

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**

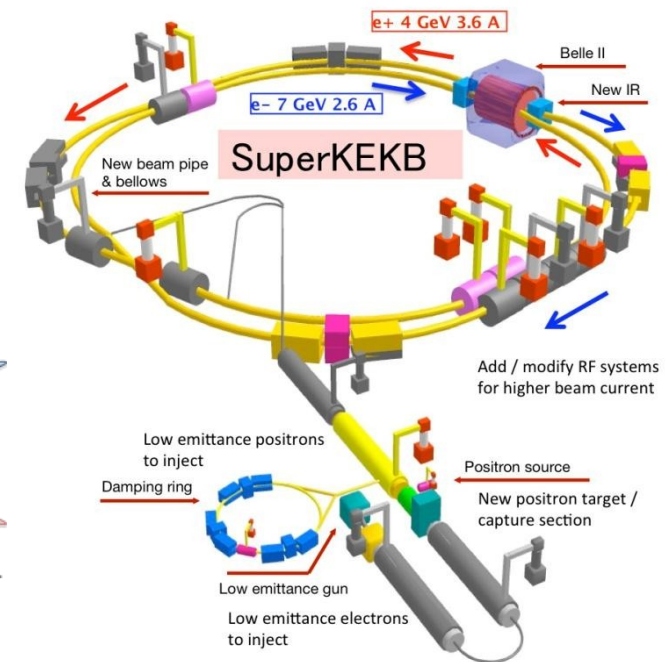
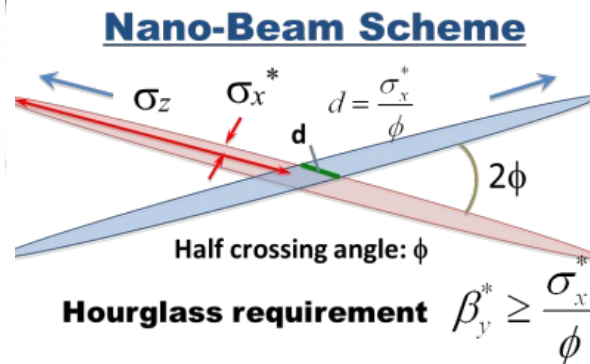
✓ **Conclusions**

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 σ_x^* et σ_y^* à l'IP grâce au nano-beam scheme (Raimondi, SuperB)
- $N_b=2500$ paquets @ 250 MHz, 1Tour= 10^{-5} 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	7007	4	7007	GeV
Half crossing angle	ϕ	41.5		41.5		mrad
# of bunches	N	2500		2500		
Horizontal emittance	ϵ_x	2.2	5.2	3.2	4.6	nm
Emittance ratio	κ	2	2	0.27	0.28	%
Beta functions at IP	β_x^*/β_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.	ξ_y	0.024	0.0257	0.088	0.081	
Horizontal Beam Size	σ_x^*	16.8	22.8	10	11	um
Vertical Beam Size	σ_y^*	0.308	0.500	0.048	0.062	um
Luminosity	L	1×10^{34}		8×10^{35}		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

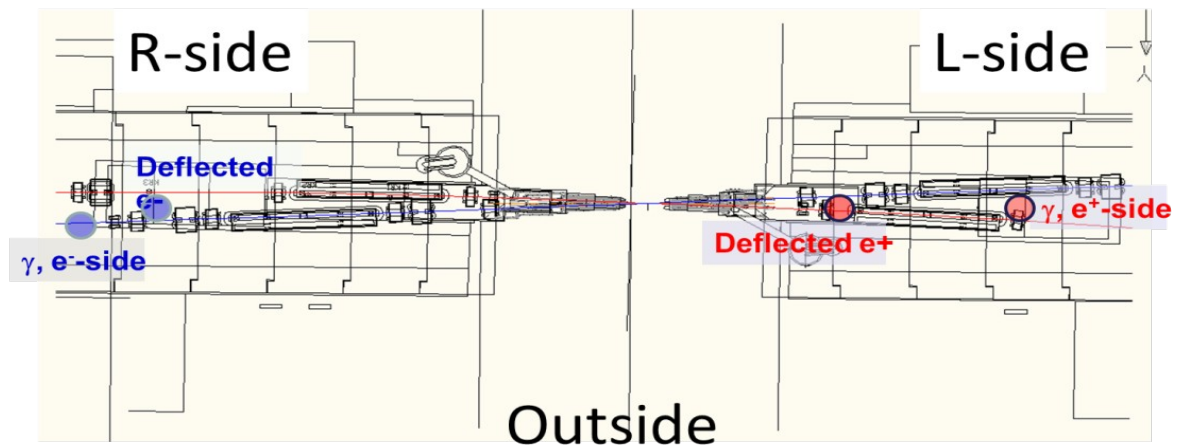
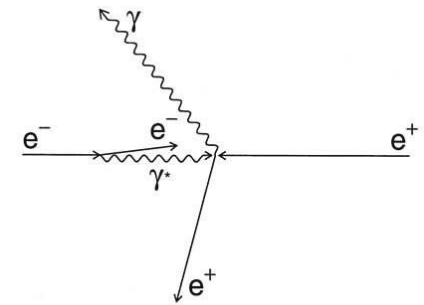


Le but du projet

- 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



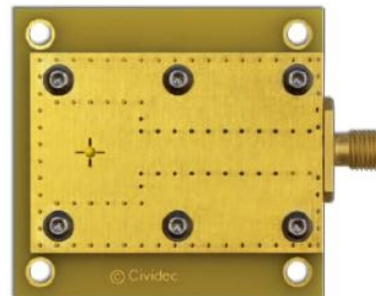
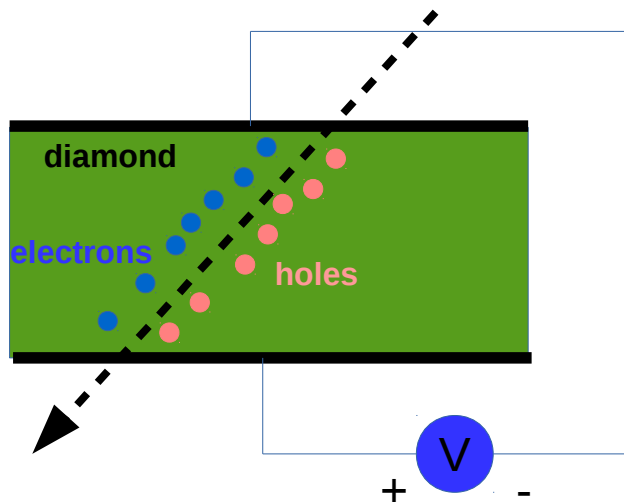
Capteur Diamant

→ Principales caractéristiques :

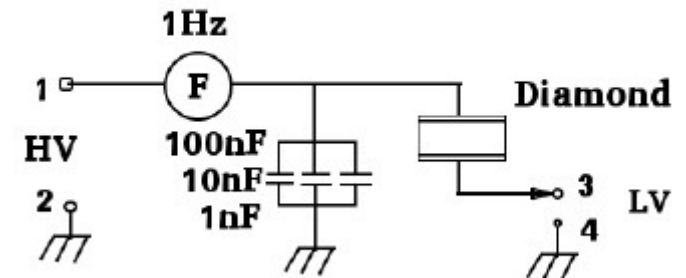
- Une grande “band-gap” ----> **un faible courant de fuite**
- Une grande mobilité -----> **une rapide collection de charge**
- Une grande conductivité thermique
- Une énergie de liaison élevée -----> **radiation hardness**
- Une impulsion très rapide -----> **quelques ns**

→ Fonctionnement (très simple):

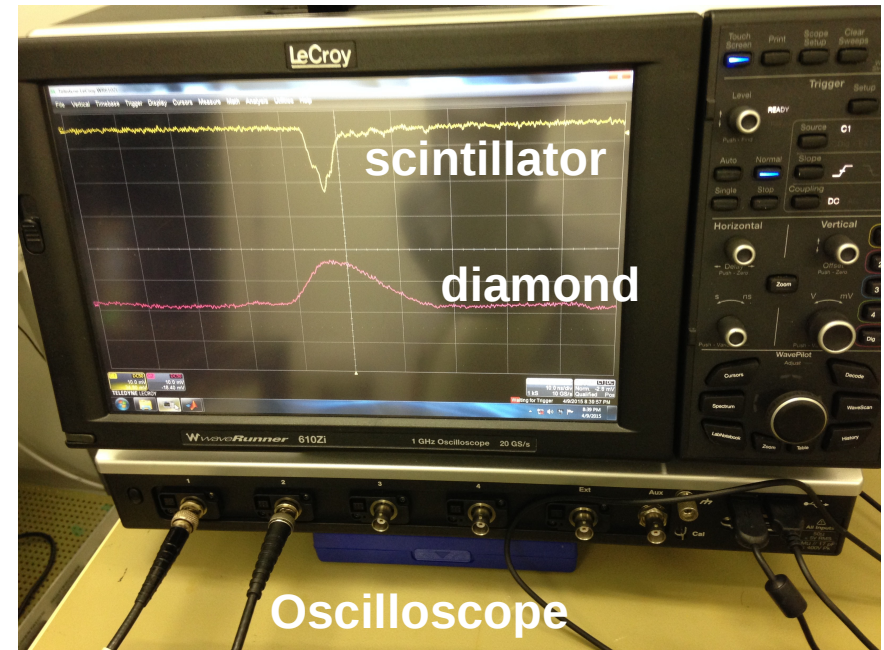
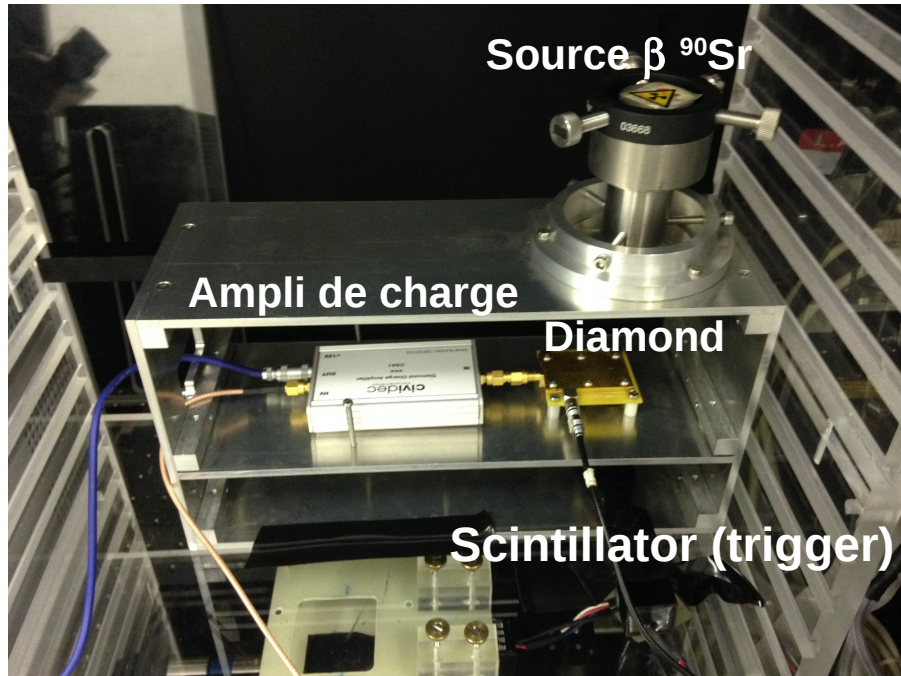
- Une particule chargée crée des paires e⁻/h en traversant le diamant
- Une haute tension appliquées sur les électrodes sépare les deux charges
- Un signal est lu sur l'oscilloscope avec amplification



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**)

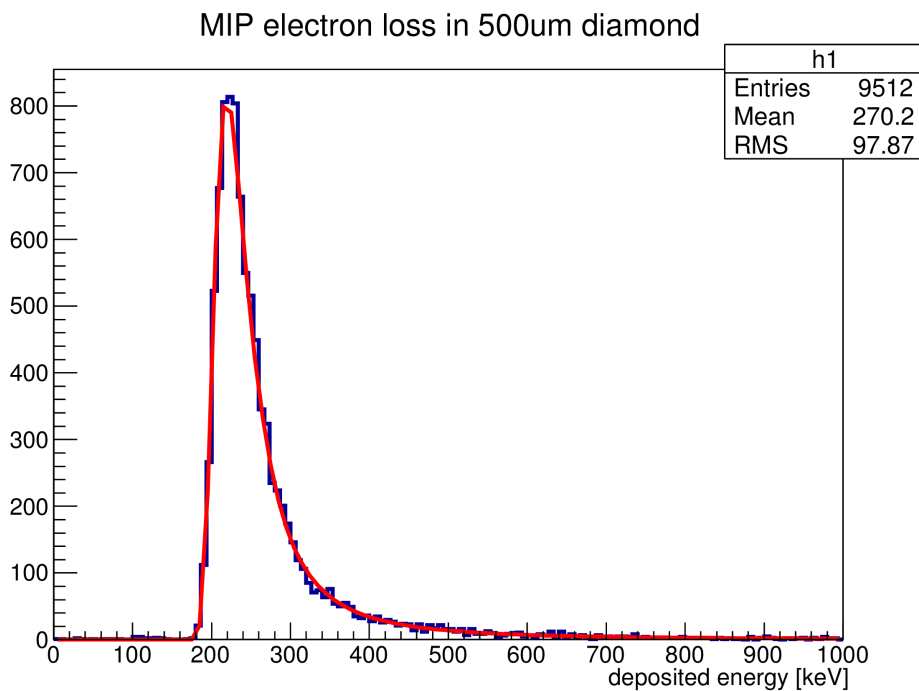
Pourquoi?

- 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 μm))

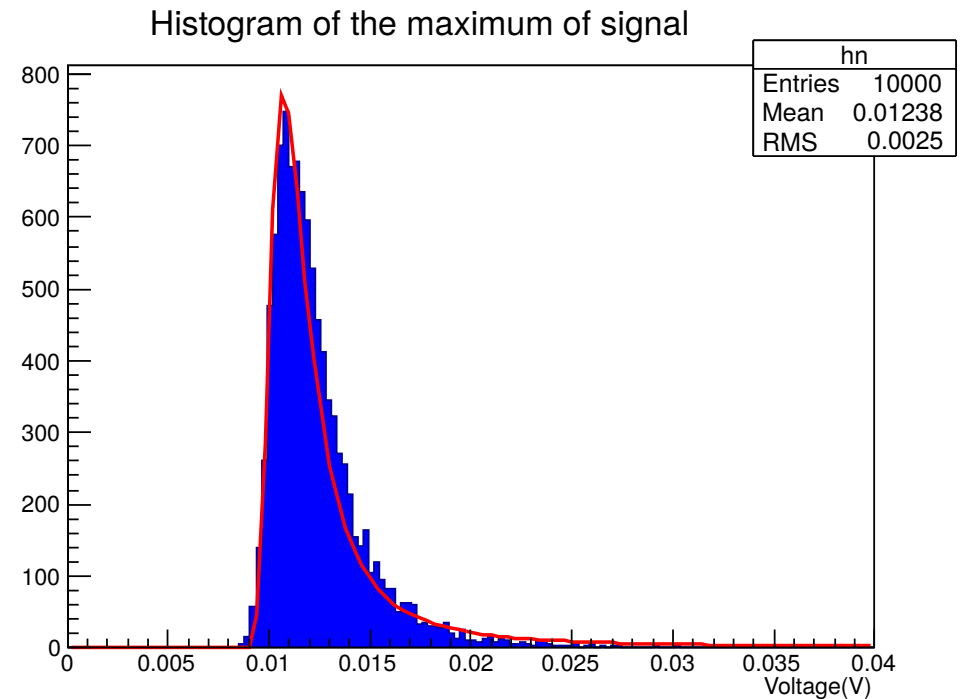
Signal de diamant

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

Source bêta ⁹⁰Sr ($E_e = 0.546$ MeV)



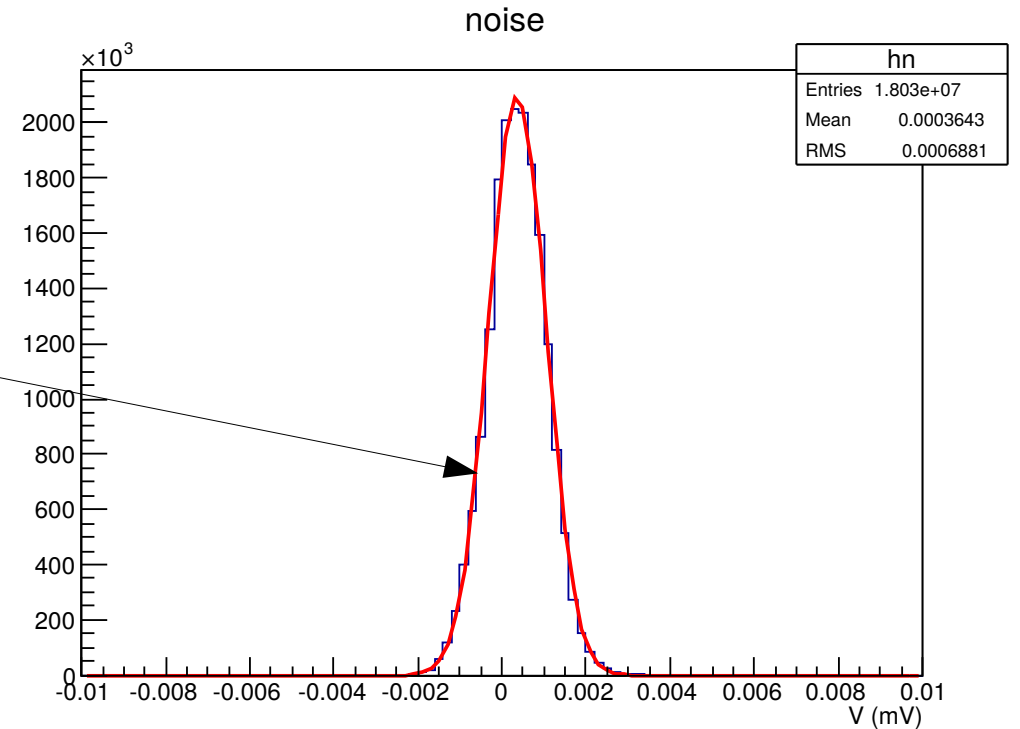
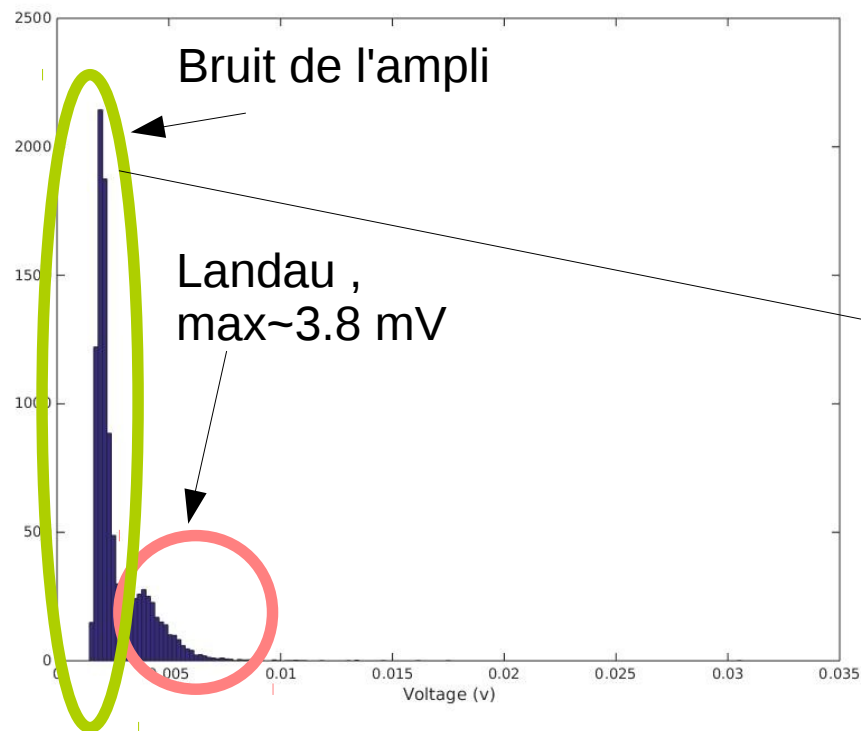
Simulation result (Geant4)



Tests dans la salle blanche @ LAL

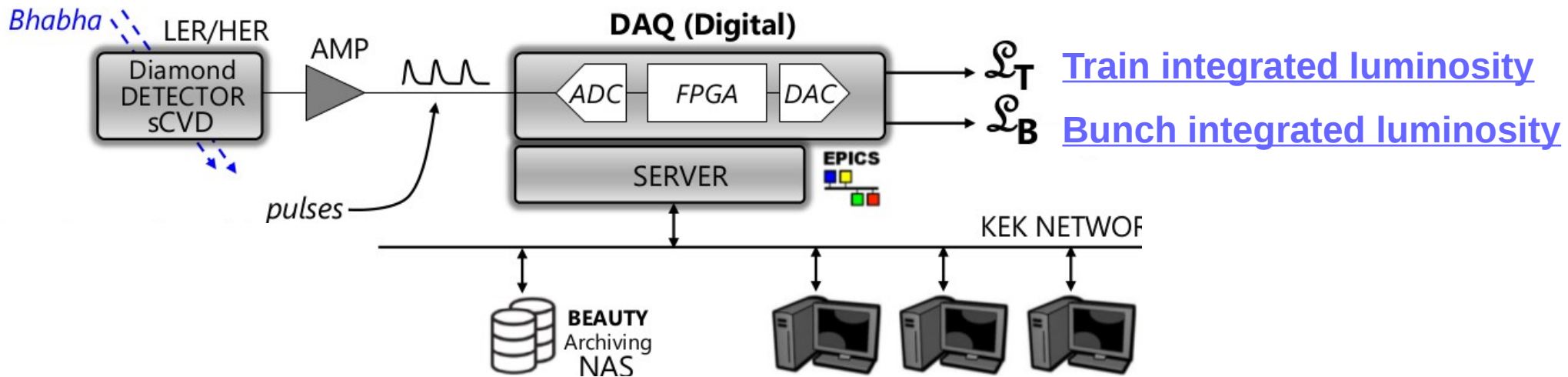
Analyses des données

→ 140 μm , 5x5 mm² capteurs en diamant (trigger sur tous les signaux du scintillateur) (V=-100 V)



→ 1MIP correspond 5040 e⁻/h paires ~ 0.8 fC ~ 3.2 mV

Readout et Electronique

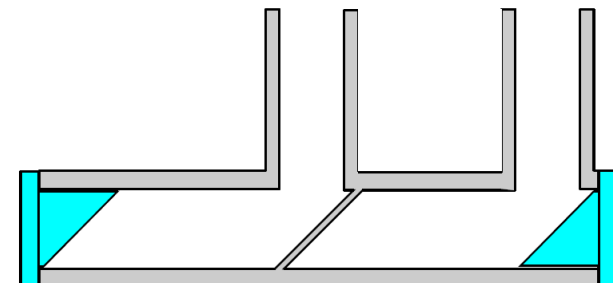
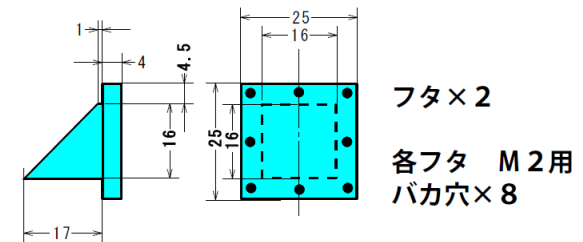
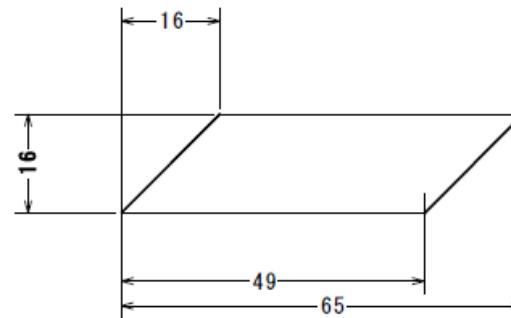
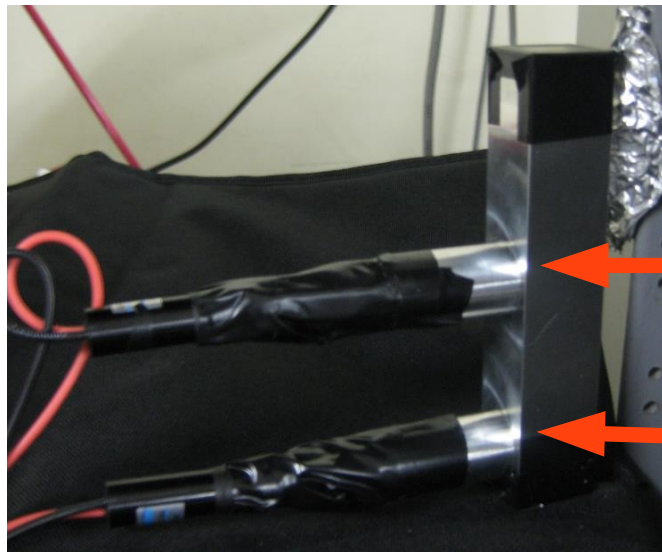


Le Set-up:

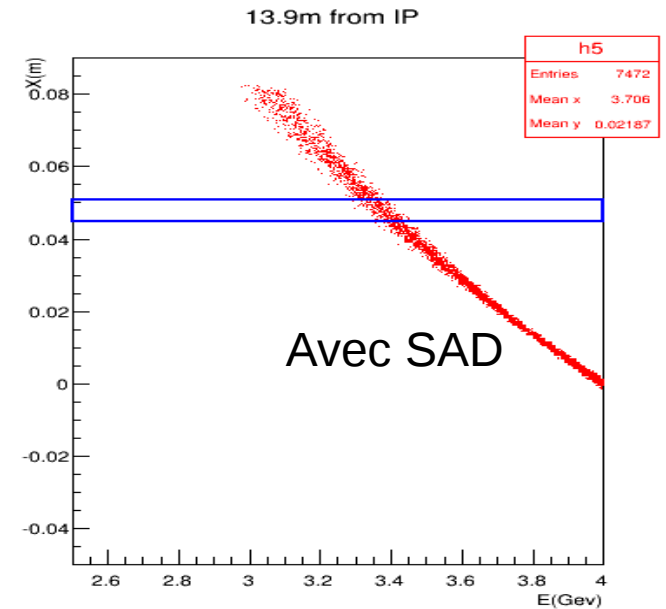
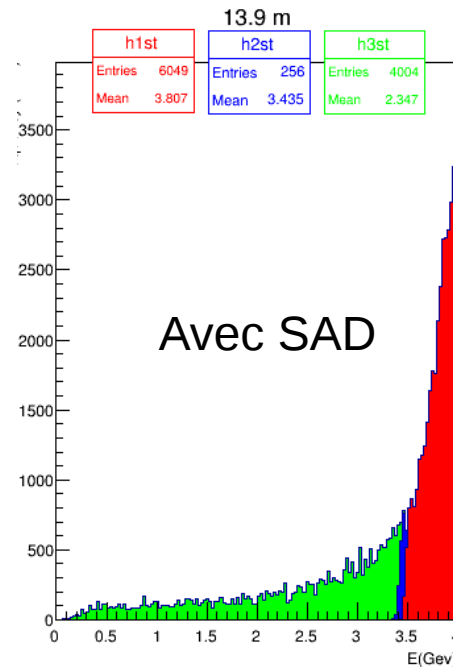
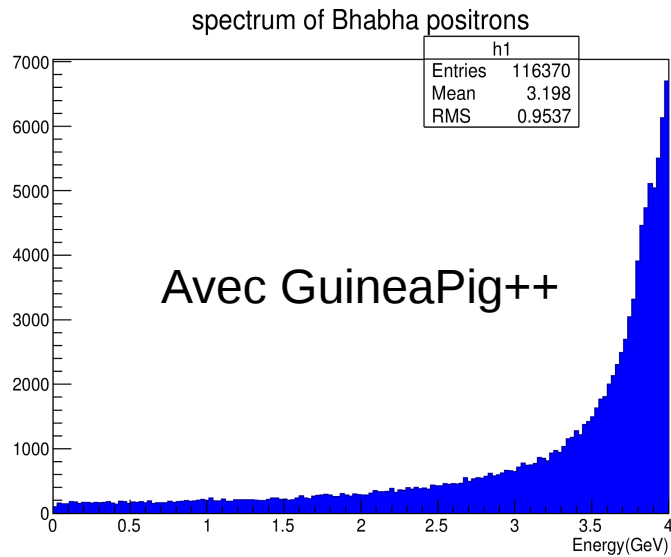
- Un détecteur sCVD (500 μm pour phase1 & 2, 140 μm pour phase3) polarisé par une haute tension
- Un amplificateur de charge cividec (Gain= 4mv/fC, $\sigma= 10\text{ns}$)
- Des cables heliax de faible atténuation (Estimation de 80/100 m)
- DAQ (ADC-FPGA-DAC)
- 1GSPS échantillonnage pour l'ADC (10 bits) 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 mm³)
- 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

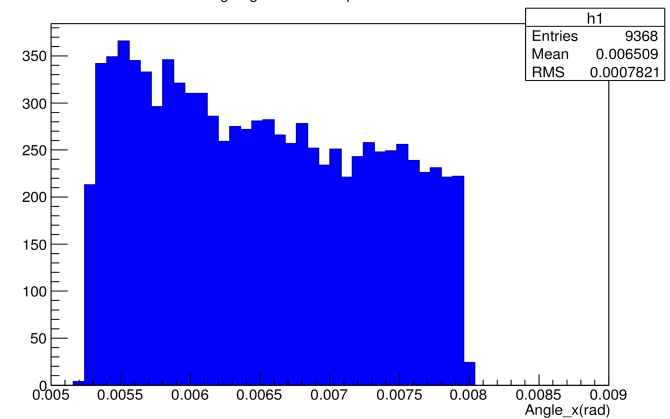
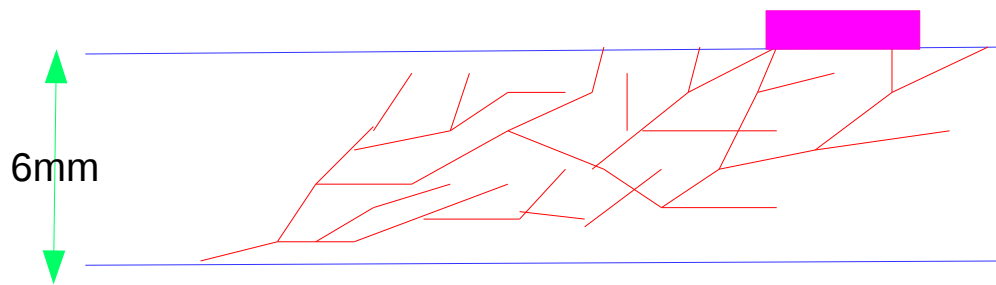


- Les positrons Bhabha de faible énergie sont perdus en aval de l'IP (après les aimants, quadrupoles, dans les drifts)
- A 13.9 m, le taux de positrons Bhabha (4.7% de la section efficace totale) est suffisant et il y a de la place pour les capteurs (3m de drift)

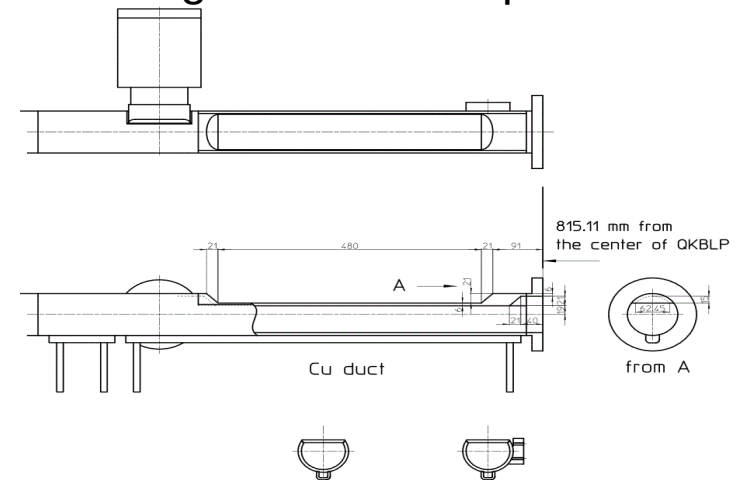
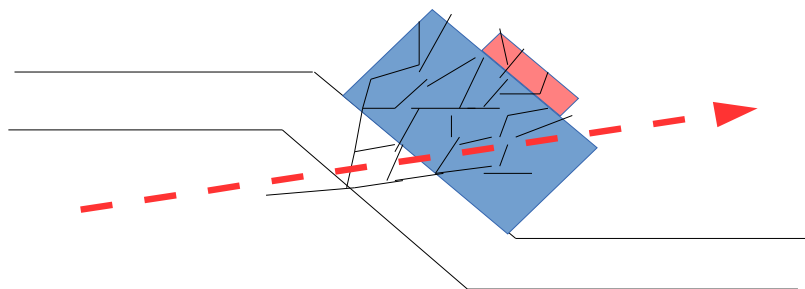
Luminosity ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Aimed precision (in 1 ms)	Required fraction
10^{34}	10^{-2}	2.1×10^{-3}
8×10^{35}	10^{-3}	2.6×10^{-3}

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

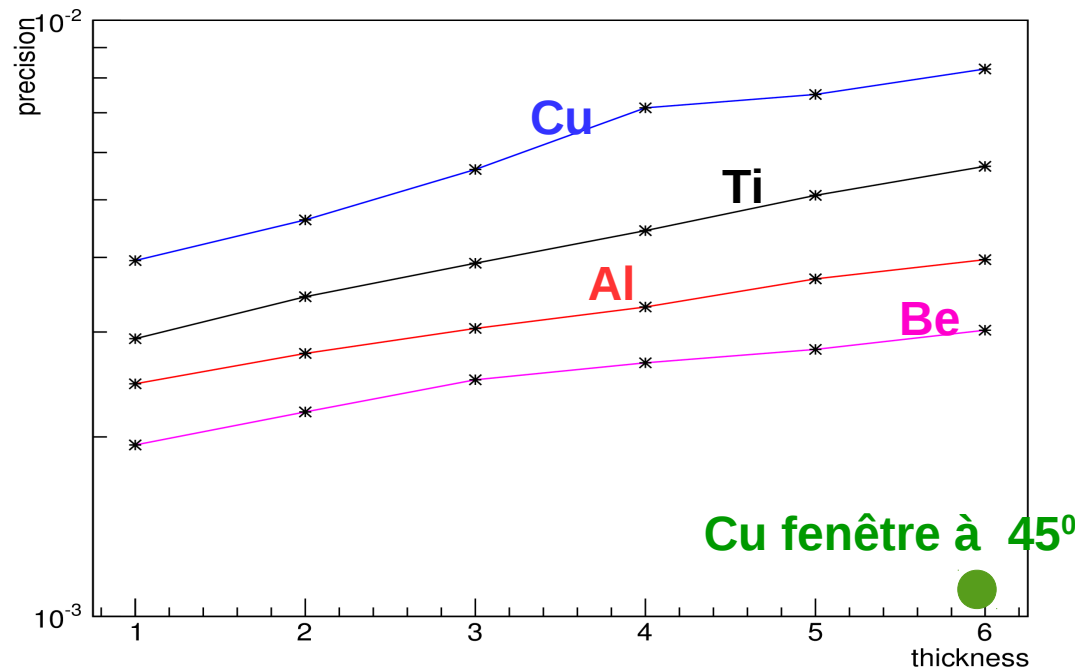


Résultats

	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??

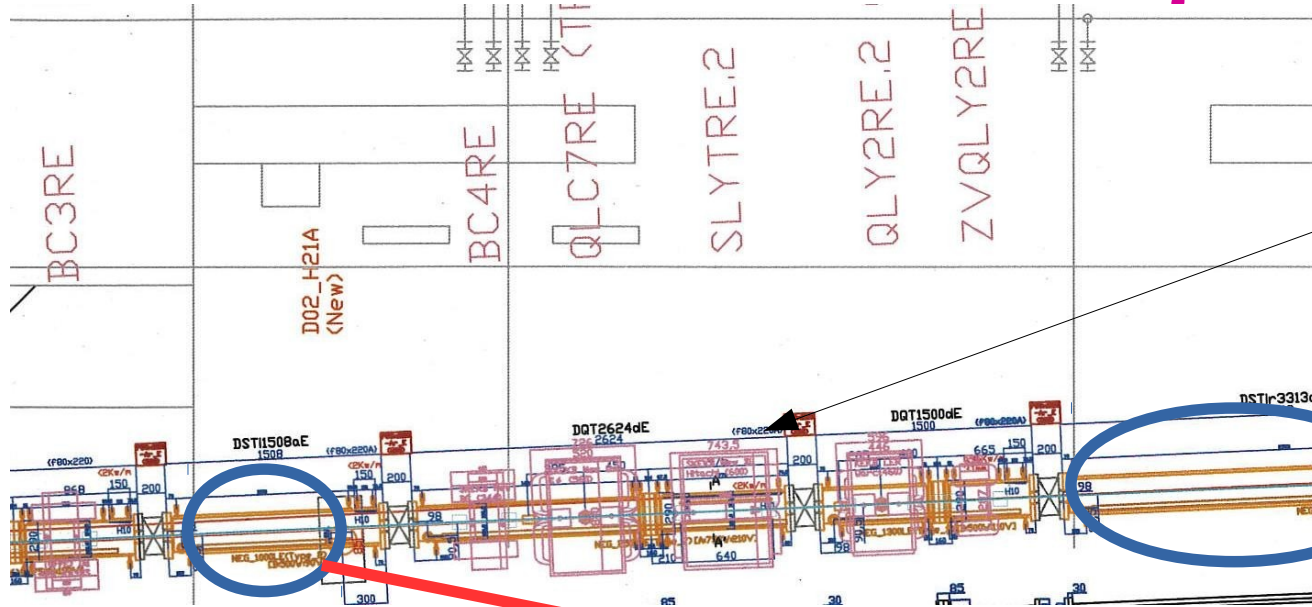
- La fenêtre est coûteuse et peut générer des instabilités pour le faisceau !
- Possibilité de faire une chambre à vide avec d'autres matériaux (**Cu, Be, Ti, Al**)
- Simulation complète pour différents matériaux et géométrie de la chambre à vide ...
(+ études de ZDLM)



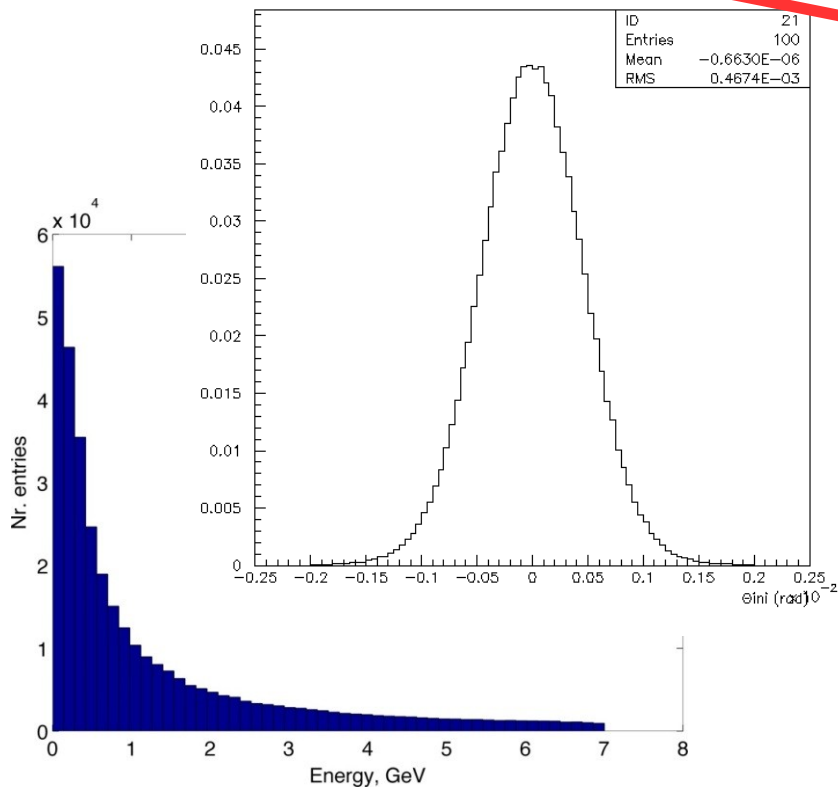
Pour ZDLM: Pour un 6mm
Cu chambre à vide:

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

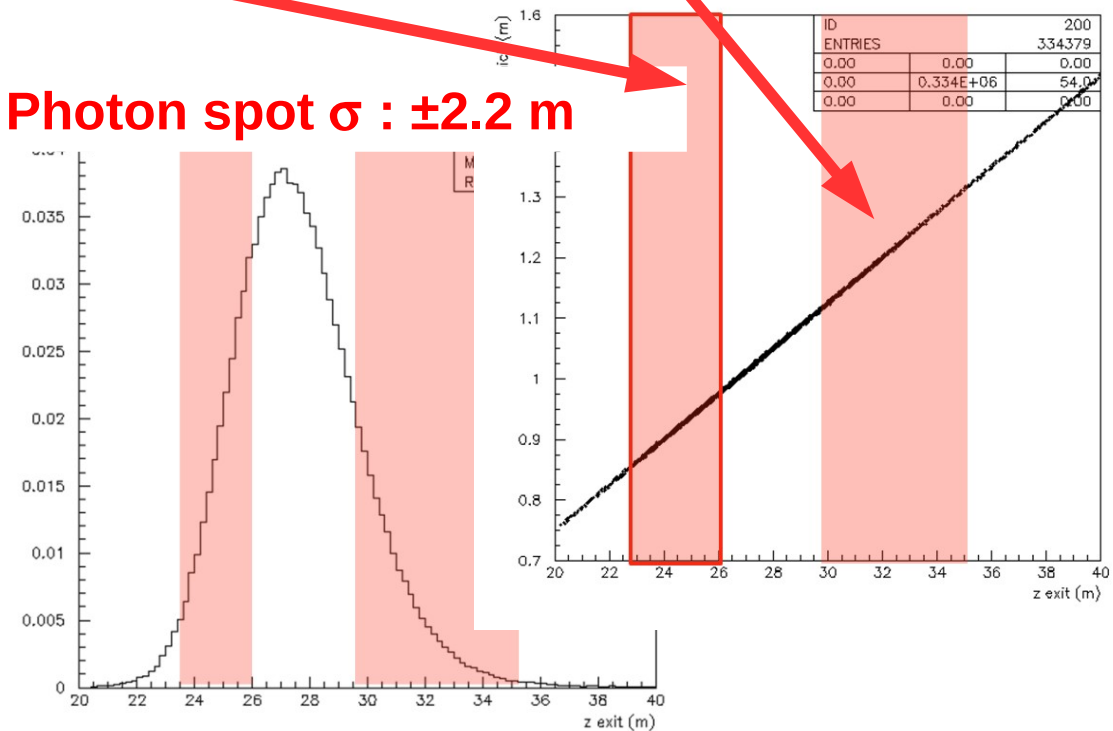
Sensor locations in HER : γ detection?



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



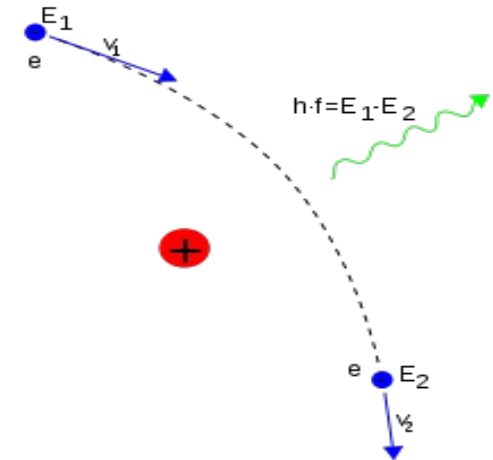
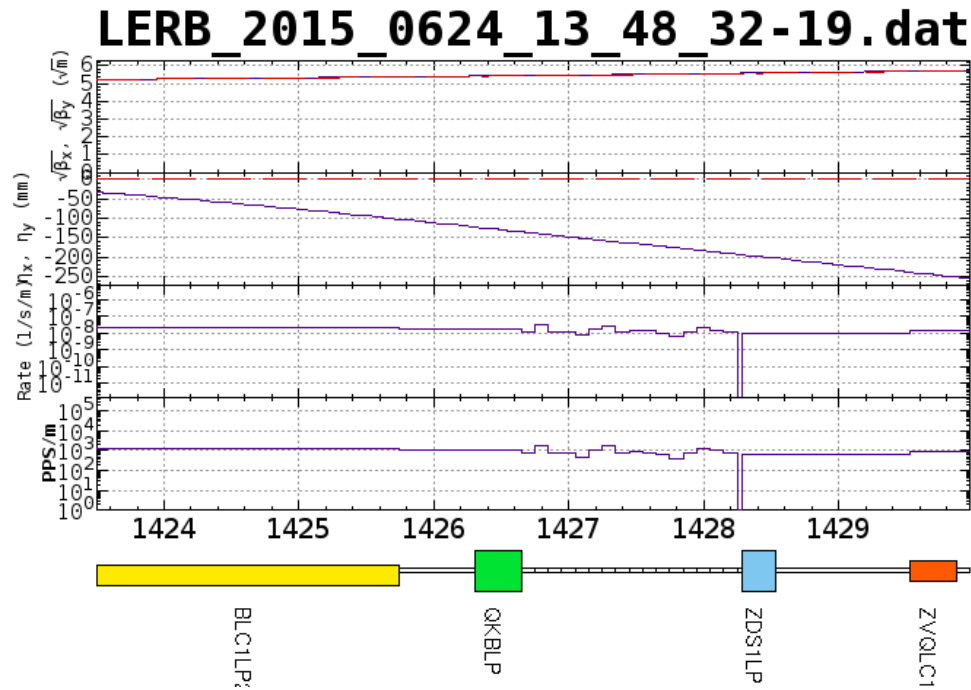
Photon spot σ : ± 2.2 m



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	2.605×10^7	232
Bhabha @ phase 2 ($L=10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) (2500 bunch)	2×10^7	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 μm) 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	2.7×10^{-2}	4×10^{-3}
Al @ 1 mm	1.7×10^{-2}	2.5×10^{-3}
Ti @ 1 mm	2×10^{-2}	3×10^{-3}
Be @ 1 mm	1.3×10^{-2}	1.9×10^{-3}
Cu window at 45°	7.5×10^{-3}	1.1×10^{-3}

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

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