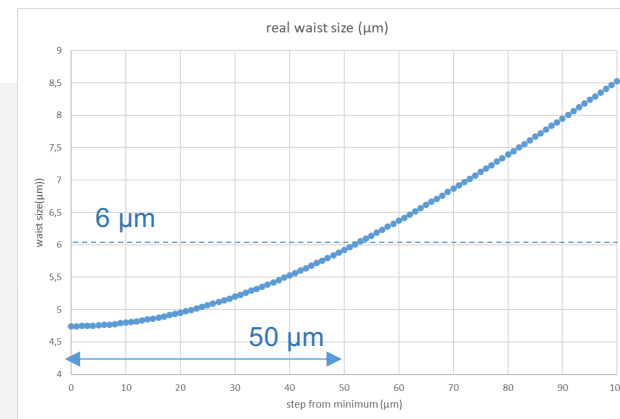
Goal: find the optical elements (lenses) that give a small spot size and a comfortable working distance o(10 cm)

Optique	Position (mm)	Position relative (mm)	Propriétés	Waist (μm)	Position du waist (mm)	Longueur de Rayleigh (mm)	Divergence (mrad)	Sensibilité (%/mm ²)	Nom	Vérouillage
Faisceau incident	0		$n = 1, M^2 = 1$	3.38	0	0.0339875	99.1224	21637.5	w0	absolu
Lentille	30	30	$f = 50 \text{ mm}$	8.44999	-44.9996	0.212421	39.7584	15268.4	L1	aucun
Lentille	255	225	$f = 100 \text{ mm}$	4.225	405	0.0531055	79.3914	4986.12	L2	aucun



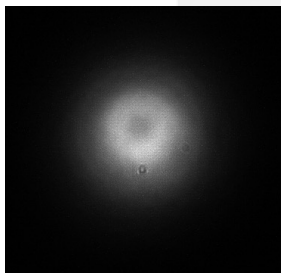
Gaussian Beam optical simulator

- 2 convergent lenses :
[1] $D = 25 \text{ mm}$, $f = 50 \text{ mm}$; [2] $D = 50 \text{ mm}$, $f = 100 \text{ mm}$
- Airy Disc (diffraction) =
 $= 1.22 * 1.056 \mu\text{m} * (100\text{mm}/50\text{mm}) \sim 3 \mu\text{m}$ (radius)
- Estimated spot size $\sim 6 - 8 \mu\text{m}$ radius (within $50 \mu\text{m}$)

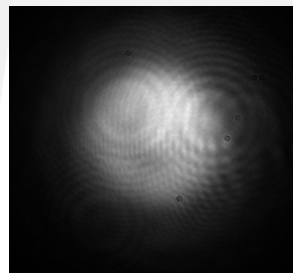


- To properly measure spatial resolution, we need a « clean » spot (= without aberrations / diffraction) $\Rightarrow$ laser beam close to optical axis
 - **Alignment** : laser beam must go through the center of lenses
 - ☞ Lenses mounted on precision holders (X, Y, tilt screws) and micrometric translation tables
 - **Divergence** : laser beam must be fully contained in max. 2/3 of the lens surface
 - $\rightarrow$ Divergence angle at fiber output was too big
 - ☆ Add a collimator at fiber output to reduce the input angle on the 1st lens (ϕ 25 mm)

Out of focus

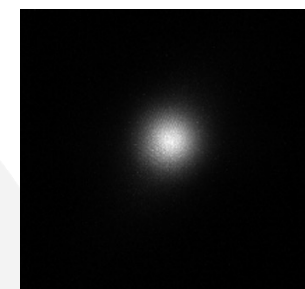


Spherical aberration



Spherical aberration + diffraction

Focal point

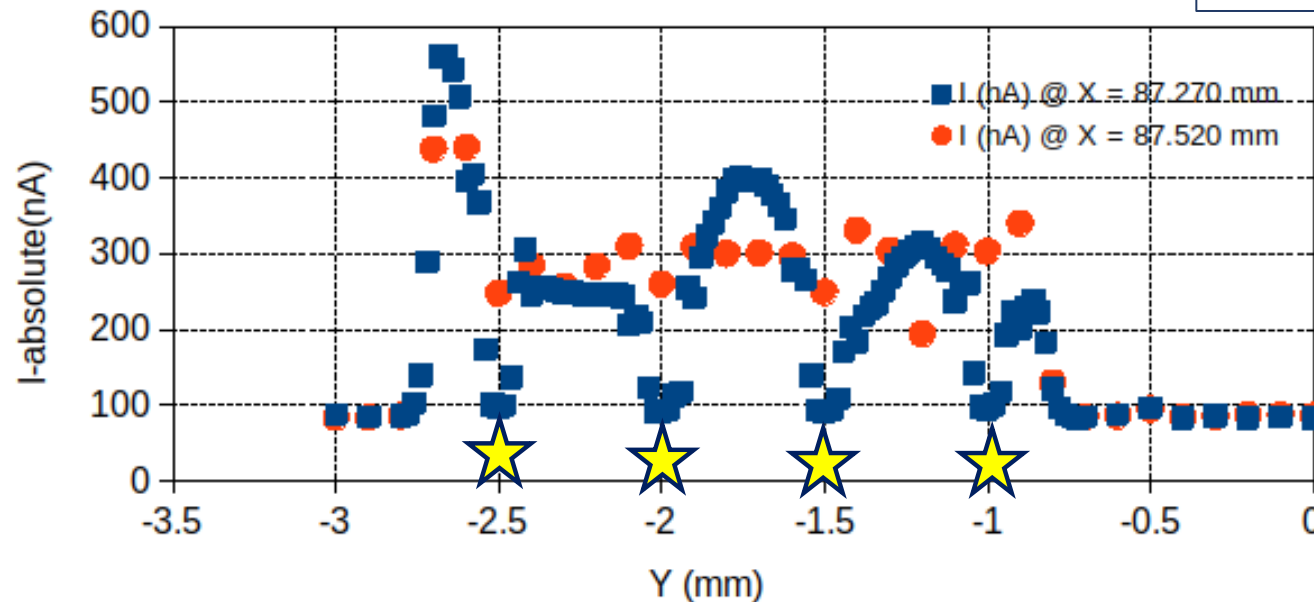
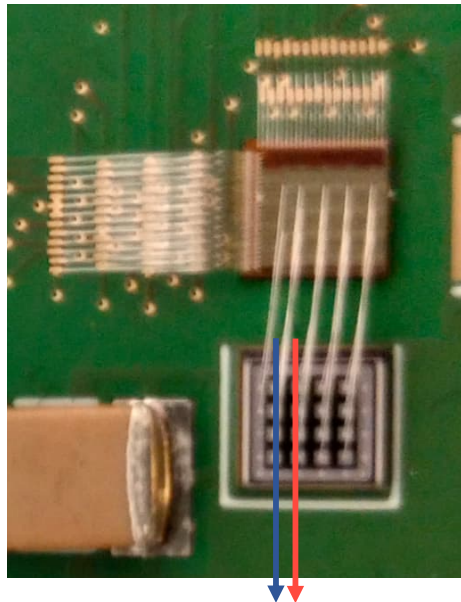


BNL AC-LGAD wire-bonded at KEK
Biased at -190 V

Y scan with LASER

$Z = 198.62\text{ mm}$ and different X

Laser Settings:
 1MHz , 78.50 (attenuation)



★ electrode

- The aim was to observe the difference between the current, once when we are scanning the column with electrodes ($X = 87.270\text{ mm}$ / blue data range) and moving it by $250\text{ }\mu\text{m}$ to be between the two columns and/or inter-pixel ($X = 87.520\text{ mm}$ / orange data range).
- Full analysis will be performed with digital data -> Next Steps.