

UNIVERSITÉ PARIS-SUD

ÉCOLE DOCTORAL 517 :  
PARTICULES, NOYAUX ET COSMOS

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL)  
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN)

THÈSE DE DOCTORAT  
Discipline : Physique

par

Oscar Roberto BLANCO GARCÍA

Dynamique des faisceaux dans la section finale  
de focalisation du futur collisionneur linéaire

Date de soutenance : 03/07/2015

Composition du jury :

Directeur de thèse	Philip BAMBADE	Directeur de Recherche
Co-encadrant	Rogelio TOMÁS	Physicien au CERN
Examineur	Fabien CAVALIER	Professeur
Rapporteur	Jean-Marie DE CONTO	Professeur
Rapporteur	Nobuhiro TERUNUMA	Professeur Associé
Examineur	Toshiaki TAUCHI	Professeur Associé

Thèse de doctorat : Oscar Roberto BLANCO GARCÍA  
Date de naissance : 16/12/1083  
Nationalité : Colombienne  
Numéro d'étudiant : 21118359  
Adresse mail : orblancog@gmail.com  
Numéro de téléphone : +33 7 60 31 45 44

NOM DU LABORATOIRE  
Laboratoire de l'accélérateur Linéaire (LAL)  
ECOLE DOCTORALE  
517 Particules, Noyaux, et Cosmos  
ETABLISSEMENT DE COTUTELLE  
Centre Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN)

TITRE :

Dynamique des faisceaux dans la section finale de focalisation du futur collisionneur linéaire

Résumé :

L'exploration d'une nouvelle physique à l'échelle d'énergie des « Tera electron Volt » (TeV) nécessite de collisionner des leptons dans de grands accélérateurs linéaires à grande luminosité. Ils permettent des mesures de précision avec une statistique suffisante pour analyser les interactions entre les particules. Afin d'atteindre une grande luminosité, les collisionneurs linéaires requièrent une taille de faisceau à l'échelle nanométrique au Point d'Interaction (IP).

Parmi les multiples effets participant à la dégradation de la luminosité, la correction de la chromaticité, l'effet du rayonnement synchrotronique et la correction des erreurs dans la ligne sont parmi les trois effets à maîtriser afin de réduire la taille du faisceau dans la Section Finale de Focalisation (FFS).

Ce travail de thèse traite deux aspects importants pour les collisionneurs linéaires : pousser les limites de la conception du FFS, en particulier la correction de chromaticité et les effets radiatifs importants à 3 TeV, et le travail expérimental et d'instrumentation dans une machine de test pour permettre la stabilisation du faisceau.

Actuellement, les projets de collisionneur linéaire dont le « International Linear Collider » (ILC) [1] et le « Compact Linear Collider » (CLIC) [2] sont étudiés en utilisant des schémas de correction de la chromaticité, pouvant être locale, ou non locale.

Cette thèse propose un nouveau schéma de correction de la chromaticité que l'on appellera "non-entrelacé", appliqué ici au projet CLIC. Lors de l'implémentation de cette nouvelle méthode, il a été mis en évidence que le problème principal est la dispersion du deuxième ordre au Doublet Final (FD), qui traverse un sextupole utilisé pour annuler les composantes géométriques restantes. Cela pourrait être résolu en annulant la dispersion du deuxième ordre et sa dérivée en amont du FD.

L'effet du rayonnement peut être évalué par méthode de tracking des particules ou par des approximations analytiques lors de la conception de la maille. Afin d'inclure ces effets du rayonnement et les paramètres optiques de la ligne pendant la conception et le processus d'optimisation, l'effet Oide [3] et le rayonnement dû aux aimants dipolaires [4] ont été étudiés.

Le résultat analytique du rayonnement synchrotronique dans les aimants dipolaires [4] fut généralisé dans les cas où le paramètre Twiss  $\alpha$  et dispersion sont non-nulles à l'IP. Cette généralisation est utilisée pour améliorer le code de simulation PLACET [5] en le comparant avec la solution particulière pour un aimant dipolaire et un aimant dipolaire plus une section droite. La limite théorique du rayonnement d'un photon en moyenne par particule pourrait causer une différence de  $\pm 10\%$  entre le code de simulation et la théorie pour les aimants dipolaires dans le FFS de CLIC.

Le rayonnement dans les aimants quadripolaires finaux imposent une limite à la taille verticale minimale du faisceau, connue comme l'effet Oide. Cette effet est uniquement important à 3 TeV, donc deux possibilités sont explorées pour atténuer sa contribution à la taille du faisceau : doubler la longueur et réduire le gradient du dernier quadripole (QD0), ou intégrer une paire d'aimants octupolaires, un en amont et un en aval du QD0. Une réduction de 4% est obtenue dans la taille du faisceau, cependant, l'effet sur la luminosité est négligeable.

Une partie des exigences du FFS pour les nouveaux collisionneurs linéaires à leptons, en particulier pour ILC, est testée expérimentalement dans l'« Accelerator Test Facility » (ATF), au laboratoire KEK (Japon). La réduction de la taille du faisceau d'électrons en utilisant le schéma local de correction de la chromaticité est explorée dans une extension de la ligne originale, appelée ATF2, dont les objectifs : (but 1) atteindre 37 nm de taille verticale du faisceau à l'IP, et (but 2) stabiliser à l'ordre du nanomètre la position verticale du faisceau à l'IP.

Depuis 2014, une taille de 44 nm avec un nombre de particules d'environ  $0.1 \times 10^{10}$  par paquet est atteinte de manière régulière. Des mesures de position du faisceau basés sur des cavités de radio-fréquence sont utilisés pour détecter le déplacement/des fluctuations du faisceau et permettre aussi sa stabilisation.

Un ensemble de trois cavités (IPA, IPB et IPC) sur deux systèmes de déplacement à base d'actionneurs piezo-électriques installées est utilisé pour mesurer la trajectoire du faisceau dans la région de l'IP, fournissant ainsi des informations pour reconstruire la position et l'angle à l'IP. Les spécifications pour l'optique nominale d'ATF2, i.e. 1 nm de résolution sur 10  $\mu\text{m}$  de gamme dynamique à un nombre de particules de  $1.0 \times 10^{10}$  par paquet, n'ont pas encore été atteintes. La meilleure résolution atteinte jusqu'ici correspond à 50 nm pour  $0.4 \times 10^{10}$  particules par paquet, où le bruit de l'électronique impose une limite de 10 nm par cavité sur la résolution. La gamme dynamique est de 10  $\mu\text{m}$  à  $0.4 \times 10^{10}$  particules par paquet moyennant une atténuation du signal des cavités de 10 dB. La calibration des cavités dans le plan vertical indique une linéarité de l'ordre de quelques percent sur deux ordres de grandeur d'atténuation du signal. L'intégration de ces cavités dans l'ensemble des instruments utilisés pour le réglage d'ATF est en cours. Le test du système d'asservissement pour stabiliser le faisceau a atteint une réduction des fluctuations jusqu'à 67 nm RMS, compatible avec la résolution des système de mesure.

Deux améliorations ont été faites sur le système après ces études. En premier lieu, les plans horizontaux et verticaux pourront être analysés simultanément. En second lieu, des filtres ont été intégrés au système pour réduire l'effet de la désadaptation en fréquence dans le processus de « down-mixing » des signaux.