

# Monitorage Rapide de la Luminosité au Moyen de Capteurs en Diamant pour SuperKEKB



**Journées Accélérateurs 2015, Roscoff**  
**Dima El Khechen, *LAL, Orsay***



# Collaboration

## LAL-ORSAY

Philip Bambade  
Alexandre Blin – Mech. Eng  
Dima El Khechen – PhD student  
Didier Jehanno – elec. Eng., DAQ  
Viacheslav Kubyskiy  
Yann Peinaud – Mech. Eng  
Cécile Rimbault

## KEK

Yoshihiro Funakoshi – SuperKEKB  
Ken-Ichi Kanazawa – SuperKEKB/vacuum pipe  
Yukiyoshi Ohnishi – SuperKEKB/beam loss MC  
Yusuke Suetsugu – SuperKEK/vacuum pipe  
Sadaharu Uehara – Belle-II/ZDLM  
Hiroyuki Nakayama – Belle-II/BEAST

## Autres Collaborations:

- **SLAC** (U. Wienans et al.): luminosity feedback through dithering technique
- **IPHC-Strasbourg** (I. Ripp-Baudot et al.): characterize beam backgrounds in Belle-II

*ZDLM = Zero Degree Luminosity Monitor*

*BEAST = Beam Exorcism for A Stable Belle-experiment*

# Plan

## ✓ **Définition du Projet:**

- La machine SuperKEKB
- Le but du projet
- Le capteur en diamant, le “Readout” et l'électronique, les tests @ LAL
- Les autres techniques (ZDLM)

## ✓ **Les Etudes dans le LER (Low Energy Ring) & HER (High Energy Ring)**

## ✓ **Le design de la chambre à vide**

## ✓ **Les Analyses Préliminaires de Bruit de Fond d'un faisceau**

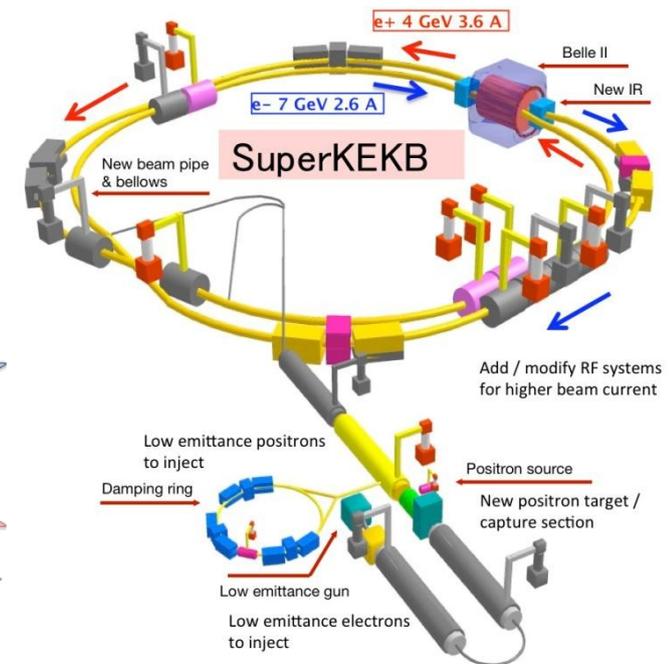
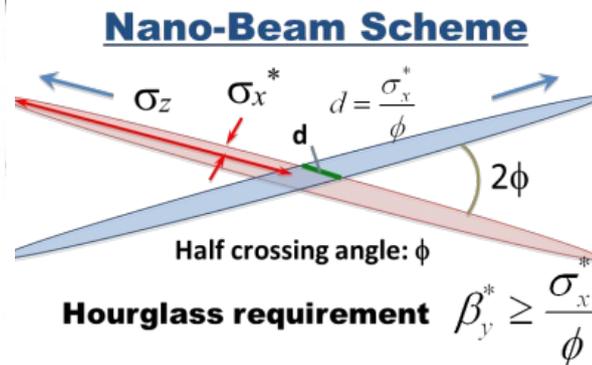
## ✓ **Conclusions**

# SuperKEKB

- Collisionneur  $e^+e^-$  de très haute luminosité ( $L= 8 \cdot 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
- **LER** (positron) ,  $E_{e^+} = 4 \text{ GeV}$  // **HER** (electrons),  $E_{e^-} = 7 \text{ GeV}$
- Ultra- petits  $\sigma_x^*$  et  $\sigma_y^*$  à l'IP grâce au nano-beam scheme ( Raimondi, SuperB)
- $N_b=2500$  paquets @ 250 MHz, 1Tour=  $10^{-5} \text{ s}$  (circonférence = 3.016 Km)
- Phase 1, Deux faisceaux sans collision et sans focalisation finale “insertion à faible bêta” (Fév 2016)
- Phase 2 (2017) ( $L=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
- Phase 3 (2018) ( $L= 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

Machine Design Parameters

parameters		SuperKEKB (phase2)		SuperKEKB (design)		units
		LER	HER	LER	HER	
Beam energy	$E_b$	4	7.007	4	7.007	GeV
Half crossing angle	$\phi$	41.5		41.5		mrad
# of bunches	N	2500		2500		
Horizontal emittance	$\epsilon_x$	2.2	5.2	3.2	4.6	nm
Emittance ratio	$\kappa$	2	2	0.27	0.28	%
Beta functions at IP	$\beta_x^*/\beta_y^*$	128/218	100/24	32/0.27	25/0.30	mm
Beam currents	$I_b$	1.0	0.8	3.6	2.6	A
beam-beam param.	$\xi_y$	0.024	0.0257	0.088	0.081	
Horizontal Beam Size	$\sigma_x^*$	16.8	22.8	10	11	um
Vertical Beam Size	$\sigma_y^*$	0.308	0.500	0.048	0.062	um
Luminosity	L	$1 \times 10^{34}$		$8 \times 10^{35}$		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

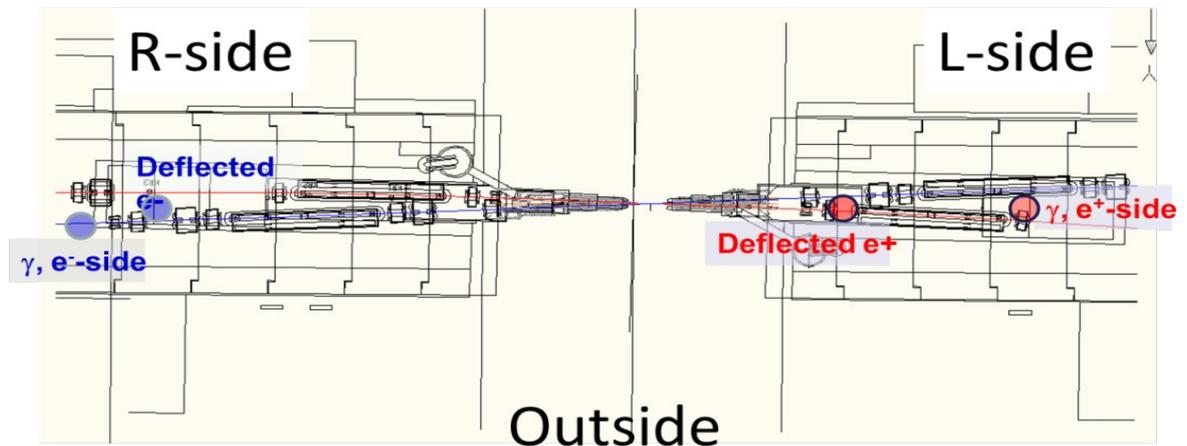
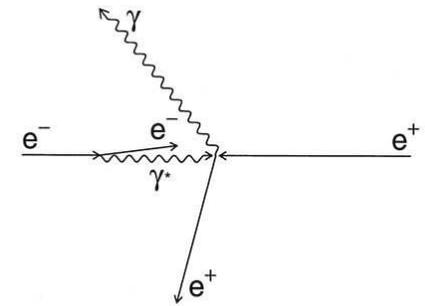


# Le but du projet

- Pourquoi une **mesure rapide** de la luminosité avec une précision de  **$10^{-3}$  en 1 ms**
- ✓ Corriger des instabilités de faisceau
- ✓ Avoir un feedback sur les paquets avec un fréquence de 100 Hz

## Procédure:

- Etude du processus Bhabha radiatif à angle nul ( $\sigma \sim 200$  mbarn)
- Trouver des positions optimales des capteurs dans chaque côté
- Etude du signal dans le diamant
- Préparation d'un Readout et d'électronique rapide
- Etude du bruit de fond d'un faisceau (Bremsstrahlung) et le signal dans le diamant
- Installation de set-up au KEK en Decembre 2015
- Analyses des données



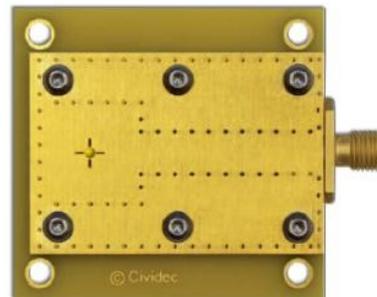
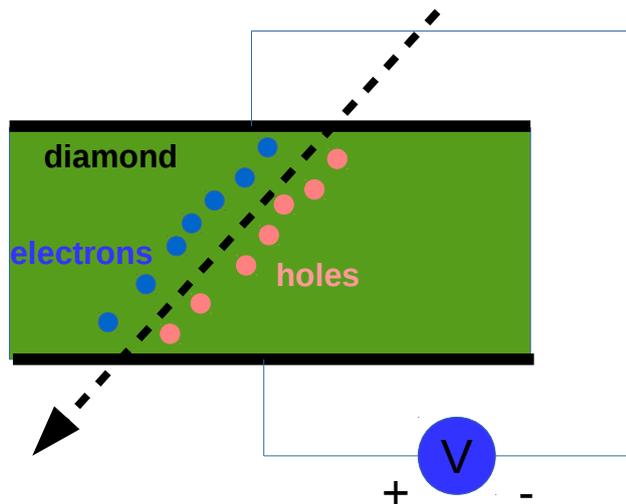
# Capteur Diamant

## → Principales caractéristiques :

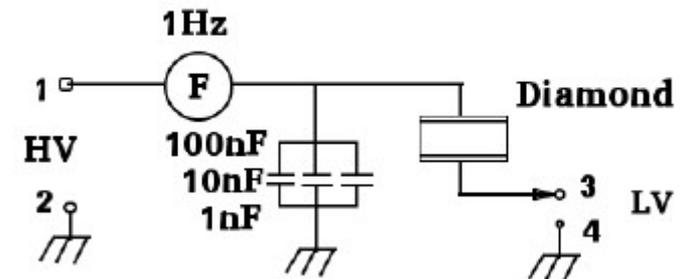
- Une grande “band-gap” ----> **un faible courant de fuite**
- Une grande mobilité -----> **une rapide collection de charge**
- Une grande conductivité thermique
- Une énergie de liaison élevée -----> **radiation hardness**
- Une impulsion très rapide -----> **quelques ns**

## → Fonctionnement (très simple):

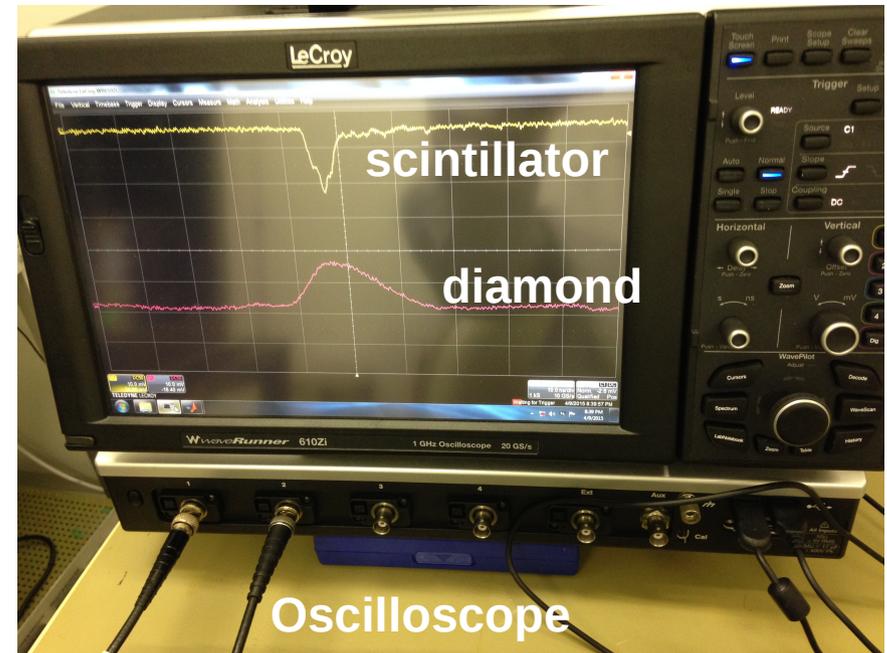
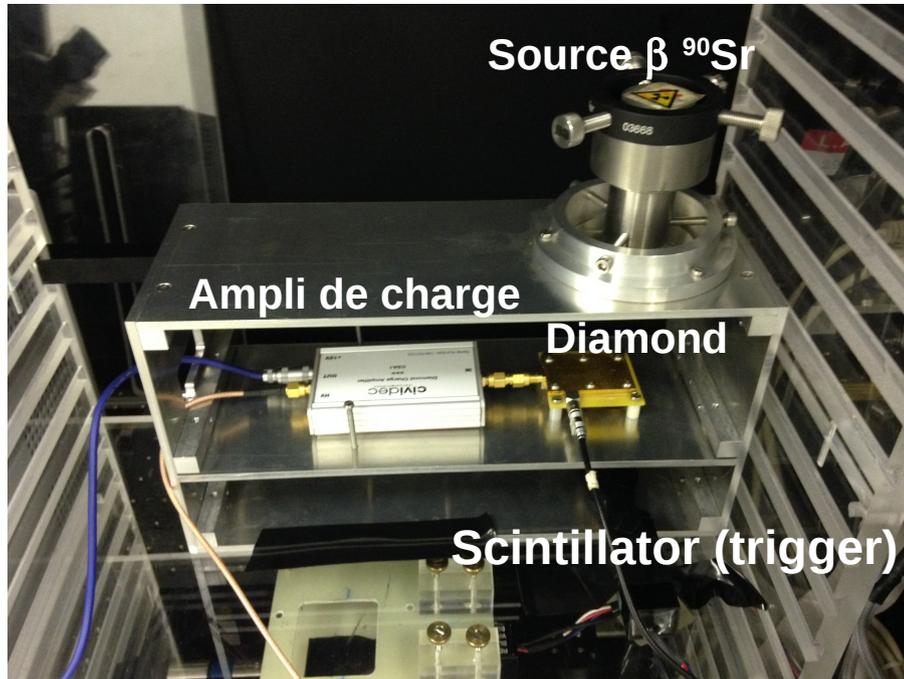
- Une particule chargée crée des paires e<sup>-</sup>/h en traversant le diamant
- Une haute tension appliquées sur les électrodes sépare les deux charges
- Un signal est lu sur l'oscilloscope avec amplification



Capteur diamant cividec



# Tests @ Salle Blanche



## Le but des tests:

- Caractérisation de diamant ( **Reconstruction de Landau** )
- Caractérisation de l'ampli de charge ( $\sigma=10$  ns)( **Largeur de signal, Position du maximum du signal** )

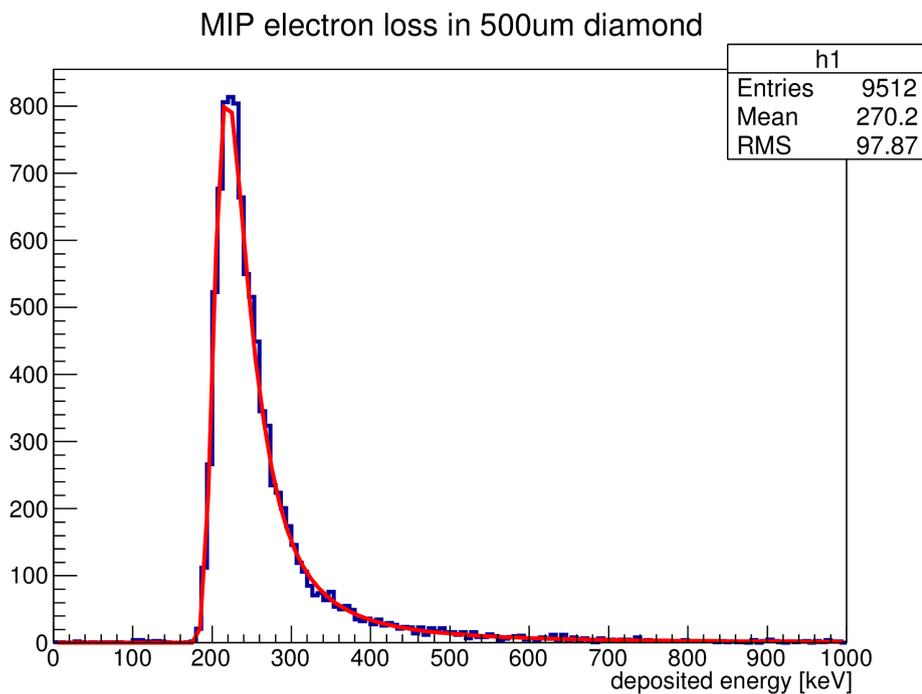
## Pourquoi?

- On a besoin de vérifier que la position du max de signal ne bouge pas significativement et ne dépend pas du maximum de signal
- Savoir si l'amplitude de sortie dépend de la largeur de signal à l'entrée ( en changeant l'angle du diamant ou en utilisant un diamant plus mince ( 140  $\mu\text{m}$  ) )

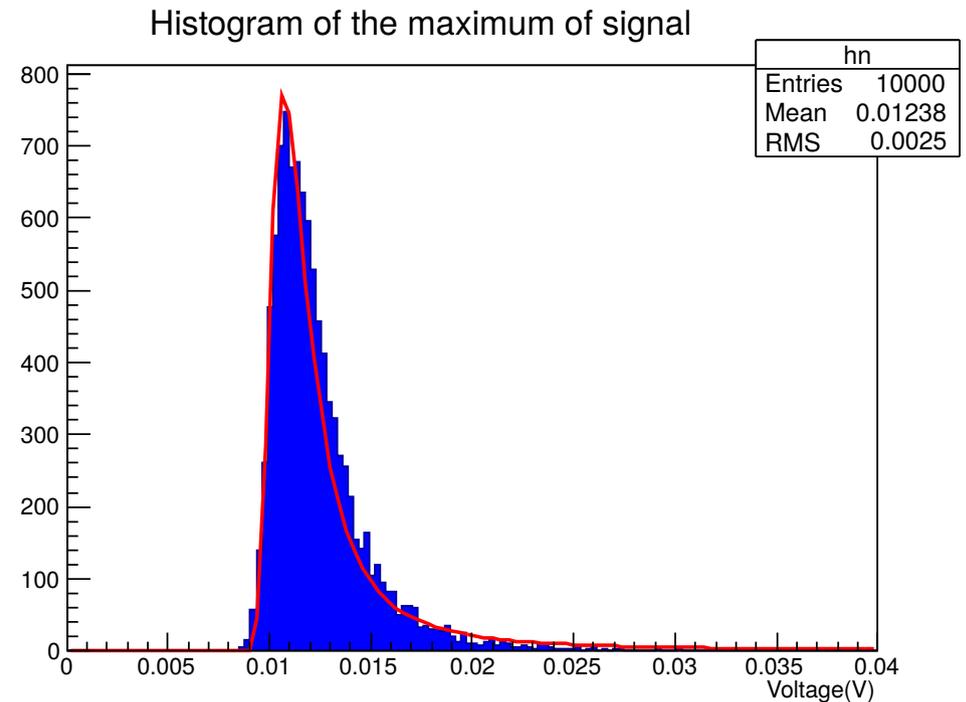
# Signal de diamant

- La distribution d'énergie déposée est une 'Landau'
- 1 MIP créé 36 e<sup>-</sup>/h paires par μm
- la largeur du signal dépend de l'épaisseur du diamant

Source bêta <sup>90</sup>Sr ( $E_e = 0.546$  MeV)



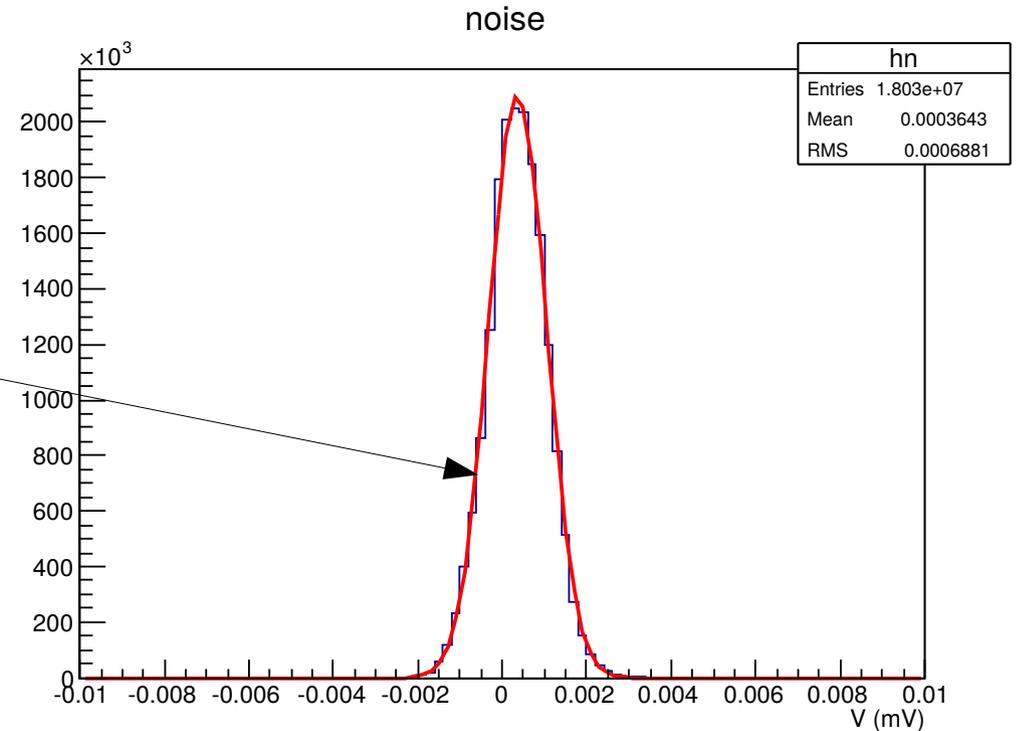
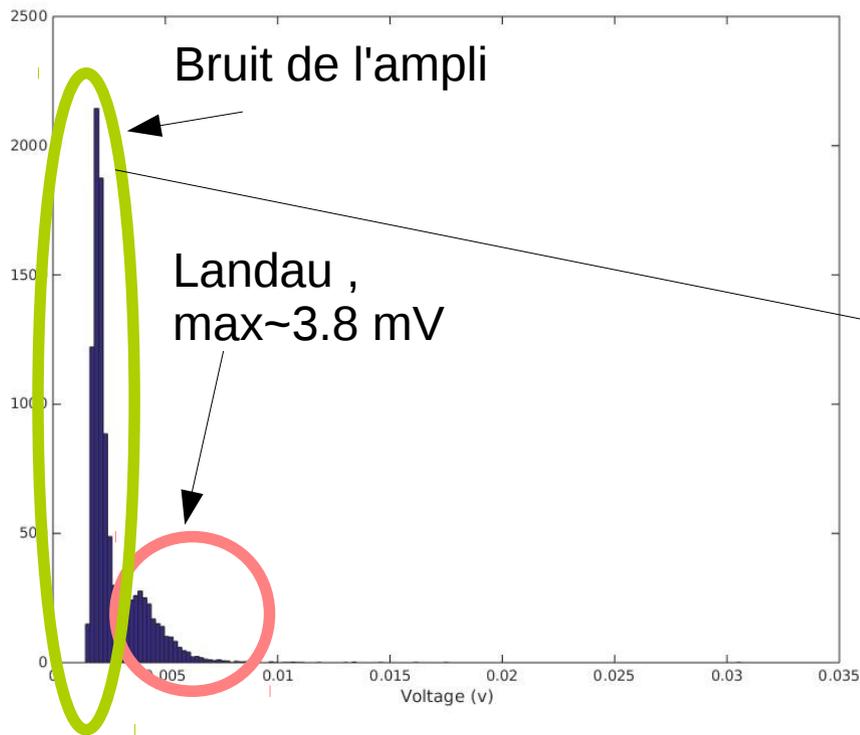
Simulation result (Geant4)



Tests dans la salle blanche @ LAL

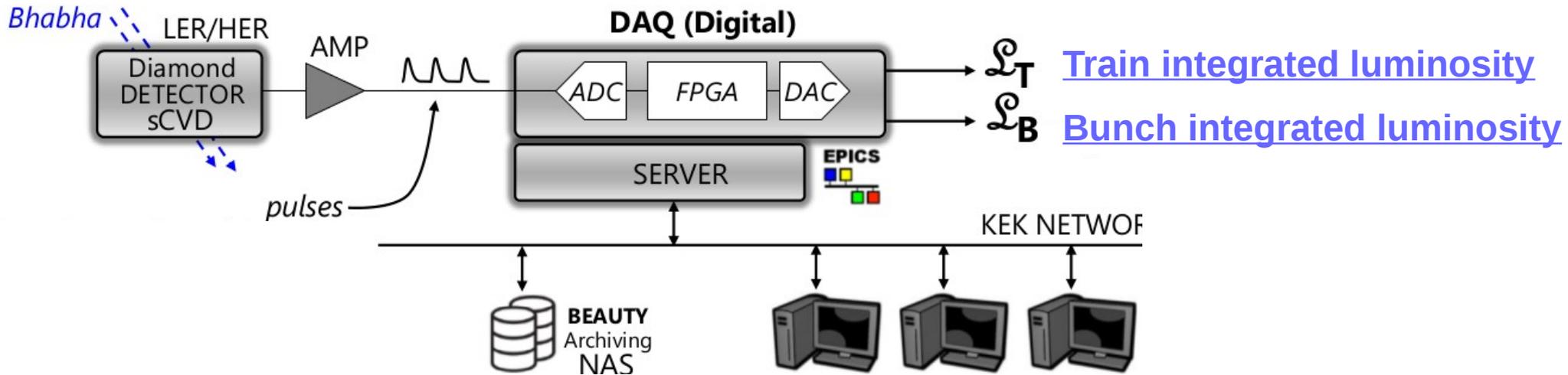
# Analyses des données

→ 140  $\mu\text{m}$  , 5x5 mm<sup>2</sup> capteurs en diamant (trigger sur tous les signaux du scintillateur) (V=-100 V)



→ 1MIP correspond 5040 e<sup>-</sup>/h paires ~ 0.8 fC ~ 3.2 mV

# Readout et Electronique

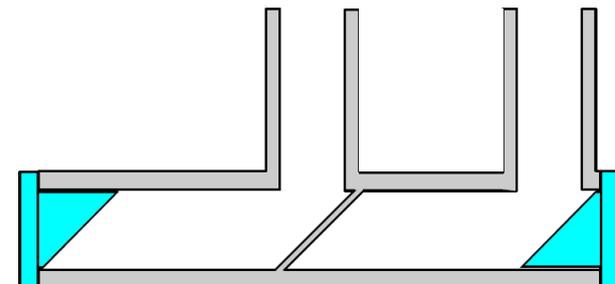
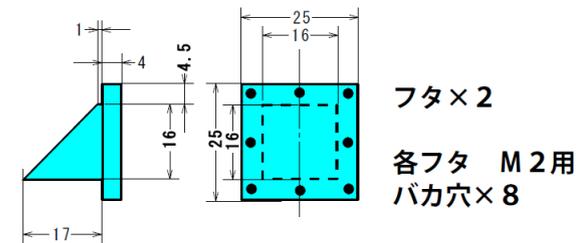
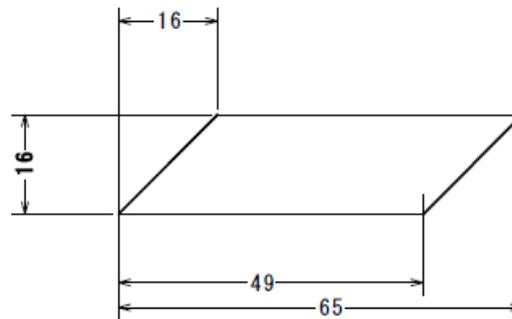
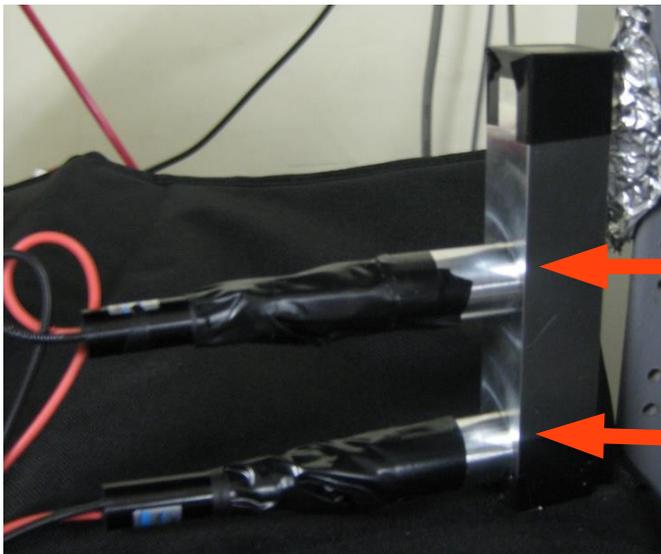


## Le Set-up:

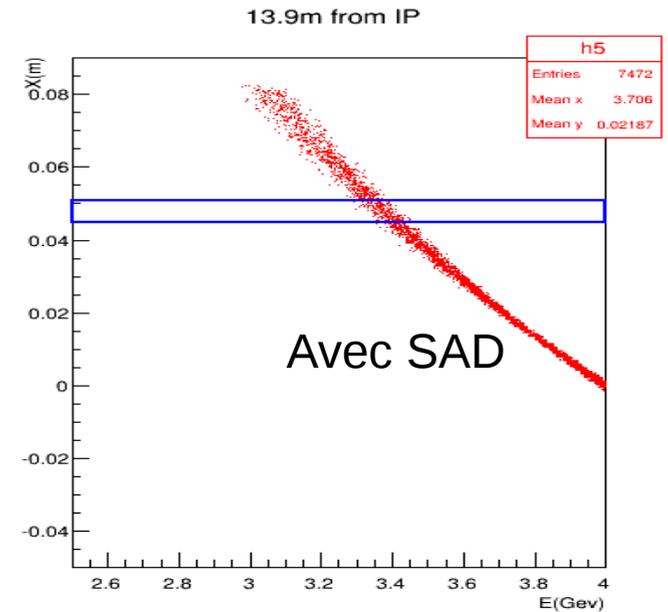
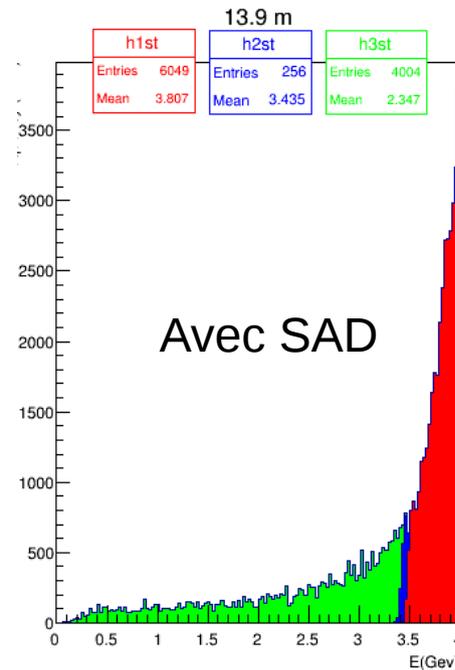
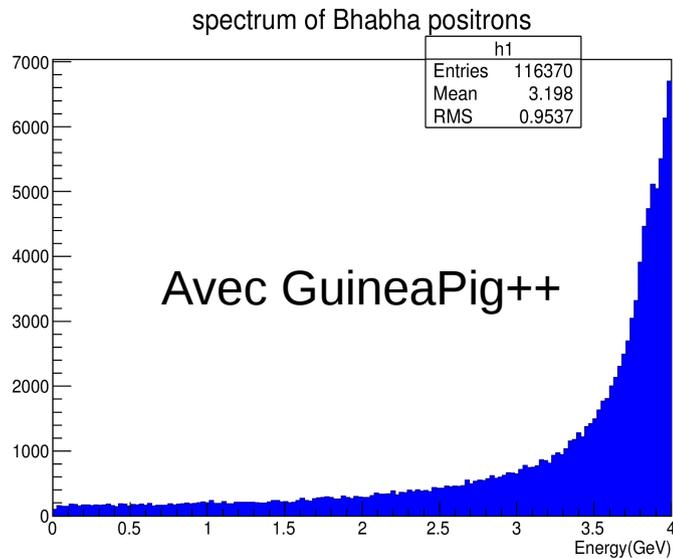
- Un détecteur sCVD (500  $\mu\text{m}$  pour phase1 & 2, 140  $\mu\text{m}$  pour phase3) polarisé par une haute tension
- Un amplificateur de charge cividec (Gain= 4mv/fC,  $\sigma= 10\text{ns}$  )
- Des cables heliax de faible atténuation ( Estimation de 80/100 m )
- DAQ ( ADC-FPGA-DAC)
- 1GSPS échantillonnage pour l'ADC (10 bits) et le DAC (16 bits)
- FPGA pour calculer le  $\mathcal{L}_T$  et le  $\mathcal{L}_B$

# Autre technologie @ KEK : ZDLM

- Fait et dirigé par notre collaborateur au KEK S.Uehara san
- Un scintillateur et un détecteur Cherenkov de même taille et géométrie (15x15x50 mm<sup>3</sup>)
- Fonctionnent séparément ou en coïncidence ( pour éviter des bruit)
- Position: A l'extérieur de la chambre à vide, derrière nos capteurs
- 1 signal correspond à un tracking length supérieur à 15 mm



# Les Etudes dans le LER

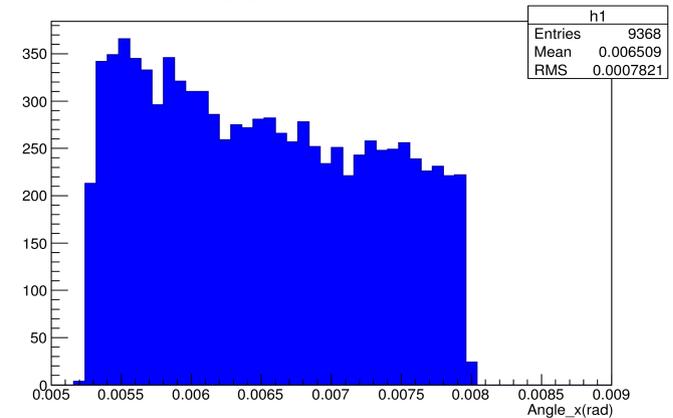
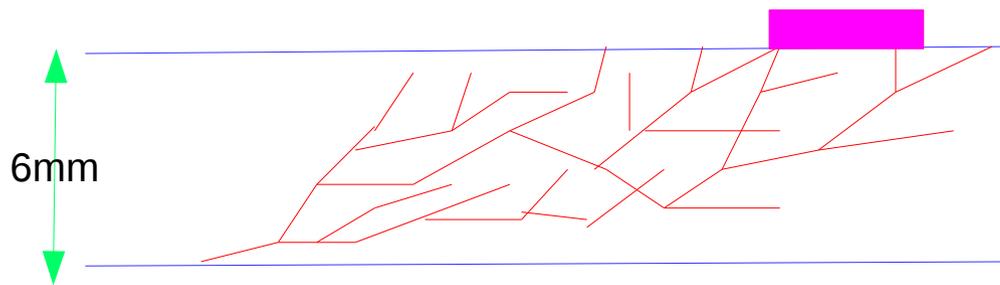


- Les positrons Bhabha de faible énergie sont perdus en aval de l'IP ( après les aimants, quadrupoles, dans les drifts .... )
- A 13.9 m, le taux de positrons Bhabha (4.7% de la section efficace totale) est suffisant et il y a de la place pour les capteurs ( 3m de drift )

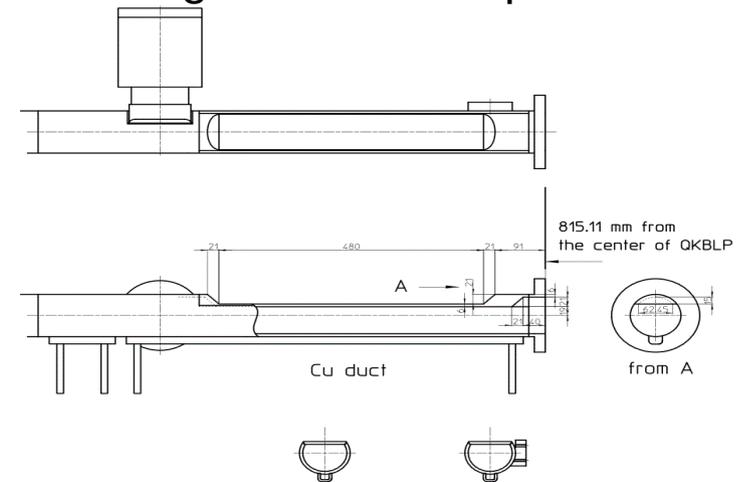
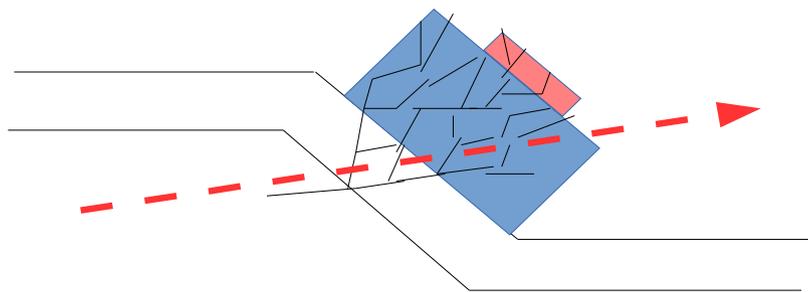
Luminosity ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Aimed precision ( in 1 ms)	Required fraction
$10^{34}$	$10^{-2}$	$2.1 \times 10^{-3}$
$8 \times 10^{35}$	$10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$

# La Géométrie de la Chambre à Vide

- Les positrons sortent de la chambre à vide (6mm Cu) avec un angle moyen de 5 mrad
- Par conséquent, un très faible signal dans le diamant (Précision  $\sim 7\%$ )



Angle de Bhabha positrons

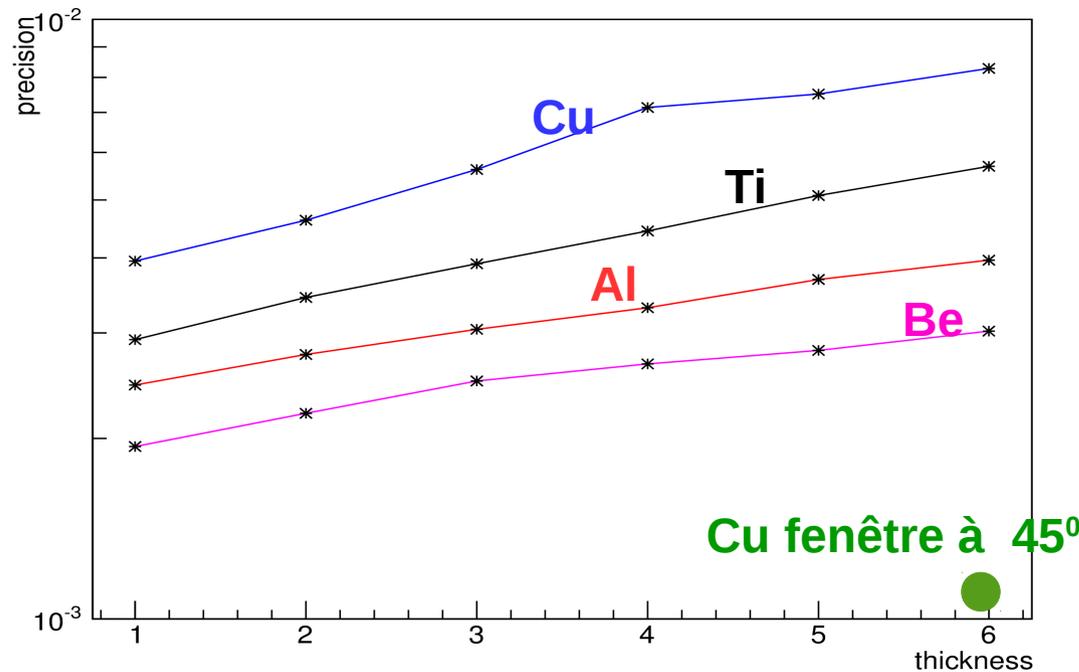


# Résultats

	Luminosity ( $\text{cm}^{-1} \text{s}^{-1}$ )	Required Precision in 1 ms (Nb of particles)	Number of particles collected in 1 ms	Number of particles per bunch crossing
No window	$10^{34}$	$10^{-2}$ ( $> 10^4$ part)	$1.4 \cdot 10^2$	0.00056
No window	$8 \cdot 10^{35}$	$10^{-3}$ ( $> 10^6$ part)	$1.3 \cdot 10^4$	0.052
Window	$10^{34}$	$10^{-2}$ ( $> 10^4$ part)	$4.4 \cdot 10^3$	0.0176
Window	$8 \cdot 10^{35}$	$10^{-3}$ ( $> 10^6$ part)	$3.5 \cdot 10^5$	1.4
Window+Radiator	$10^{34}$	$10^{-2}$ ( $> 10^4$ part)	$1.5 \cdot 10^4$	0.06
Window+Radiator	$8 \cdot 10^{35}$	$10^{-3}$ ( $> 10^6$ part)	$1.2 \cdot 10^6$	4.8

# D'autres matériaux??

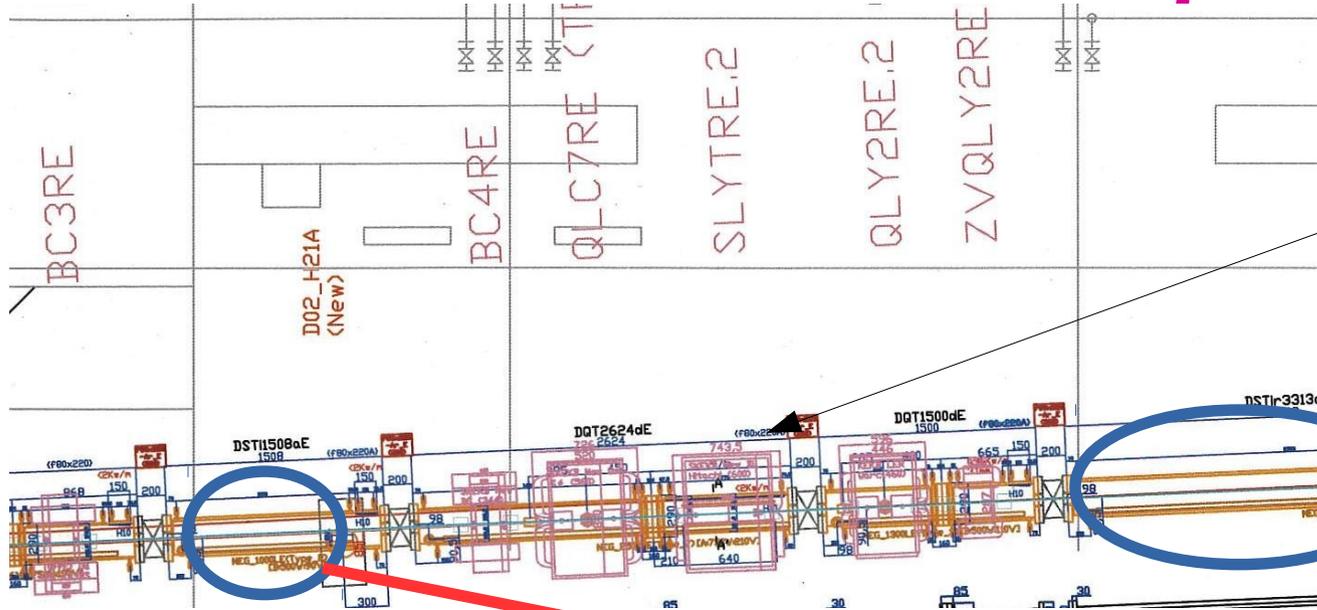
- La fenêtre est coûteuse et peut générer des instabilités pour le faisceau !
- Possibilité de faire une chambre à vide avec d'autres matériaux (**Cu, Be, Ti, Al**)
- Simulation complète pour différents matériaux et géométrie de la chambre à vide ...  
( + études de ZDLM)



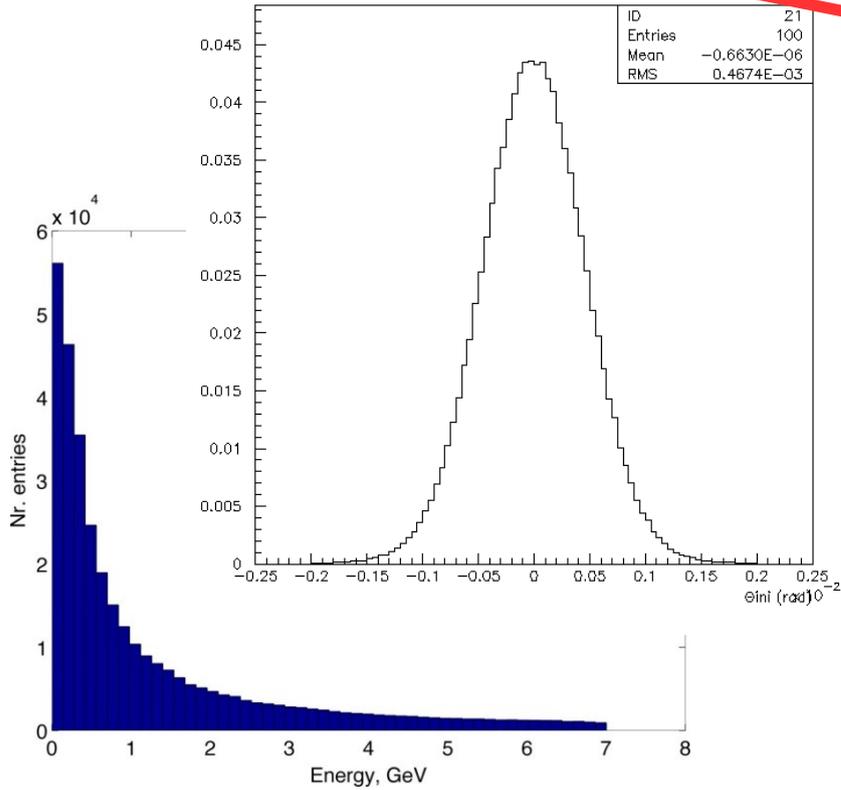
Pour ZDLM: Pour un 6mm Cu chambre à vide:

- détecteurs indépendants: précision améliorée d'un facteur 4 par rapport au diamant
- détecteurs en coïncidence: précision deux fois moins bonne qu'avec le diamant

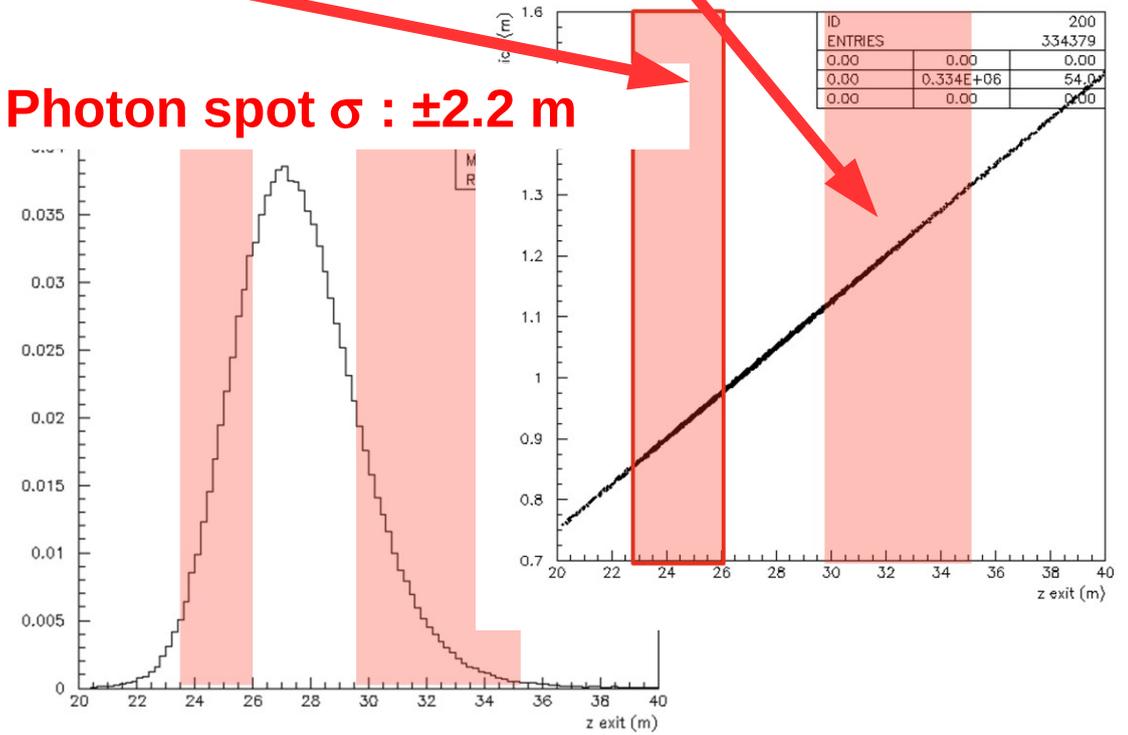
# Sensor locations in HER : $\gamma$ detection?



$\gamma$  spot hits anti-chamber edge at SLYTRE2 (~ 27.4m downstream IP), with a mean angle of 5.9 mrad



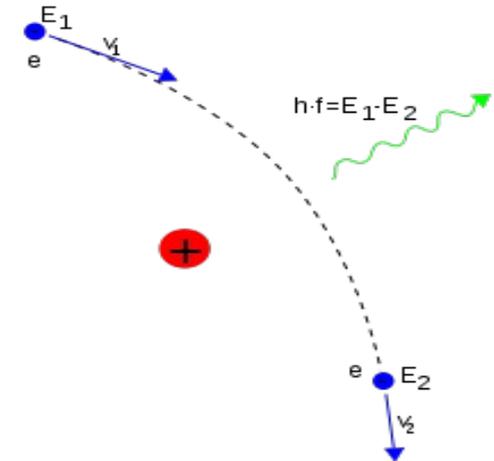
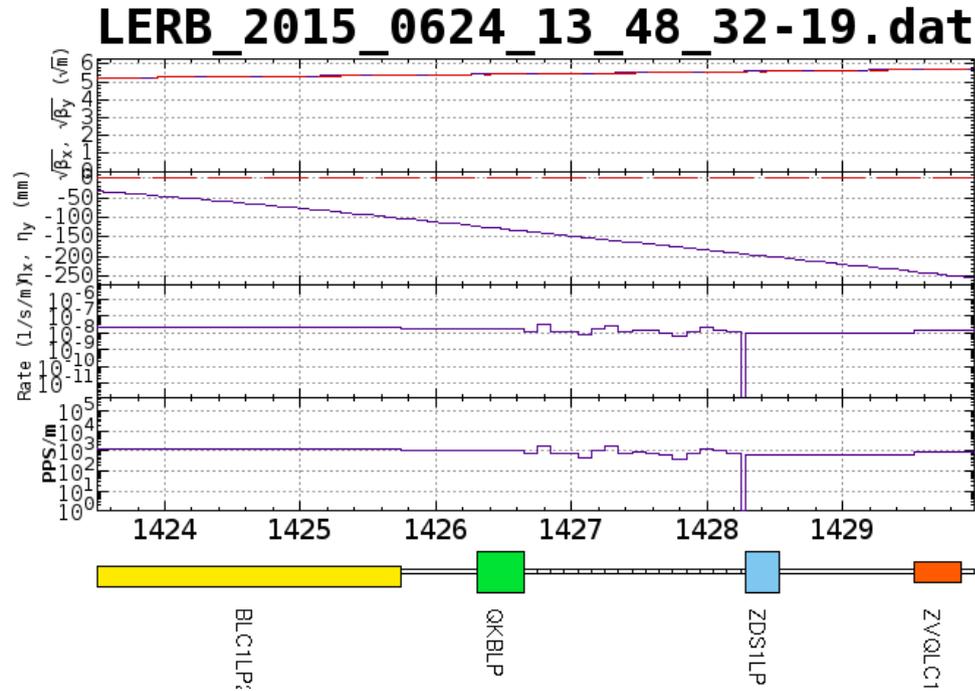
Photon spot  $\sigma$  :  $\pm 2.2$  m



# Bremsstrahlung

→ Phase 1, pas de collision -----> Etude de Bruit de fond ( Brems, Touscheck, Coulomb)

→ A 13m, notre signal est-il contaminé par du bruit de fond single beam?



**Très très préliminaires !!!!**

**Sachant que le vide est meilleur en Phase 2 (1nTorr), Il y aura moins de pertes de Bremsstrahlung que les Bhabha**

Process	Loss rate in 1.65 m (PPS)	Number of particles in the sCVD per second per bunch
Brems @ phase1 (1000 bunch) @ 10 nTorr	$2.605 \times 10^7$	232
Bhabha @ phase 2 ( $L=10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) (2500 bunch)	$2 \times 10^7$	178

# Conclusions

- La monitoring rapide est très importante pour un feedback et pour l'optimisation
- Dans le LER, les capteurs seront installés à 13m en aval de la chambre à vide. Pour le HER, l'étude des photons est en cours.
- Le meilleur design de la chambre à vide est une fenêtre à 45° pour phase 2
- Les analyses Bremsstrahlung sont en cours
- Les analyses des données de tests dans la salle blanche sont en cours. 3 Ampli de charge et 3 sCVD ( 500  $\mu\text{m}$  ) sont arrivés au LAL, et on prévoit de les tester très bientôt
- Le 'Readout' est toujours sous préparation et l'installation du setup est prévu en Décembre 2015
- La prise de données commencera en Février 2016 pour le commissioning de SuperKEKB @ Phase 1 ( Février à Mai 2016)

# Back-up

# Résultats

Beam pipe Design, diamond @ 90°	Precision in 1 ms @ phase 2	Precision in 1 ms @ phase 3
Cu @ 1 mm	$2.7 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-3}$
Al @ 1 mm	$1.7 \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-3}$
Ti @ 1 mm	$2 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-3}$
Be @ 1 mm	$1.3 \times 10^{-2}$	$1.9 \times 10^{-3}$
Cu window at 45°	$7.5 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$

Précision =  $\frac{1}{\sqrt{N}}$ ,  $N = 4.7 \% \times L \times \sigma \times (N_{\text{diamond}} / N_{\text{exiting}})$ ;  $L$  = Luminosity,  $\sigma$  = cross-section,  $N_{\text{diamond}}$  = number of incident particles in the diamond per b.c,  $N_{\text{exiting}}$  = total number of exiting particles over 3 m

→ **La fenêtre est le meilleur cas ! Et C'EST POSSIBLE !**