

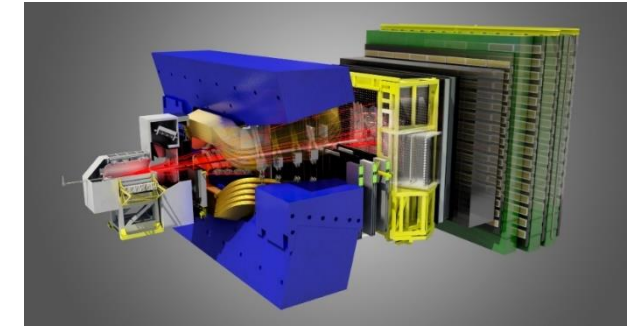
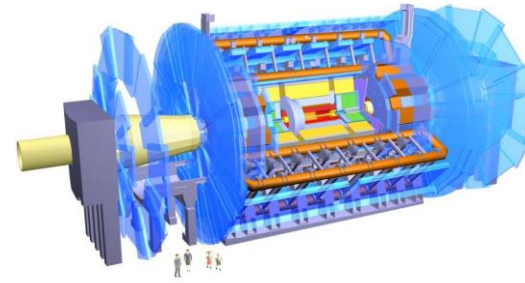
R&D ACCELERATEURS au LAPP

B. Aimard (IR), G. Balik (IR), L. Brunetti (IR), J.P. Baud (T),
A. Dominjon (MC), A. Jeremie (IR), M. Serluca (PosDoc)

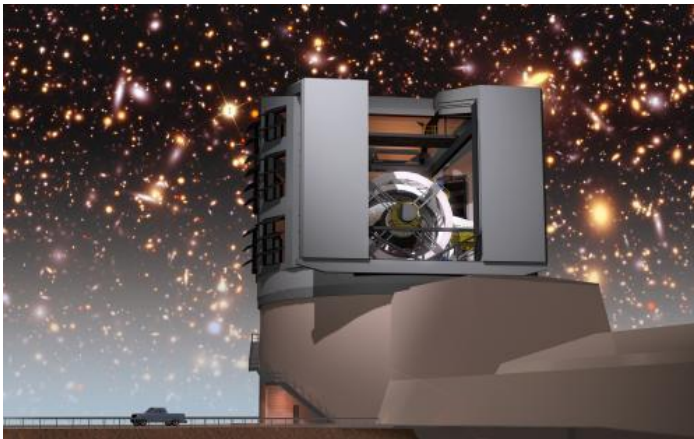
Réunion Annuelle Réseau Instrumentation Faisceau, 27 March 2019

- la physique des particules :

- Implication historique sur les détecteurs
- La R&D accélérateur est une activité “récente” (10 ans) et en cours de développement

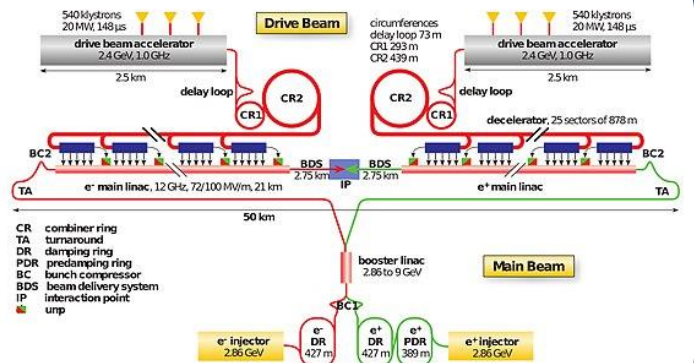
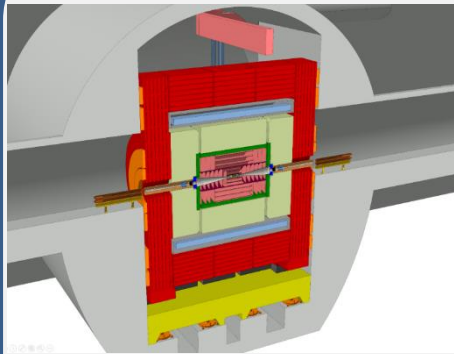


- les astroparticules, la cosmologie et les ondes gravitationnelles :



Accélérateurs linéaires (électron, positron)

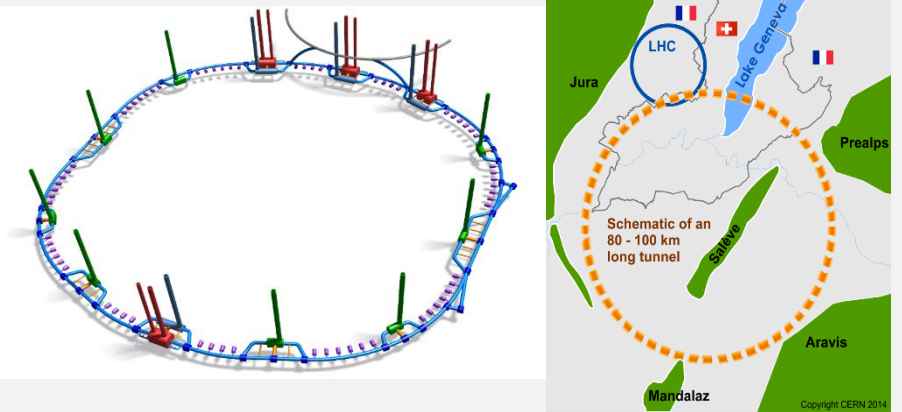
CLIC



CLIC collider project at CERN

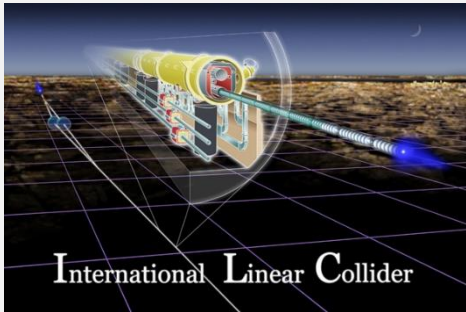
Accélérateurs circulaires (electron, positron, proton)

HE-LHC and FCC hh ee he



FCC project at CERN

ILC



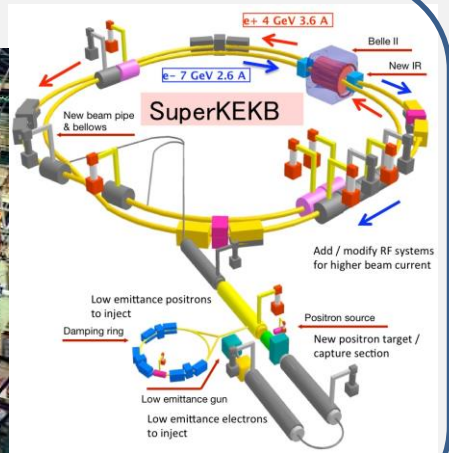
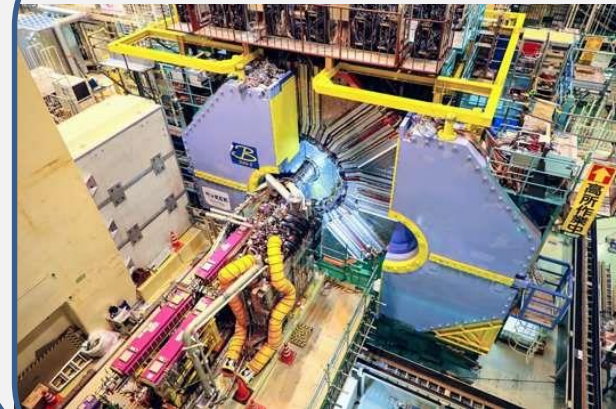
ILC - Collider project in Japan

ATF2



ATF2 - KEK (Japan)
Collider demonstration of ILC

SuperKEKB

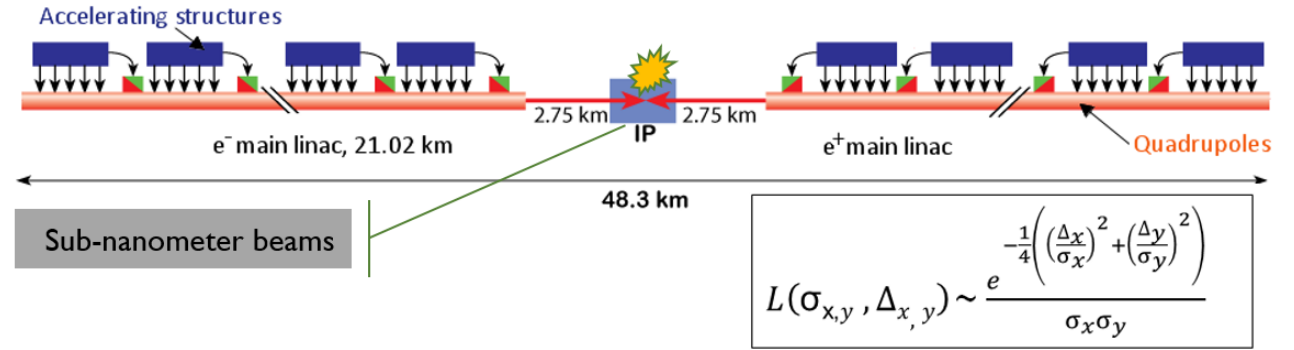


BELLE II Detector of SuperKEKB (Japan)

- **CLIC : Stabilisation faisceau**

- Contrôle de trajectoire faisceau IPFB
- Contrôle actif (mécatronique)

Spec. : Beam offset <= 0,2 nm RMS @ 0,1Hz



Projet d'accélérateur linéaire au CERN



Challenge sans précédent pour la “stabilisation faisceau”

- **ATF2 : Stratégies de contrôle “complémentaires”**

- Optimisation de la cohérence
- Contrôle faisceau “Feedforward”



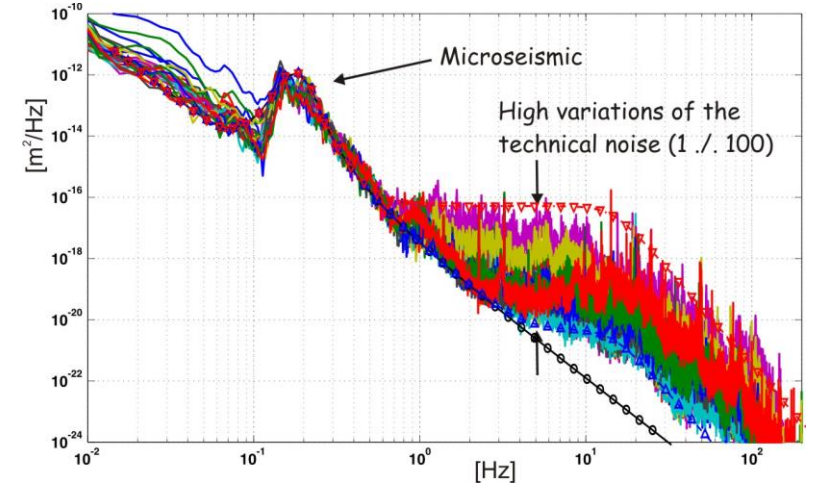
Démonstrateur d'ILC à KEK (Japon)

- **FCC ee - SuperKEKB**

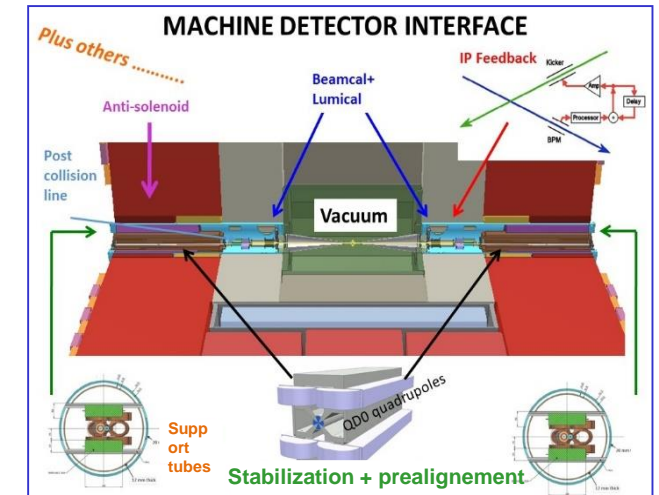
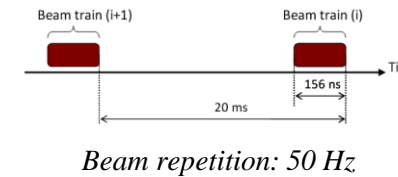
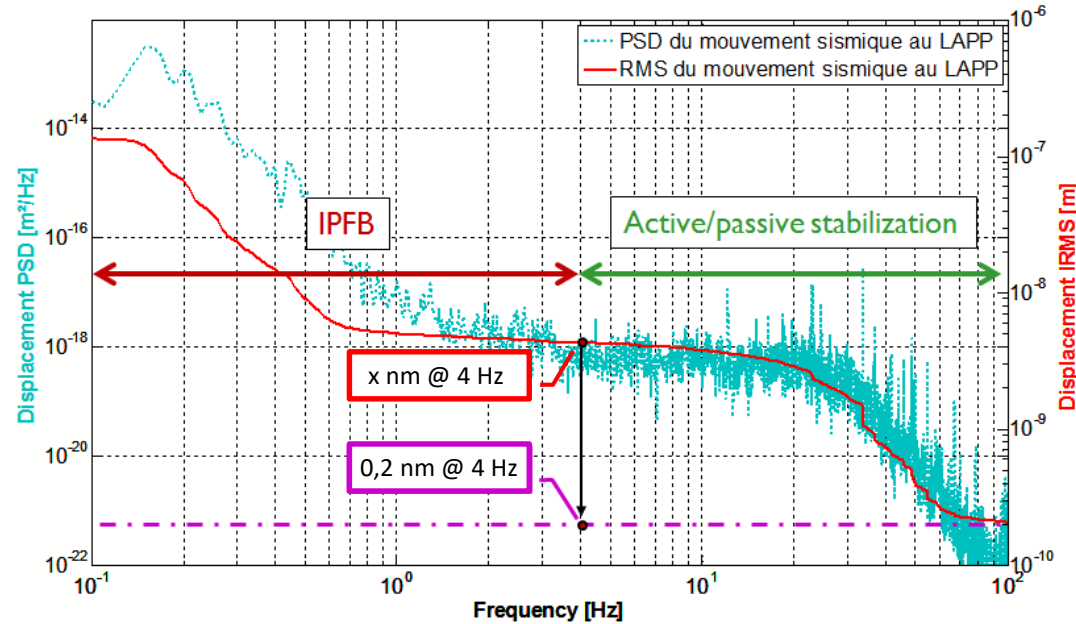
■ Mouvement du sol:

- *Activité sismique (à partir des très basses fréquences)*
- *Bruit culturel (humain, refroidissement...)*

■ Contrôle trajectoire faisceau + contrôle vibratoire “mécatronique”



PSD displacement of various sites

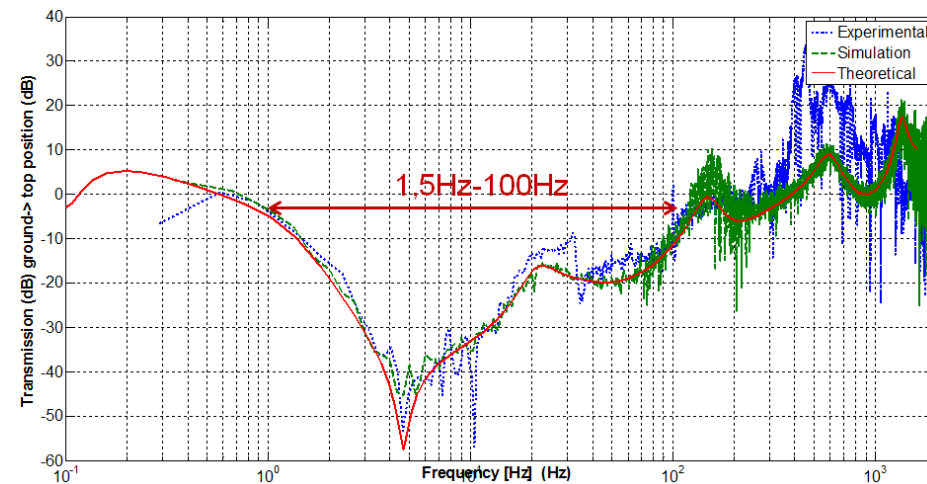
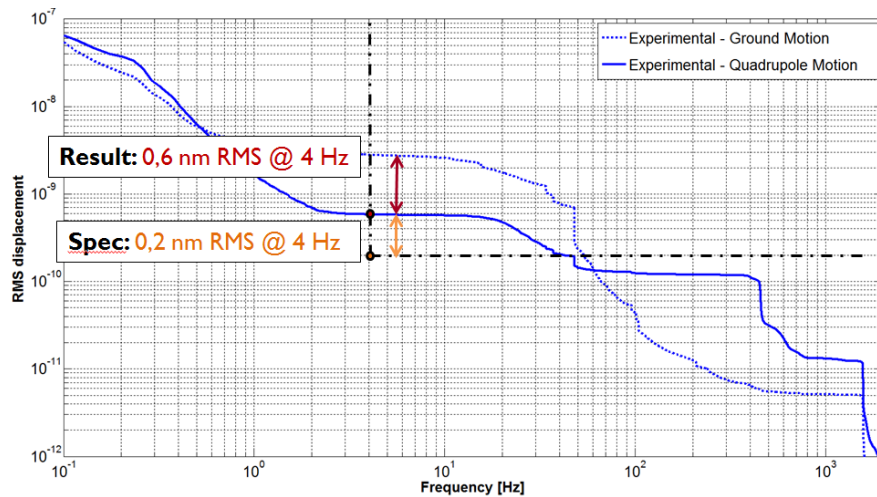
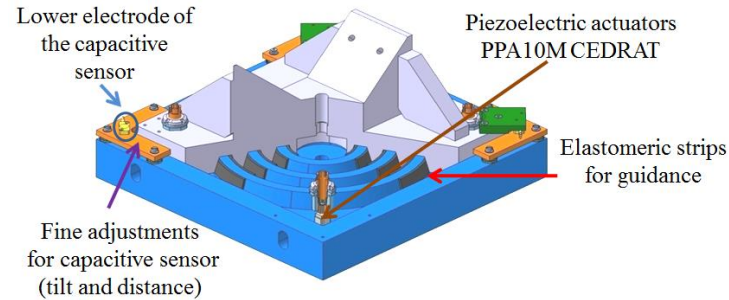


- Au point d'interaction (**contrôle faisceau IPFB** + **mechanical stabilization**),
- Objectif: **0,2 nm RMS à 0,1 Hz**

- **Prototype de contrôle actif avec 4 capteurs commerciaux (feedback et feedforward) :**



Table active et capteurs commerciaux



- **Resultats obtenus au LAPP : 0,6 nm RMS@4Hz.**

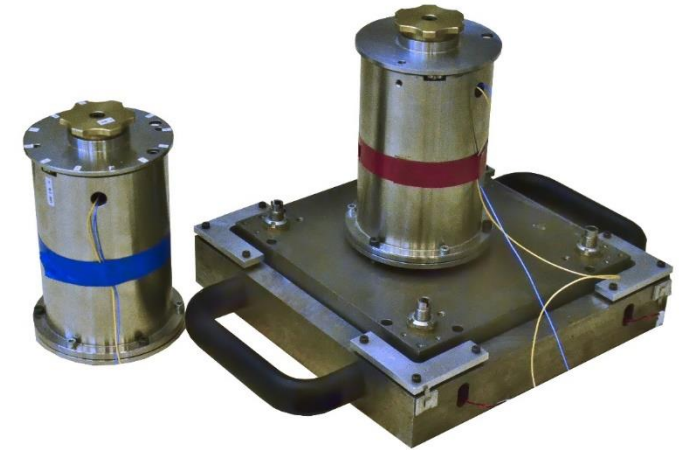
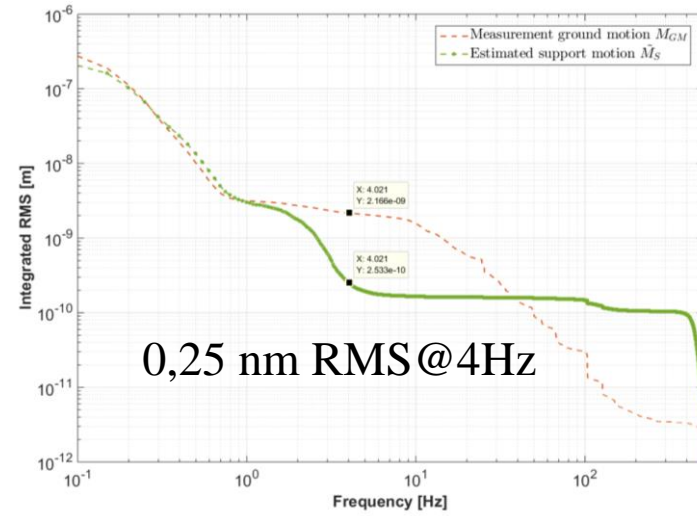
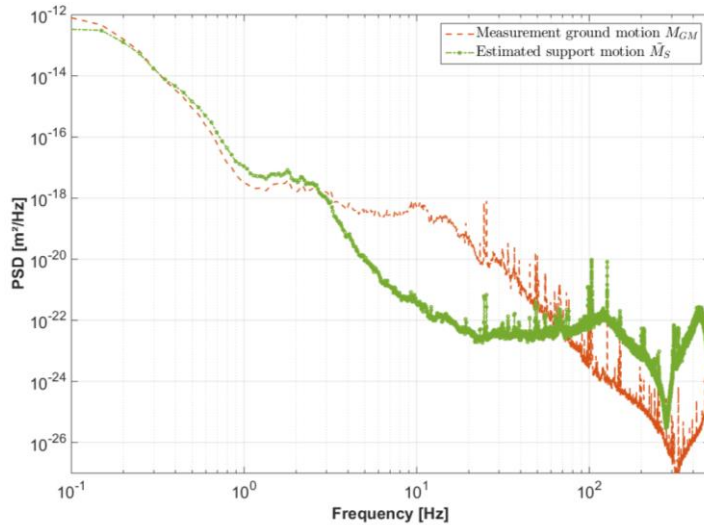
- Balik et al, "Active control of a subnanometer isolator", JIMSS, 2013.
 - R. Le Breton et al, Nanometer scale active ground motion isolator, Sensors and Actuators A: Physical, 2013.

- *Capteurs dédiés à la mesure et non au contrôle*
- *2 technologies pour couvrir la bande passante (geophones et accéléromètres)*
 - *Complexité du contrôle*

➤ **Limitation principale : CAPTEURS (Démonstration expérimentale et théorique).**

■ Démonstration de faisabilité CLIC à l'échelle réduite

- Résultats (automne 2016) avec pied actif LAPP + 1 capteur LAPP : 0,25 nm RMS@4Hz

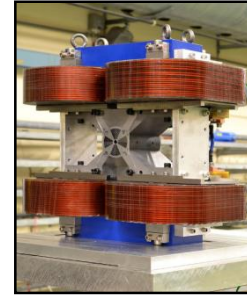


- Pied actif LAPP + capteurs LAPP -

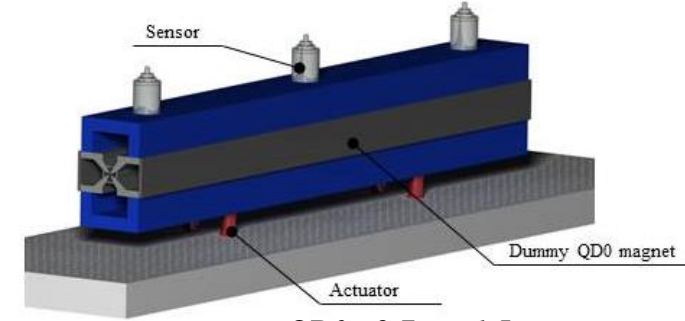
- Déplacement *sans contrôle* / *avec contrôle* du sol dans la fosse du hall LAPP -

- *G. Balik, B. Caron, B. Aimard, L. Brunetti, G. Deleglise, "Vibration control using a dedicated inertial sensor", IEEE Sensors Journal, 2017.*
- Présentation dans diverses conférences (LCWS, IPAC, ALCW, IEEE)

- **Prototype de taille réaliste**

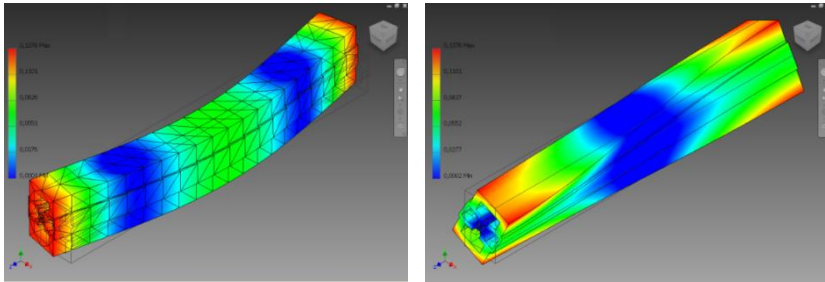


Slide of QD0

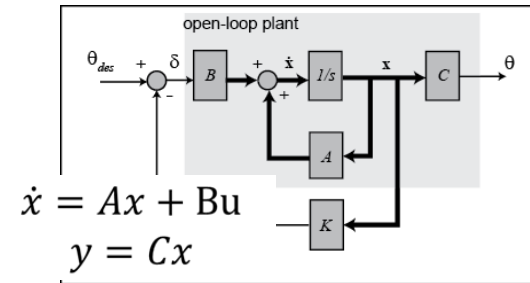


QD0 : 2,7m – 1,5 tons

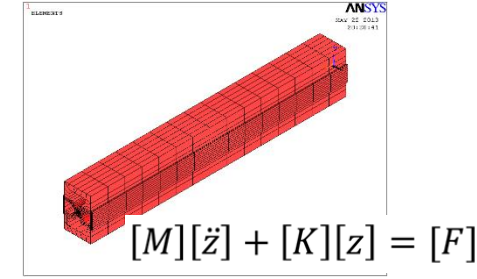
- **Simulation**



Modèle FEM



Contrôle MIMO en simulation globale (ADC, DAC, filtres, actionneurs, capteurs....)



- **Specifications de l'actionneur nécessaire (résultat de la simulation globale)**

Dynamic	Signal / noise	Bandwidth of freq.	stiffness
6 microns	95 dB	0,3 : 300 Hz	≥ 10 kN/μm

- **Aucun actionneur commercial correspond aux besoins en termes de resolution, dynamique, raideur...**
- **Challenge mécatronique !**

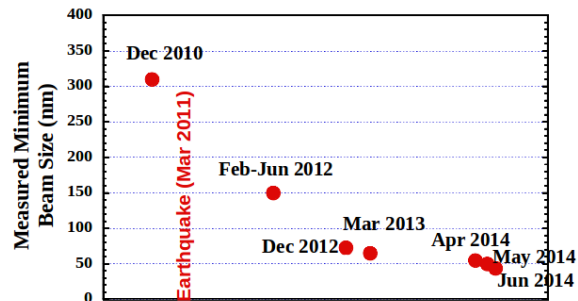
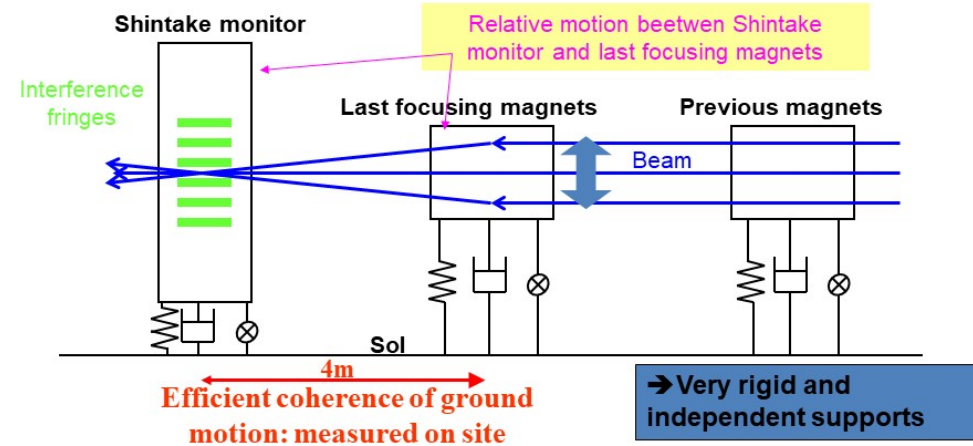
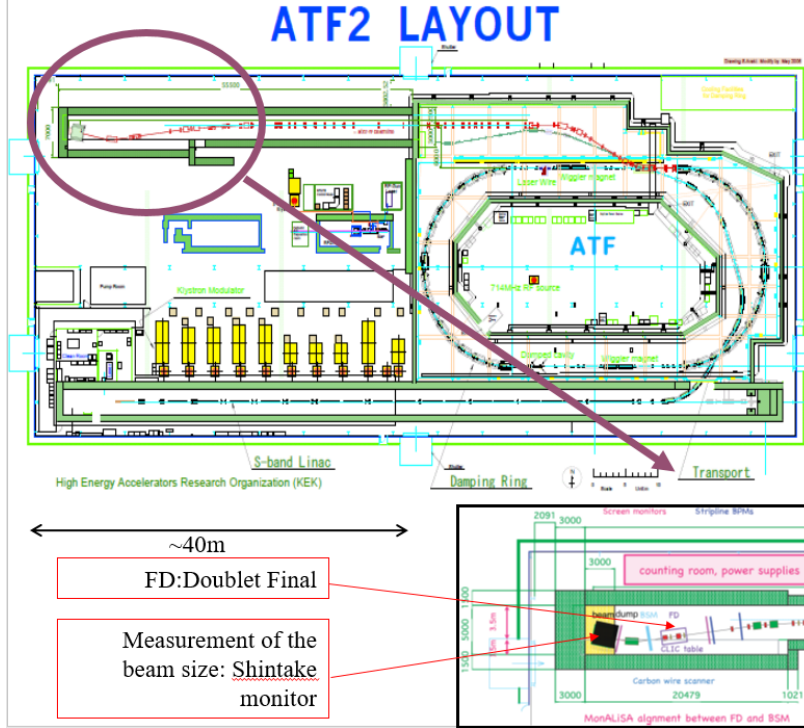
Optimisation de la coherence des mouvements

➤ ATF2 Objectifs : Faisceau stable de 37 nm au point d'interaction.

☐ Nécessite un déplacement relatif entre le Shintake Monitor et l'aimant du final focus : **10 nm au dessus de 0.1Hz** (direction verticale)

➤ Solution 1 : Isolation active des différents éléments (i.e. CLIC)

➤ **Solution 2 : optimisation de la coherence des mouvements entre les éléments**

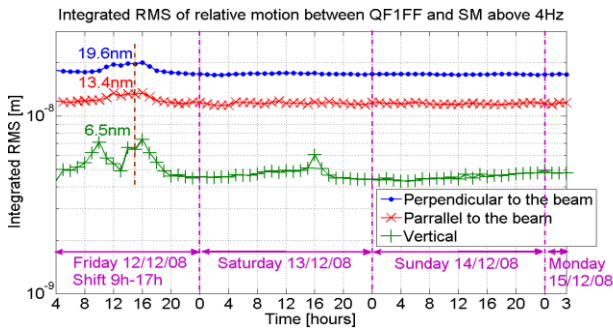
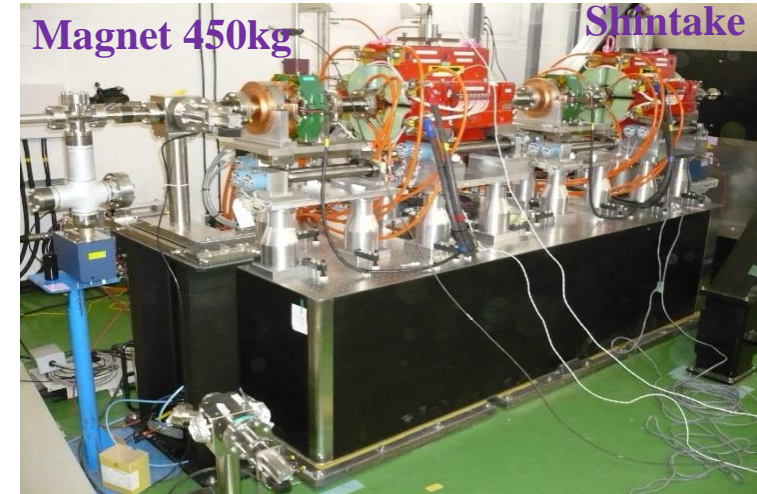
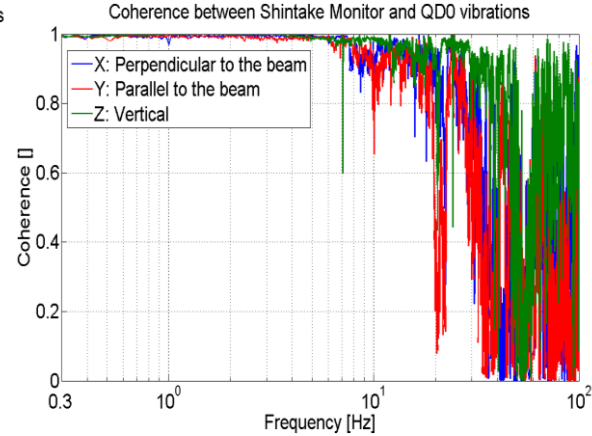
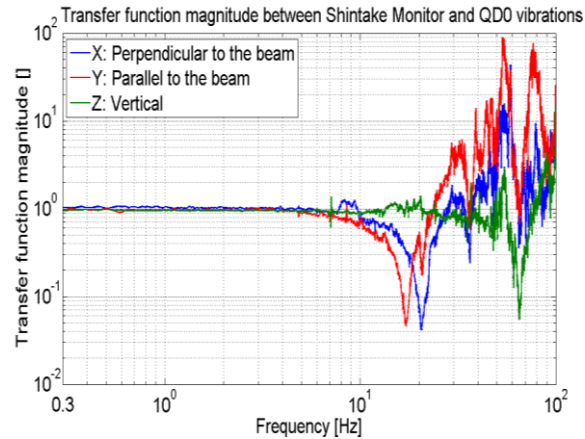


➤ Fonction de transfert entre le sol + final focus et le shintake monitor doit être le plus proche de 1



Demonstration of linear colliders - ILC

Setup final du final focus:

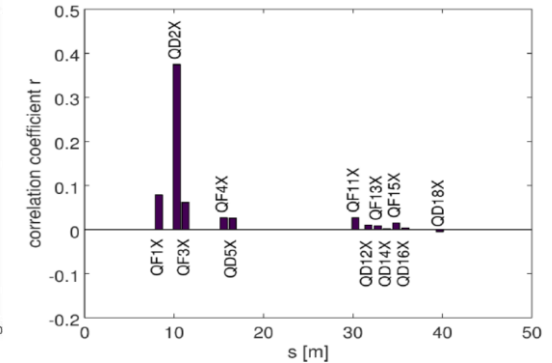
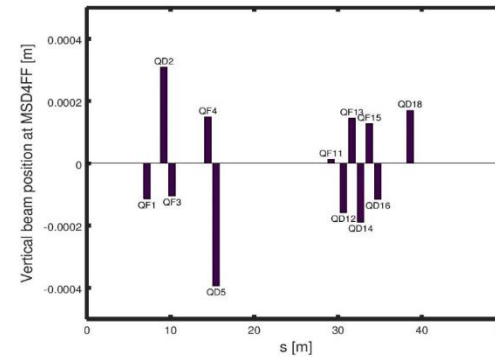
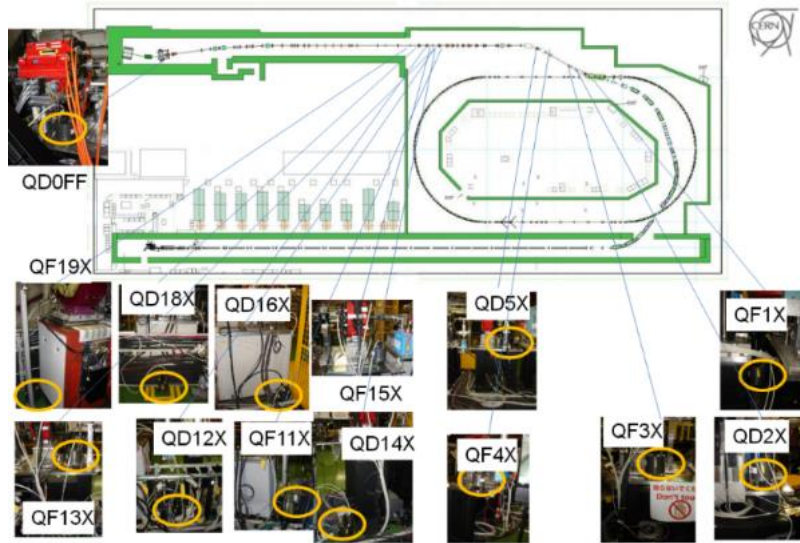


➤ *Déplacement relative entre shintake monitor et doublets finaux de [4 – 6] nm RMS @ 0,1 Hz (axe vertical):*

➤ Ensemble extrêmement rigide (axe z) (1^{er} mode à 70 dû aux supports des doublets finaux)

	Tolerance	Measurement [SM-QD0]	Measurement [SM-QF1]
Vertical	7 nm (for QD0) 20 nm (for QF1)	4.8 nm	6.3 nm
Perpendicular to the beam	~ 500 nm	30.7 nm	30.6 nm
Parallel to the beam	~ 10,000 nm	36.5 nm	27.1 nm

Contrôle “feedforward” en fonction du mouvement des aimants

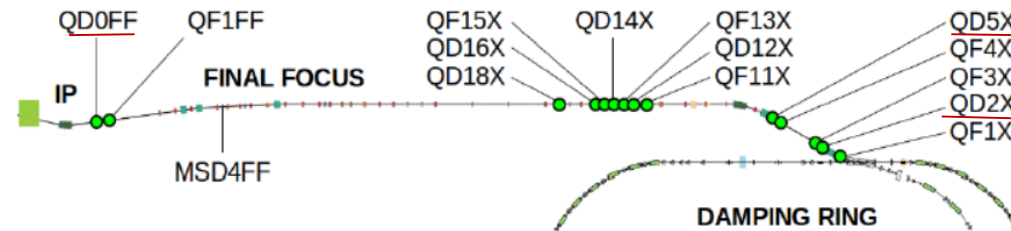
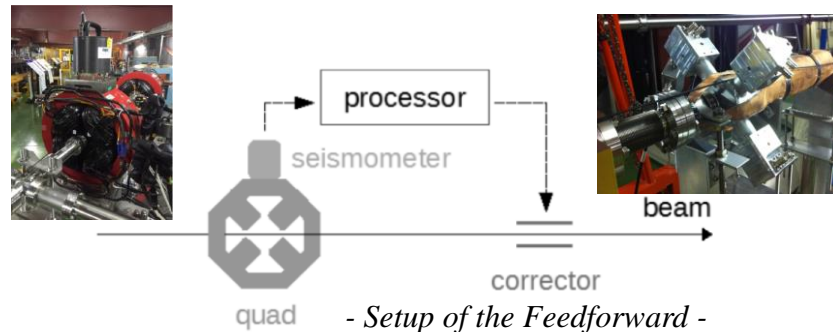


Comparison of the estimated and the correlated perturbations created by the magnets motions at the end of the extraction line

14 capteurs Geophones (Guralp 6T) - Collaboration CERN, LAL, Oxford, KEK and LAPP

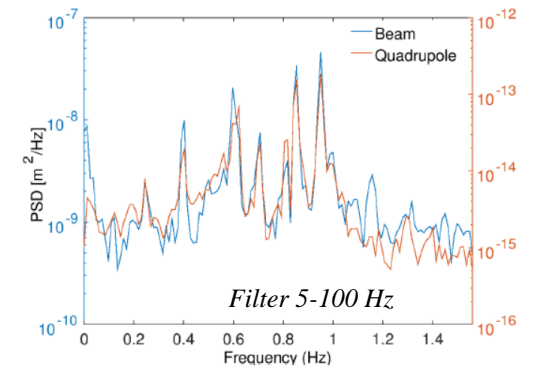
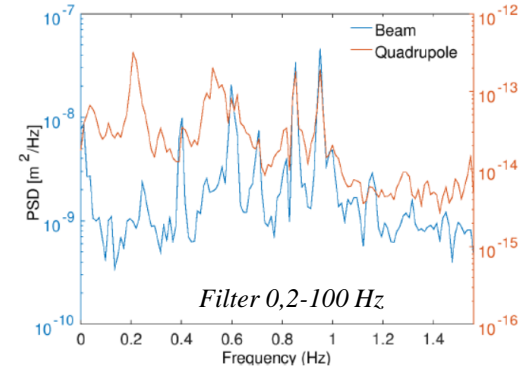
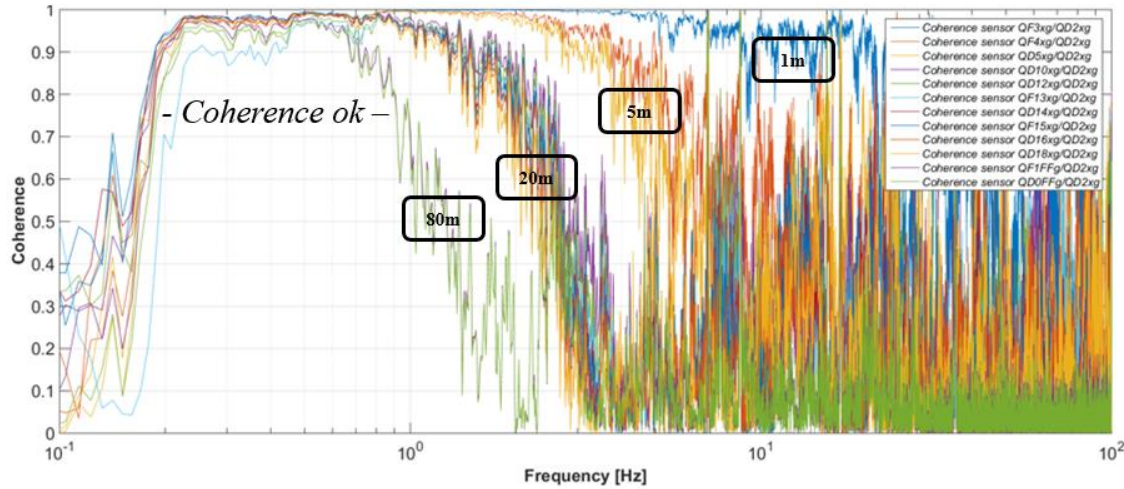
Feedforward setup

- D. Bett et al, “Compensation of orbit distortion due to quadrupole motion using feed-forward control at KEK ATF”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 895 (2018) 10–18



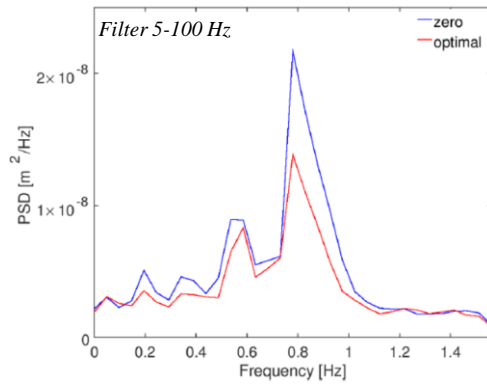
- Layout of the GM sensors along the collider-

Extraction du mouvement incohérent

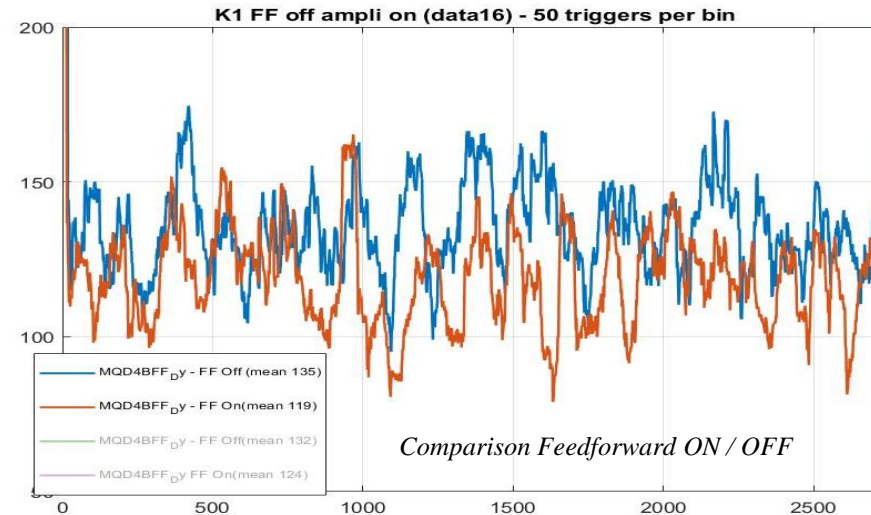


Correlation BPM – Magnet measurements

Contrôle des perturbations au niveau de l'extraction line



- The obtained experimental results with 1 geophone and 1 kicker -



Comparison Feedforward ON / OFF

☐ La réduction du jitter peut atteindre 10 à 20% (une grande part est due à l'injection)

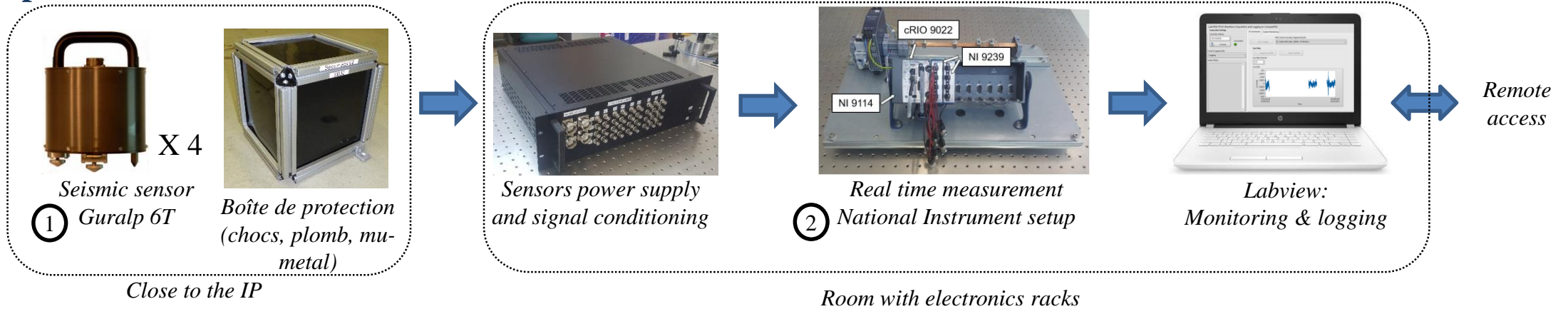
Objectif

Installer de part et d'autre de l'expérience Belle II, un monitoring « H24 » des vibrations du sol - aimants afin de comparer avec le comportement du système d'asservissement de l'orbite qui doit maintenir les deux faisceaux en collision en X et en Y à l'IP, en présence de vibrations (taille verticale du faisceau de SuperKEKB est 60 nm)

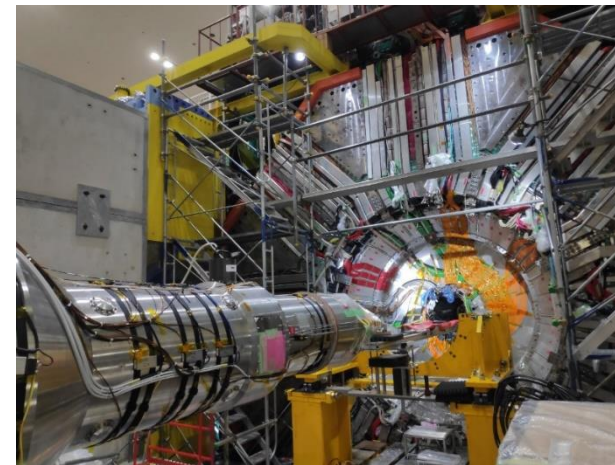
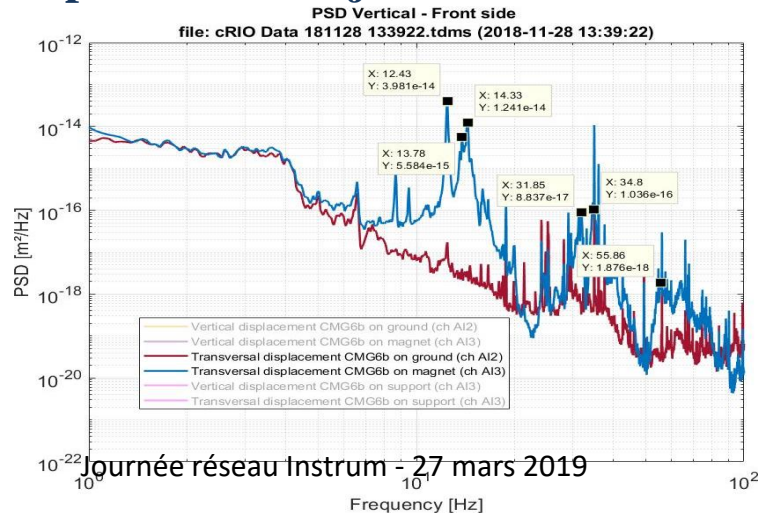
○ Collaboration LAL KEK LAPP

➤ *Application directe des développements CLIC*

Setup

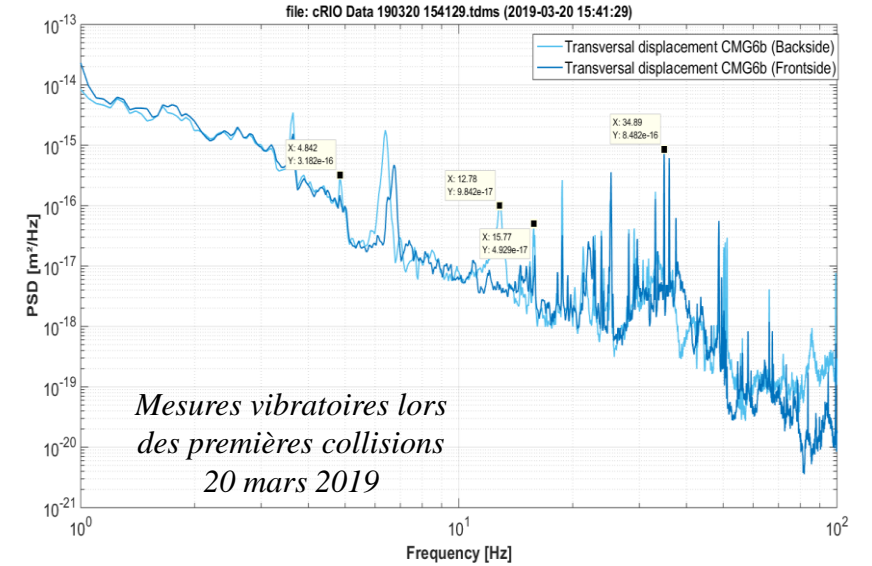
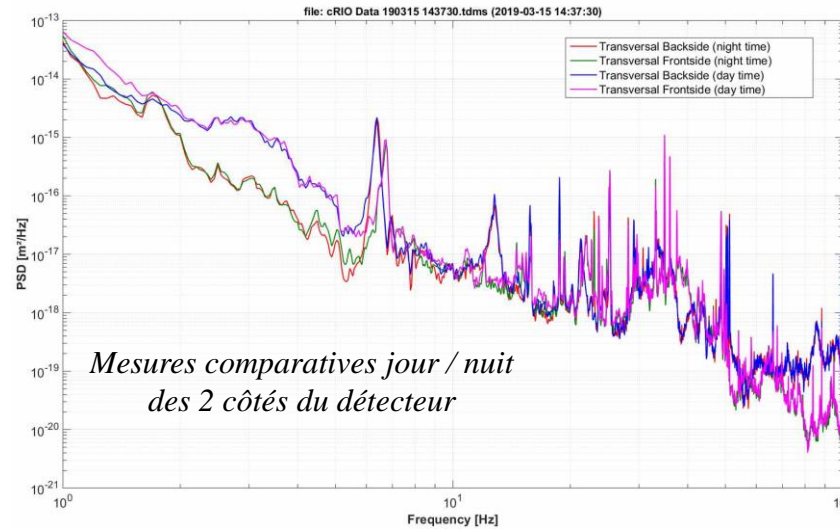
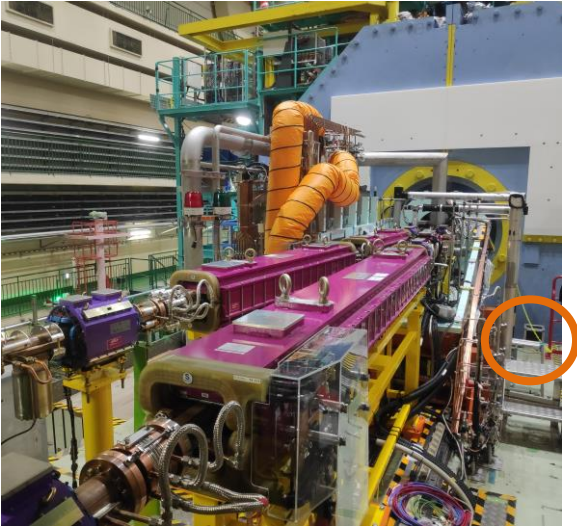


Mesures préliminaires juin 2018



- Preliminary measurements of the cryostat dynamics-

- Mise en route effectuée février 2019 (2 capteurs)



- Corrélation avec la luminosité (axe horizontal)
- Prise en compte dans le contrôle de l'orbite faisceau, à explorer...

Synergie entre l'activité stabilisation et beam diagnostics

R&D Stabilisation

- **CLIC** – MDI Final Focus stabilisation
- ATF2 – Final focus stabilisation and beam control
- SuperKEKB – Ground motion monitoring close to the IP
- ...

Accelerator physics

- **FCC hh** – simulation in beam optics, beam tracking, particle-matter interaction
- ATF2 – beam optics
- ...

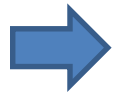


➤ Skills in vibrations analysis and control & in beam control

➤ Skills in beam optics and beam dynamics



S'investir dans la stabilisation au point interaction de **FCC ee**

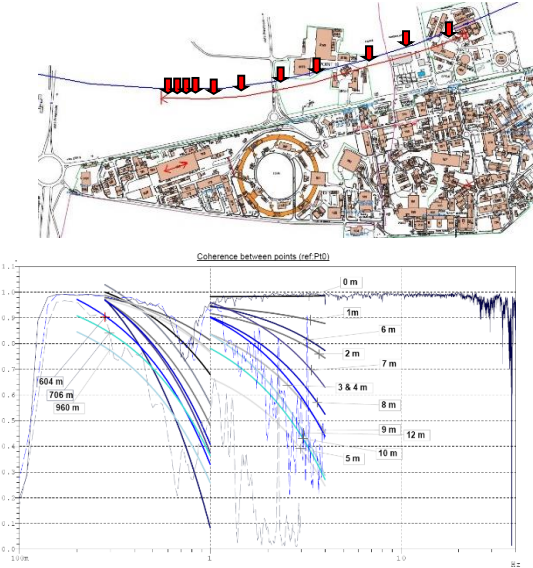


Etre impliqué dans SuperKEKB comme démonstrateur

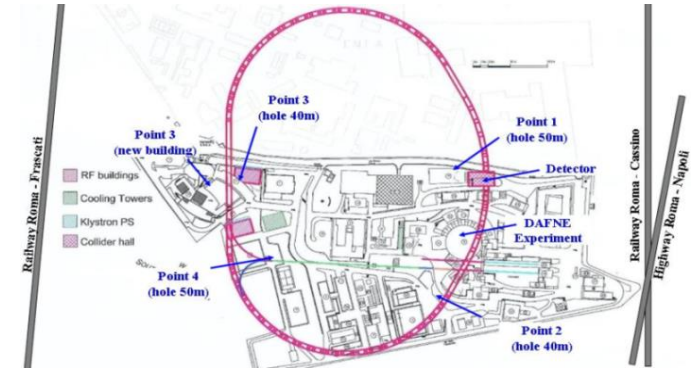
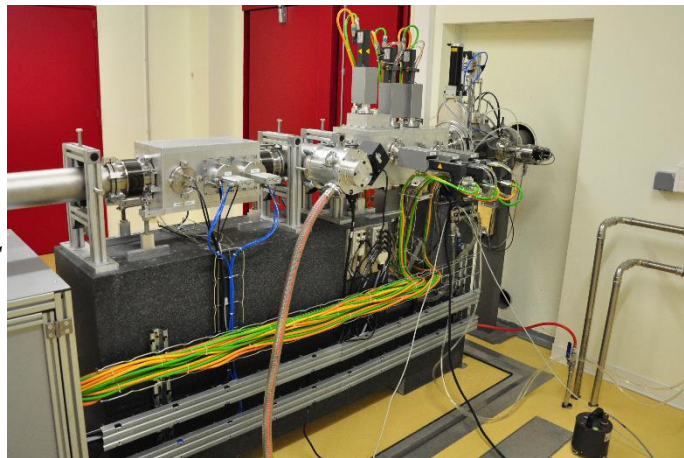


Quelques exemples de travaux collaboratifs

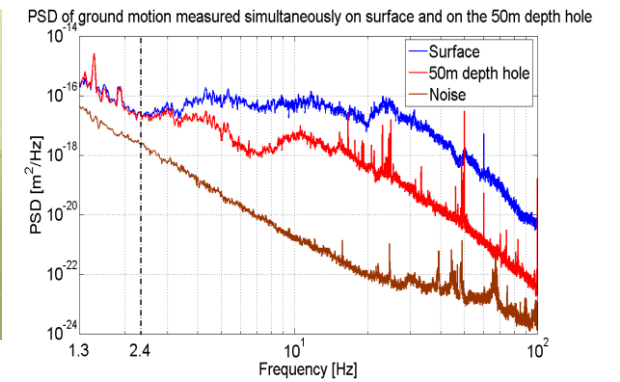
☐ LHC measurements



☐ IRSN vibrations analysis



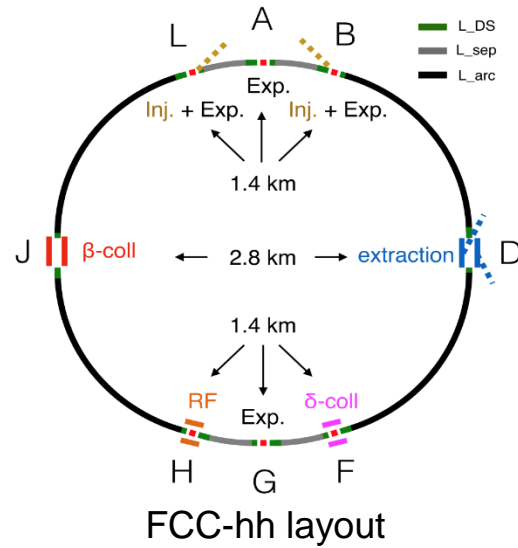
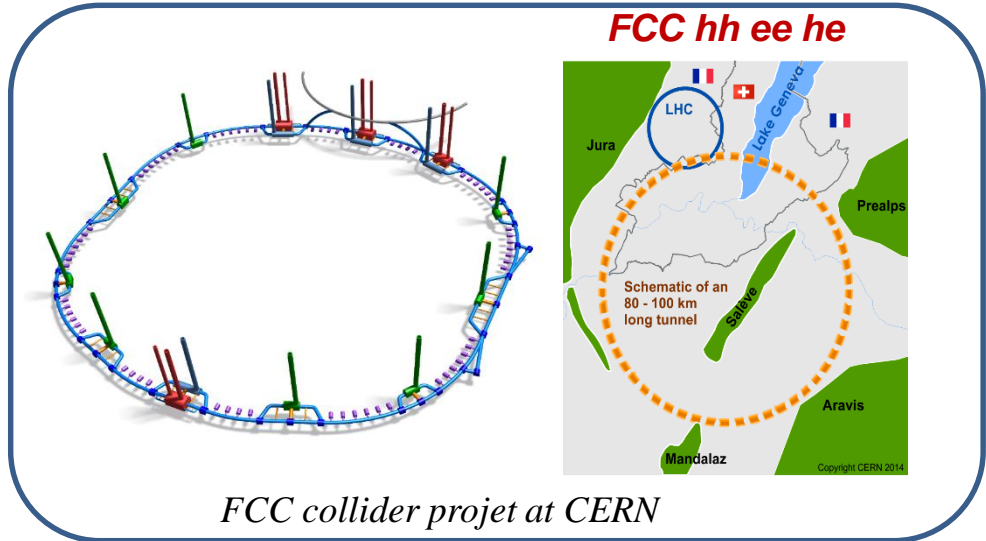
☐ SuperB analysis



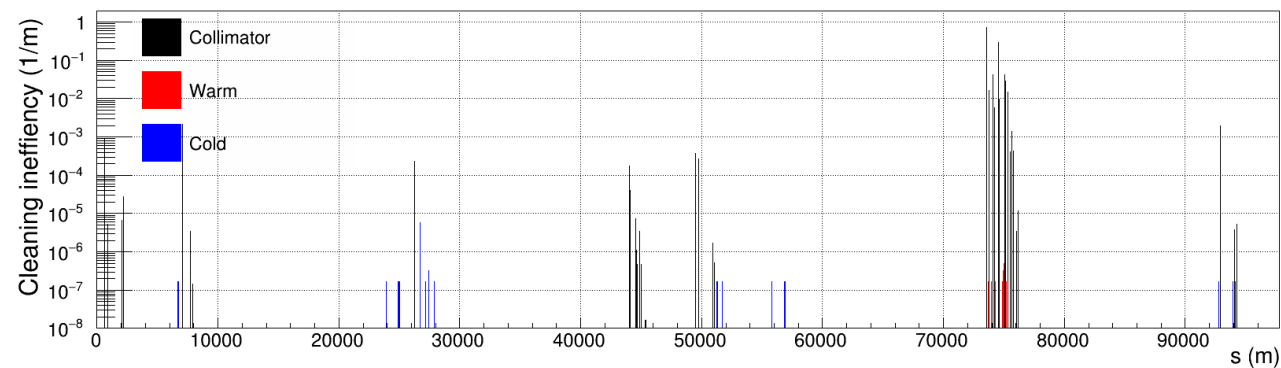
☐ IPHC measurements



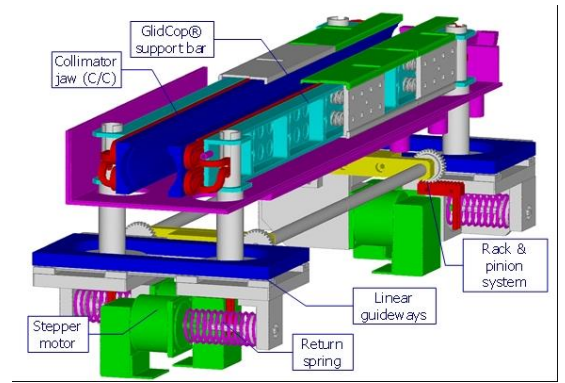
- En 2018 le groupe a débuté une collaboration avec le CERN sur la partie collimation (simulation) pour FCC-hh



- Collimation system is needed in order to prevent quenching of the superconducting elements and avoid damages
- 8 GJ stored energy / beam for FCC-hh are challenging to handle with current technologies
- Current activities:**
 - Tracking simulations and beam-matter interaction to produce loss maps (position along the ring where protons are lost)
 - Studied the impact of imperfections on loss maps
 - Started a collaboration on new hardware design and advanced materials
 - Co-authors of collimation chapter of FCC CDR



Example of loss map simulation results (positions of protons intercepted by collimators or lost in cold or warm apertures of the accelerators)



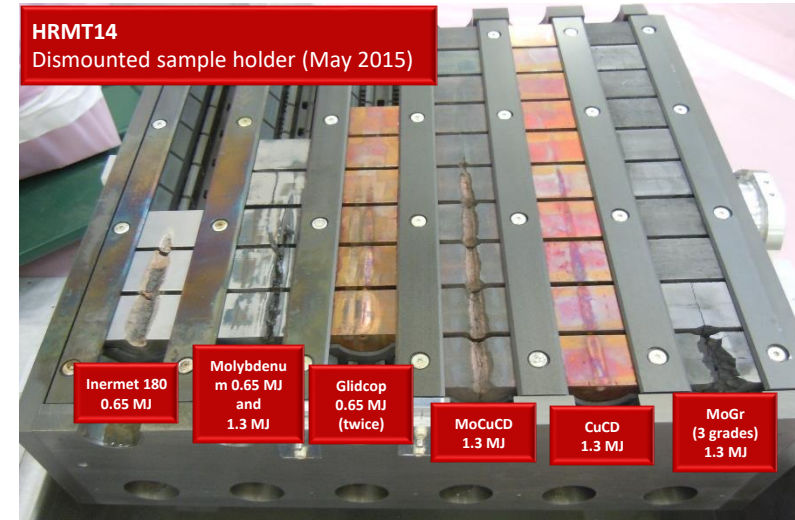
Collimator with its main elements

• SHORT TERM 2019-2020

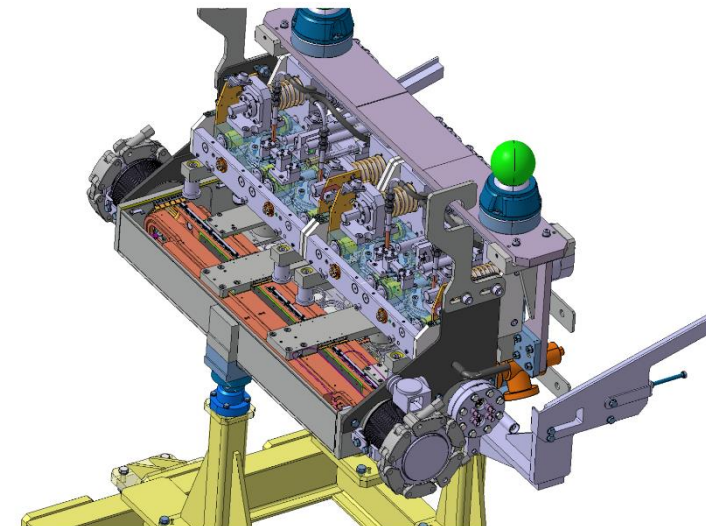
- Continue the participation on tracking simulation campaigns and in the development of the simulation codes (SixTrack, FLUKA, etc..)
- To start a collaboration on mechanical design of future collimators (HE-LHC, FCC-hh) and thermo-mechanical simulations with ANSYS
- Start collaboration on the development of new materials with beam-based experiments in collaboration with CERN, industries and universities
- Design and built bench test for experiments on new materials
- Build prototype of mechanical/mechatronic parts of collimator system at LAPP

• SYNTHÈSE

- Dispositifs largement utilisés dans tous les accélérateurs
- Utilisés avec les moniteurs de perte de faisceau (également pour effectuer des diagnostics faisceau)
- Récemment construits avec les moniteurs de position de faisceau



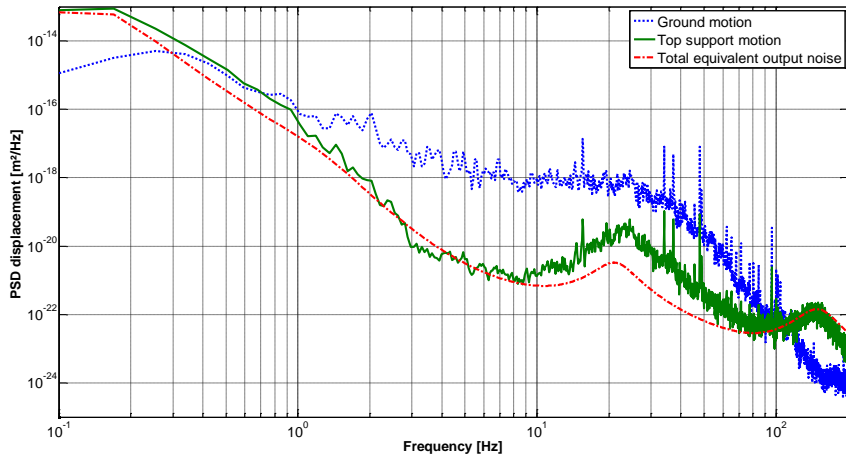
Courtesy of A. Bertarelli (EN/MME)



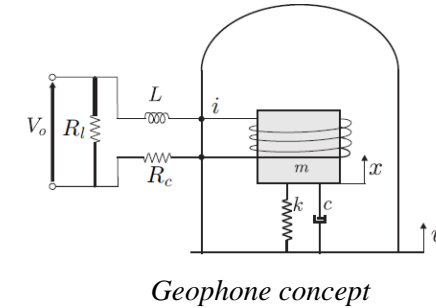
Details of TCLD collimator mechanics

ANNEXES

- **Limite principale: l'utilisation de capteurs sismiques (géophone, sismomètres, accéléromètres...) en contrôle**



- ✓ Sensors noise
- ✓ Sensors transfer function
- ✓ Radiation, magnetic field...



- Commercial investigations
- Internal development

➤ **Main limitation : SENSORS (Experimental and theoretical demonstration).**

- **Exemples de sismomètres et accéléromètres commerciaux pour des mesures nanométriques:**



**Streckeisen
STS2**

x,y,z
2*750Vs/m
120 s -50 Hz
13 kg



**Guralp
CMG 3T**

x,y,z
2*750Vs/m
360s -50 Hz
13.5 kg



**Guralp
CMG 40T**

x,y,z
2*800Vs/m
30 s -50 Hz
7.5 kg



**Guralp
CMG 6T**

x,y,z
2*1000Vs/m
30s-80Hz
2,6 kg



**Eentec
SP500**

z
2000Vs/m
60 s -70 Hz
0.750 kg



**PCB
393B31**

z
1 Vs²/m
10 s -300 Hz
0.77 kg



**Wilcoxon
731A**

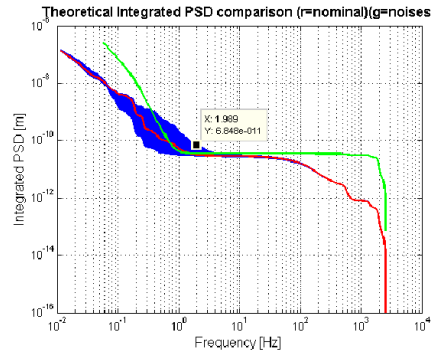
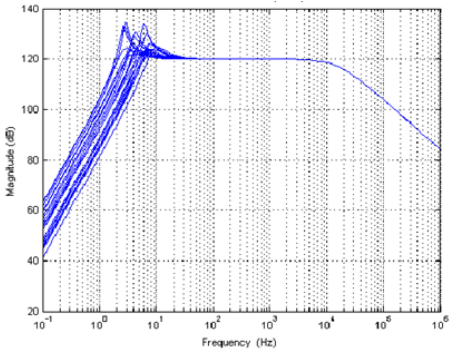
z
1 Vs²/m
10 s -300 Hz
0.55 kg



**PI
D0-015**

Δd
0.67 V/ μm
10 s -300 Hz
0.635 kg

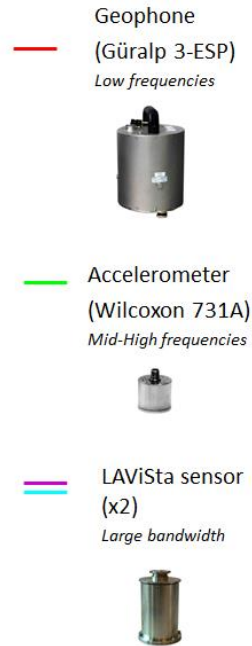
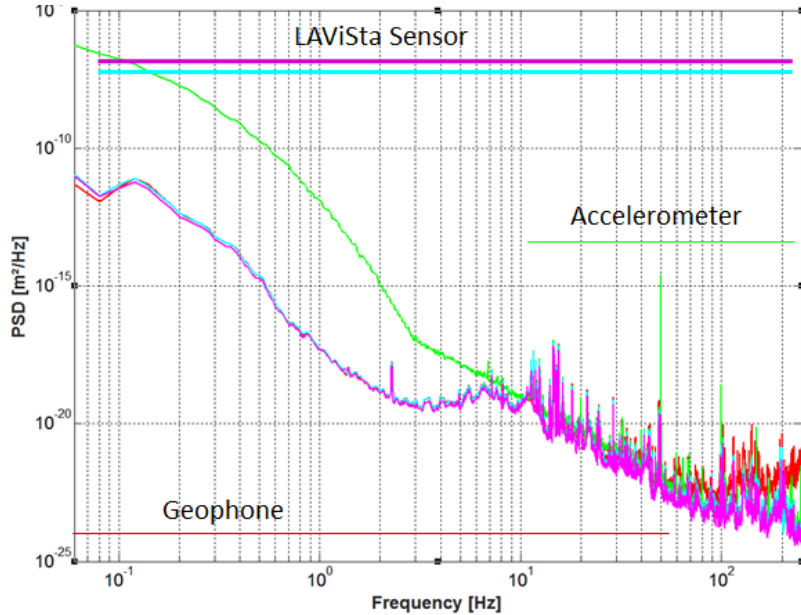
- Développement d'un nouveau capteur dédié au contrôle de vibrations:



Prototypes developed since 2011

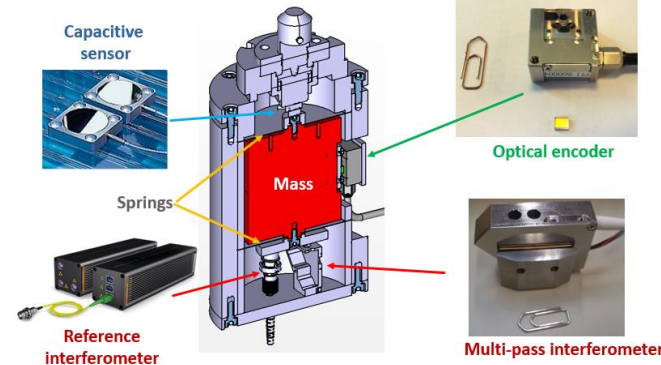
- Approach validated → Patent n° FR 13 59336.

- Comparaison avec des capteurs commerciaux - Güralp et Wilcoxon – dans un ancien tunnel du CERN (ISR):



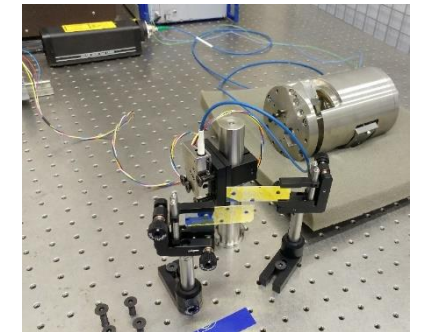
- R&D en cours:

- Comparaison de technologies pour la mesure différentielle



Test multi-technologies

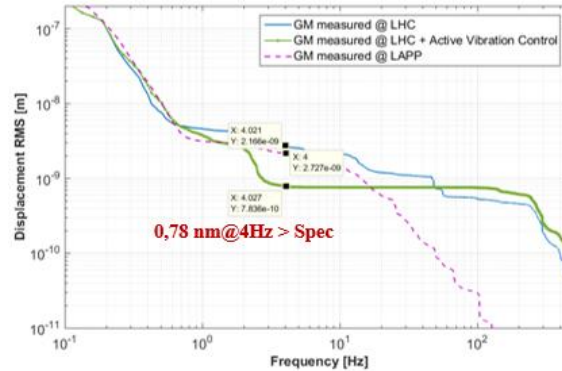
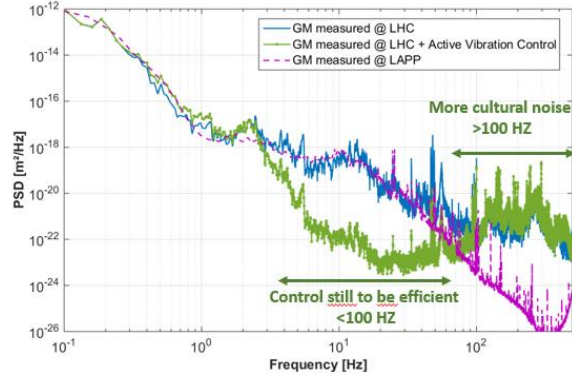
- Capacitive sensors : PI & Lion Precision
- Optical encoder : Magnescale
- Interferometer : Attocube & a developed one (INRiM (It) and ISI Brno (Cz))
 - P. Novotny et al, "What is the best displacement transducer for a seismic sensor?", IEEE Inertial Sensors and Systems 2017, Hawaii, USA.



Mesure du bruit de l'interféromètre

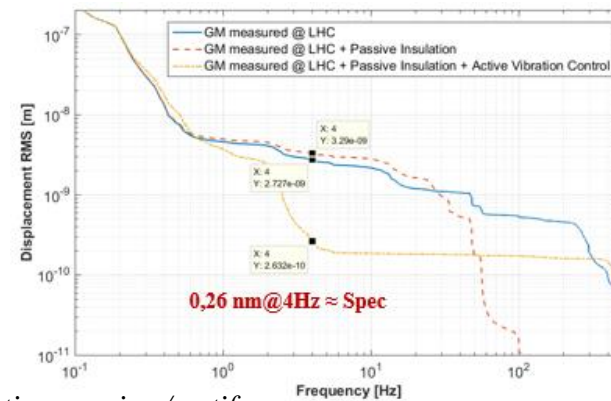
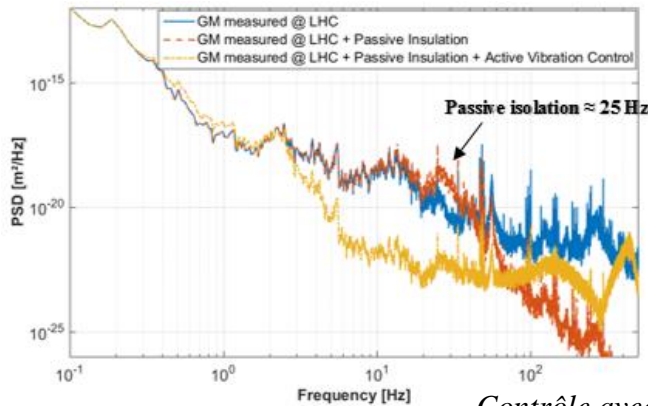
- 2017: Simulation d'un environnement accélérateur

- Prise en compte du mouvement de CMS: données disponibles et niveau de vibrations très pessimistes
- Simulation** de notre système (pied actif et capteurs) avec ces perturbations

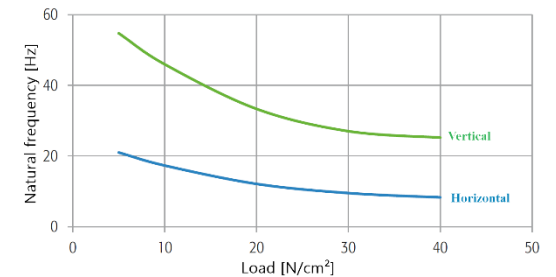


- Distribution très différente (+ bruit culturel sur une bande de fréquences plus large)
- Contrôle pas suffisamment efficace (freq. > 100 Hz)

- Simulation avec un pré-isolateur passif commercial classique



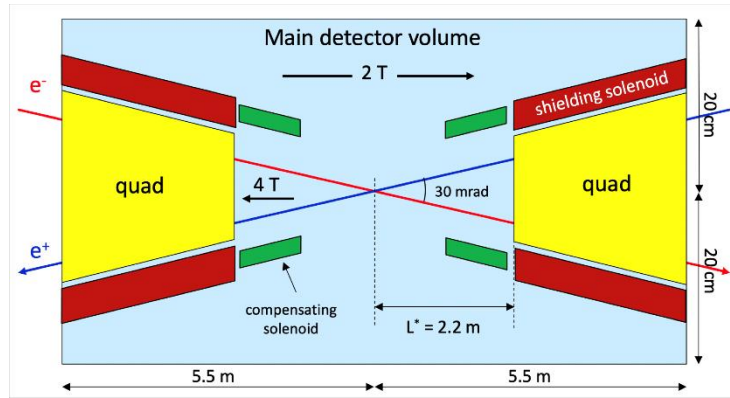
Contrôle avec isolation passive / actif



Example of usable PI (Biltz® B13W- vibration isolation rubber pad).

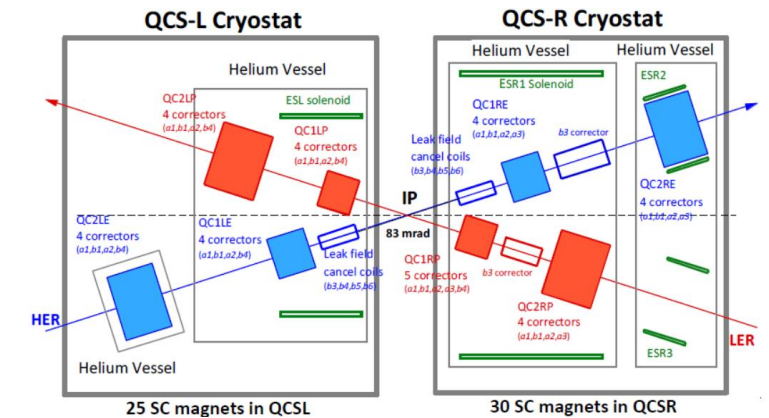
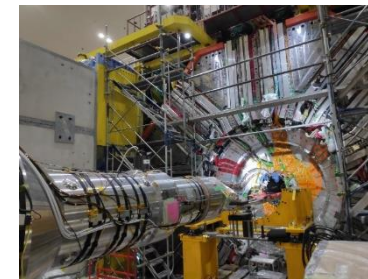
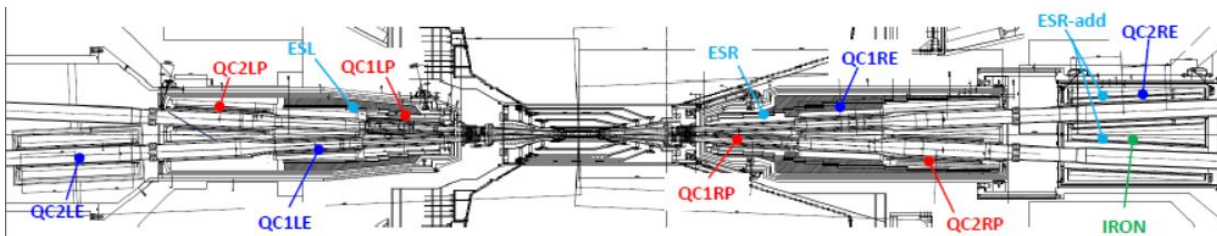
- Session poster à IPAC17: G. Balik et al, “Proof of concept of CLIC final focus quadrupoles stabilization”, in Proceedings of International Particle Accelerator Conference (IPAC 2017), Copenhagen, Denmark.

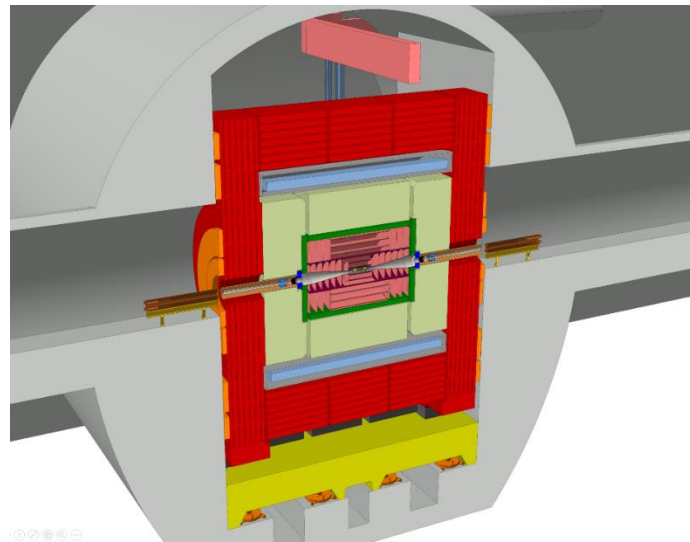
- Présentation à LCWS Strasbourg



Central part of detector volume – top view

	superKEKB	FCC-ee	CLIC
Energy(GeV)	7 (e-) 4(e+)	45.6,80,120,175	380,1500,3000
$\sigma_x(\text{IP})$ (μm)	11 10	6.4,13,13,36	149,60,40 nm
$\sigma_y(\text{IP})$ (nm)	56 48	28,41,36,66	2.9,1.5,1
Cantilever	yes	yes	Yes -> No





© 2010

Détecteur CLIC, configuration L QD0 / IP*