



LAViSta : Préparer les futurs accélérateurs linéaires

LAViSta (Laboratoires d'Anecy travaillant sur les Vibrations et la Stabilisation) prépare les futurs collisionneurs linéaires ayant des faisceaux de particules de la taille du nanomètre en étudiant la stabilisation. LAViSta a étudié des capteurs et des actionneurs avec un asservissement adapté et des études de réponse dynamique. En combinant une compensation développée dans LAViSta avec une isolation active du commerce, un prototype a pu être asservi à son extrémité à 0,13 nm à 4 Hz. LAViSta contribue également à ATF2 en fournissant un système de fixation aux aimants de focalisation finale. Le mouvement relatif entre les aimants et le point d'interaction est meilleur que les spécifications : 5 nm à 0,1 Hz au lieu de 7 nm.

Introduction

Après le projet LHC (Large Hadron Collider), la communauté internationale des accélérateurs prépare activement les futurs projets de collisionneurs linéaires comme l'ILC (International Linear Collider) et le CLIC (Compact Linear Collider). Ces projets sont d'envergure internationale et permettent une grande visibilité de l'équipe LAViSta. Ces projets ont en commun une taille de faisceau de quelques nanomètres (10^{-9} m) au point d'interaction pour une luminosité nominale de 10^{34} cm²s⁻¹. Pour la faisabilité de ces projets, la stabilisation est un des problèmes déterminants car de nombreuses sources de vibrations peuvent perturber le faisceau. Le groupe LAViSta étudie la faisabilité de la stabilisation en dessous du nanomètre dans une gamme de fréquences entre 0,5 Hz et 100 Hz des différents éléments composant un accélérateur, plus particulièrement des aimants focalisateurs. Il apporte également des solutions pour la stabilisation des aimants de focalisation finale à différents accélérateurs de démonstration comme CTF3 (CLIC Test Facility 3, démonstration de faisabilité de l'accélération innovante à deux faisceaux) au CERN et ATF2 (Accelerator Test Facility 2, démonstration de la faisabilité de produire un faisceau de 40 nm) au Japon.

La collaboration

DESY, CERN, Oxford, Saclay, KEK, LAL, LLR, Oxford et SYMME.

Points forts

Stabilisation active sur un prototype d'aimant d'un futur collisionneur linéaire à 0,13 nm à 4 Hz (capteurs, actionneurs, asservissement, simulations).

Etude de la fixation des aimants de focalisation finale de ATF2 au Japon avec des performances de stabilité meilleures que les spécifications.

2007 : publication du ILC Reference Design Report.

2008 : premiers faisceaux dans ATF2.

Activités de recherche du groupe du LAPP

Le groupe LAViSta a démarré il y a 5 ans grâce à des financements européens dans le cadre du 6^{ème} PCRD. L'intérêt pour la stabilisation est devenu croissant, cette problématique étant un enjeu de faisabilité, de performance et de coût pour les projets de futurs collisionneurs linéaires. La démarche a été d'étudier le problème avec des prototypes croissants en taille et en complexité. Le groupe applique les solutions étudiées aux accélérateurs en fonctionnement, notamment ATF2 au Japon et plus tard CTF3 au CERN. De plus, LAViSta est un partenariat avec le laboratoire SYMME (Systèmes et Matériaux pour le MEcatronique) de Polytech'Savoie qui apporte en particulier ses compétences en automatique.

Dans la perspective de stabiliser des éléments de l'accélérateur, il faut d'abord mesurer

des vibrations de l'ordre du nanomètre. Nous avons étudié différents capteurs notamment ceux utilisés dans le domaine sismique tout en développant l'acquisition de données et le traitement du signal spécifique. Il faut également apporter une action correctrice sur la structure calculée à l'aide de boucles d'asservissement développées dans LAViSta. Une contribution essentielle à cette étude est la simulation, grâce à des calculs par éléments finis (EF). Nous étudions par exemple la réponse dynamique de la structure à stabiliser. La comparaison entre les mesures et les calculs permet, après recalage, de développer des modèles prédictifs de nos structures (Figure 1).

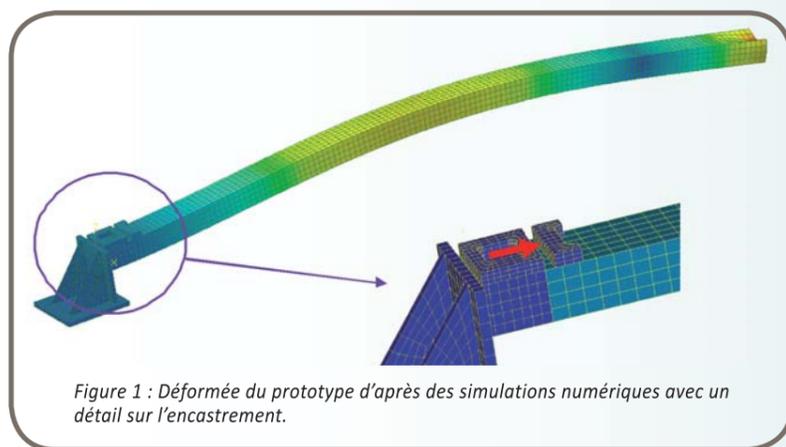


Figure 1 : Déformée du prototype d'après des simulations numériques avec un détail sur l'encastrement.

Projets techniques

LAViSta contribue à une étude sur la stabilisation active d'aimants d'un futur accélérateur linéaire et plus particulièrement l'étude des aimants de focalisation finale juste avant le point d'interaction. Le problème peut être séparé en une partie isolation des vibrations provenant du sol (houle, activité sismique, activité humaine...) et une partie compensation des modes de vibration de la structure à stabiliser. Dans un premier temps, le groupe a étudié la compensation avec le choix de capteurs et d'actionneurs résistants aux conditions présentes dans un accélérateur (radiation, champ magnétique...), avec un asservissement adapté au prototype utilisé : une structure de 2,5 m de long et de 15 cm

de côté, encastrée seulement à une extrémité (Figure 2). Les mesures faites dans cette étude ont permis de révéler l'influence néfaste du bruit acoustique même à plus haute fréquence, générant des vibrations non négligeables sur la structure. Le développement de l'algorithme a été rendu possible grâce aux calculs de réponse dynamique. L'asservissement a ainsi permis de rejeter les pics de résonance. En combinant cette compensation avec un système industriel d'isolation active, le prototype a pu être asservi à son extrémité libre en passant de 7,8 nm à 0,13 nm à 4 Hz, soit un facteur 60 d'amortissement (Figure 3). Les résultats obtenus et le savoir-faire acquis permettent au groupe de contribuer significativement à la définition technique des futurs collisionneurs linéaires. LAViSta fournit également un système de fixation aux aimants de focalisation finale à des accélérateurs en fonctionnement tel ATF2. Grâce à la conception et à la fabrication d'éléments de support adaptés, à la mise en place d'un test grandeur nature avant installation sur site et à une analyse complexe des réponses des structures, le mouvement relatif entre les aimants et le point d'interaction est meilleur que les spécifications : 5 nm à 0,1 Hz au lieu de 7 nm (Figure 4).

Analyse de physique et résultats

Pour optimiser l'information que l'on peut obtenir par les mesures de vibrations, une analyse sophistiquée du signal doit être effectuée. Tout d'abord, l'acquisition de données doit être faite avec le plus grand soin par le



Figure 2 : Prototype d'un aimant de focalisation finale encastré-libre pour le développement de l'asservissement.

choix de la fréquence d'acquisition en fonction de la gamme de fréquence à étudier, du temps d'acquisition, du fenêtrage et du moyennage adapté. Le conditionnement du signal entre le capteur et le système d'acquisition est également essentiel pour réduire le bruit compte tenu des faibles signaux en sortie de capteurs (signal différentiel, amplificateurs, filtres passe-haut et passe-bas). D'autre part, différentes analyses permettent de comparer les comportements de certains points de mesure, comme la densité spectrale, la cohérence, la fonction de transfert, le RMS intégré (Root Mean Square) et le mouvement relatif. Ce savoir-faire a été acquis en collaboration avec des experts mondiaux au CERN, à SLAC et au KEK. Ces mesures entrent dans les simulations et calculs de réponse dynamique. Ce travail est une contribution reconnue dans le projet ATF2 et notamment par la participation de B. Bolzon pendant 10 mois sur site à KEK à Tsukuba au Japon.

Plan pour 2010-2014

Le groupe LAViSta entend continuer à contribuer à la définition, la conception et la préparation des futurs accélérateurs. Dans le projet ATF2, le financement ANR permet une ouverture vers de nouvelles thématiques après la contribution de LAViSta au support des aimants de focalisation finale. Les mesures de vibrations, de cohérence en fonction de la longueur permettront de mettre en place un générateur de mouvement du sol utile pour les simulations de faisceau ATF2, de déterminer la courbe de stabilisation active idéale et donc d'optimiser les paramètres pour obtenir un

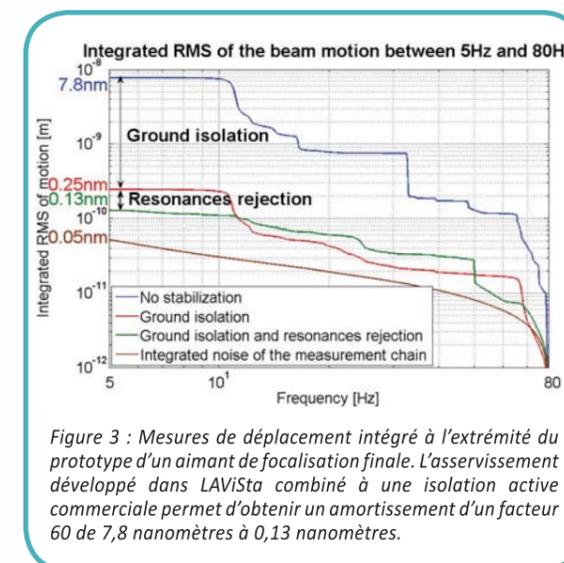


Figure 3 : Mesures de déplacement intégré à l'extrémité du prototype d'un aimant de focalisation finale. L'asservissement développé dans LAViSta combiné à une isolation active commerciale permet d'obtenir un amortissement d'un facteur 60 de 7,8 nanomètres à 0,13 nanomètres.

faisceau de 40 nm. Par la suite, le groupe LAViSta étudiera la possibilité de remplacer les aimants de focalisation actuels par des aimants plus proches encore des aimants qui seront utilisés sur ILC ou CLIC en collaboration avec SLAC et avec le CERN. Une équipe de 3 personnes au moins jusqu'en 2013 sera nécessaire.

LAViSta se propose également de contribuer via le programme européen EuCARD à l'isolation des 4 000 aimants quadripôles du linac de CLIC. Il s'agit là d'un enjeu de faisabilité, de performance et de coût pour CLIC. La démarche sera similaire au développement de la compensation, c'est-à-dire la construction de prototypes croissants en difficulté et en complexité : une petite table d'isolation, un prototype de 2 m de long en collaboration avec le CERN, puis l'intégration finale dans un module CLIC comprenant aimant, cavités accélératrices, système d'alignement et support ; l'objectif étant de stabiliser à 1 nm à 1 Hz. Il s'agira également de mener en parallèle les différents axes d'étude que sont l'instrumentation, l'asservissement et les calculs par EF. Dans la section de la focalisation finale, nous allons élargir l'étude avec SYMME pour développer une stabilisation multi-capteurs/multi-actionneurs avec l'objectif de stabiliser à 0,1 nm à 4 Hz. Une équipe de 3-4 personnes sera nécessaire.

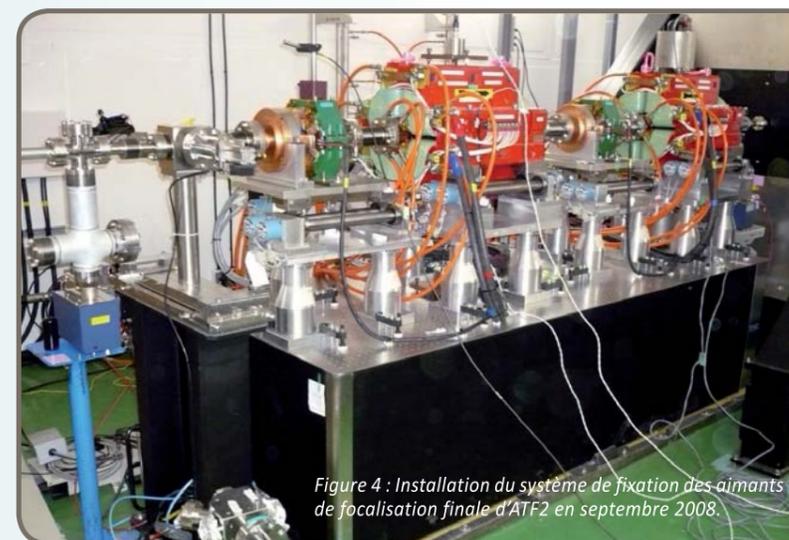


Figure 4 : Installation du système de fixation des aimants de focalisation finale d'ATF2 en septembre 2008.

Publications importantes

1. "ATF2 proposal Vol. 2", B.I. Grishanov et al. (signataires B. Bolzon, N. Geffroy, A. Jérémie, Y. Karyotakis) [arXiv:physics/0606194].
2. "Study of supports for the final doublets of ATF2", B. Bolzon, J.-P. Baud, G. Gaillard, N. Geffroy, A. Jérémie, M. Guinchard, Nanobeam'08, Advanced Beam Dynamics Workshop, Novosibirsk (Russie), LAPP-TECH-2008-04.
3. "Study of vibrations and stabilization at the sub-nanometer scale for CLIC final doublets", B. Bolzon, L. Brunetti, N. Geffroy, A. Jérémie, B. Caron, J. Lottin, Nanobeam'08, Advanced Beam Dynamics Workshop, Novosibirsk (Russie), LAPP-TECH-2008-05.
4. "Active stabilization studies at the sub-nanometer level for future linear colliders", N. Geffroy, L. Brunetti, B. Bolzon, A. Jérémie, B. Caron et al, Mecatronics 2008, 7th France-Japan (5th Europe-Asia) Congress on Mechatronics, Le Grand Bornand (France), LAPP-TECH-2008-03.
5. "Vibration stabilization for a cantilever magnet prototype at the subnanometer scale", L. Brunetti, B. Bolzon, N. Geffroy, A. Jérémie, A. Badel, B. Caron, J. Lottin, 11th European Particle Accelerator Conference EPAC'08, Genova (Italie), LAPP-TECH-2008-01.

Thèses et Habilitations

L. Brunetti, « Rejet de vibrations dans une structure mécanique linéaire », Mémoire C.N.A.M., Conservatoire National des Arts et Métiers, 02 juin 2006.

B. Bolzon, « Etude des vibrations et de la stabilisation à l'échelle sous-nanométrique des doublets finaux d'un collisionneur linéaire » Thèse, Université de Savoie, 12 novembre 2007.

L'équipe du LAPP

Post-doc. : B. Bolzon (depuis janv. 2008)

Doctorant : B. Bolzon (jusque fin 2007)

Equipe Technique : J.-P. Baud, L. Brunetti, G. Deléglise, G. Gaillard, N. Geffroy, A. Jérémie, F. Peltier

Présentations dans des conférences

2007

B. Bolzon, "ATF2 project: Final Doublets support studies at LAPP", LCWS, ILC2007, Hamburg (Allemagne).

L. Brunetti, "Active stabilization of a mechanical structure", LCWS, ILC2007, Hamburg (Allemagne).

A. Jérémie, "A_R&D_2: Design of the linear collider machine-detector interface and ATF-2 at KEK", Workshop FJPPL'07, Tsukuba (Japon).

2008

B. Bolzon, "Study of supports for the final doublets of ATF2", Nanobeam'08, Advanced Beam Dynamics Workshop, Novosibirsk (Russie).

B. Bolzon, "Study of vibrations and stabilization at the sub-nanometer scale for CLIC final doublets", Nanobeam'08, Advanced Beam Dynamics Workshop, Novosibirsk (Russie).

N. Geffroy, "Active stabilization studies at the sub-nanometer level for future linear colliders", Mecatronics 2008, 7th France-Japan (5th Europe-Asia) Congress on Mechatronics, Le Grand Bornand (France).

L. Brunetti, "Vibration stabilization for a cantilever magnet prototype at the subnanometer scale", 11th European Particle Accelerator Conference EPAC'08, Genova (Italie).

Responsabilités du groupe

A. Jérémie assume des responsabilités de coordination dans différents consortiums de financements européens : dans EUROTeV (2005-2008) comprenant 28 instituts dont 3 français, elle était coordinatrice scientifique d'un Work Package (WP7) sur la stabilisation et la métrologie ainsi que le coordinateur scientifique CNRS/IN2P3 en participant au comité de pilotage à la suite de Y. Karyotakis ; dans EuCARD (2009-2012), elle coordonne la tâche « stabilisation » dans le groupe de travail sur les collisionneurs linéaires. Elle est également responsable scientifique du LAPP pour un projet ANR et un PPF.