

# DYNAMIQUE DES FAISCEAUX DE PARTICULES POUR LES UPGRADES DU LHC

## DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Inauguré en 2008, le LHC est à ce jour le plus grand et le plus puissant accélérateur de particules au monde. Pour poursuivre l'exploitation et augmenter les performances de cette machine, des changements sont planifiés: une nouvelle configuration, appelée High Luminosity LHC (Haute Luminosité LHC) et un nouvel anneau d'environ 100 km (Future Circular Colliders FCC), qui dépendent d'avancées technologiques décisives. En particulier les aimants seraient construits en technologie Nb3Sn, qui permettrait d'augmenter le champ magnétique et leur ouverture.

La qualité du champ (l'homogénéité) de cette nouvelle technologie va influencer la dynamique du faisceau. Des concepts avancés de modélisation et simulation doivent être pris en compte dans la conception des nouveaux accélérateurs car des imperfections même très faibles pourraient avoir un impact important, en particulier, sur la dynamique à long terme de l'anneau de 100 km.

Dans les études numériques et dans les simulations des accélérateurs circulaires, l'intégration symplectique fournit un outil essentiel pour étudier le comportement à long terme de la dynamique de particules. L'intégration symplectique est une façon de résoudre les équations différentielles numériquement en reformulant le problème en termes de « cartes de transfert ». Les avantages de cette approche par rapport aux algorithmes largement utilisés comme le Runge-Kutta sont liés au fait qu'elle est symplectique et qu'elle demande moins de temps de calcul. Le calcul des cartes de transfert non linéaires de particules chargées est possible au moyen de techniques avancées d'algèbre.

Les éléments des accélérateurs peuvent avoir une contribution non négligeable liée aux non linéarités, ce qui est en particulier le cas des aimants supraconducteurs de grande ouverture. L'inclusion de ces effets exige un modèle détaillé et réaliste du champ magnétique des aimants, y compris de ses champs de fuites. La description précise de ces champs magnétiques peut être obtenue par différents codes à éléments finis (par exemple le ROXIE du CERN utilisé pour générer la figure 1), sous la forme de champ à 3 dimensions sur une grille ou également sous la forme d'harmoniques longitudinales, comme illustré dans la Figure 2. A partir de ces champs et

en utilisant les transformées de Fourier, il est possible de calculer le potentiel vecteur  $A$  qui est requis pour calculer la « carte de transfert ». Afin de décrire correctement la dynamique du faisceau dans les accélérateurs circulaires de hautes énergies des « cartes de transferts » non linéaires précises, suivant la procédure décrite plus haut, sont nécessaires tant pour les quadripôles de grande ouverture que pour les dipôles. Pour les quadripôles une carte de ce type a été obtenue récemment par l'équipe de recherche au sein de laquelle le/la candidat/e sera intégré/e. Pour les dipôles une telle carte n'a pas encore été dérivée même si elle est fortement demandée par la communauté des accélérateurs des hautes énergies. L'obtention de cette carte représente l'un des objectifs majeurs de cette thèse.

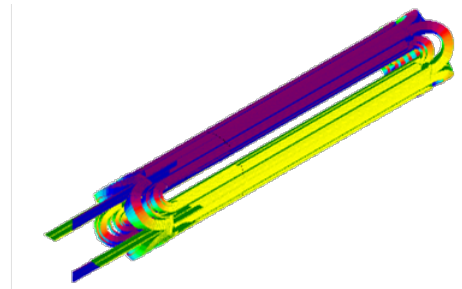


Figure 1 : « Conception d'un prototype de quadripôle pour HL-LHC d'après les études de S.I. Bermudez et E. Todesco, CERN. »

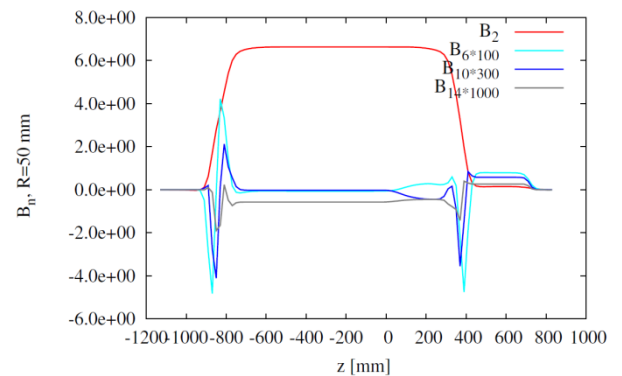


Figure 2 : « Harmoniques longitudinales du champ magnétique généré par le quadripôle de la Figure 1. »

## DESCRIPTION

### GROUPE/LABO/ENCADREMENT

Le travail de thèse s'effectuera au sein du Service des Accélérateurs, de Cryogénie et de Magnétisme de l'Irfu, dans le Laboratoire d'études et développements des accélérateurs (Léda) qui possède des compétences reconnues en

simulation, conception, réalisation et tests de systèmes de production, de transport et d'accélération de faisceaux de particules chargées.

Le/la doctorant/e sera principalement encadré/e par Barbara Dalena, physicienne des accélérateurs et spécialiste des faisceaux de haute énergie. Il/Elle sera en outre entouré/e d'équipes scientifiques et techniques spécialisées en dynamique des faisceaux ainsi qu'en conception et réalisation d'aimants supraconducteurs (laboratoire LEAS).

### TRAVAIL PROPOSE

Le/a doctorant/e étudiera la « carte de transfert » d'une particule chargée pour un quadripôle de grande ouverture et pour un dipôle, et il / elle la comparera avec la mise en œuvre actuelle de SixTrack (code CERN utilisé pour étudier la dynamique à long terme de LHC). Les deux intégrateurs seront comparés d'abord dans leurs aspects théoriques et ensuite dans leurs résultats numériques.

De plus, le calcul de la « carte de transfert » en utilisant les données du code à élément finis pourra être comparé avec la même carte calculée en utilisant les mesures des aimants prototypes, qui sont actuellement en construction au CERN de Genève et au FERMILAB de Chicago. La possibilité de mesurer et quantifier ces effets non-linéaires dans le LHC au CERN et de proposer des mesures est également prévue.

### FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Le/la candidat/e devra être titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur ou de physique et spécialisé/e en modélisation et méthodes numériques. Il devra dans tous les cas avoir un excellent niveau général en physique afin d'être capable d'apprendre les problématiques liées au sujet et de proposer de nouveaux modèles et de nouvelles mesures expérimentales.

### COMPETENCES ACQUISES

A travers ses activités de simulation et de modélisation, le/la doctorant/e apprendra à exploiter des codes de calculs existants. Il devra également développer de nouveaux modèles puis les coder, les valider et les utiliser. Il/elle sera également appelé/e à développer des programmes d'analyse de données.

De plus, ce sujet permettra au/à la candidat/e d'acquérir une vision du fonctionnement des

grands accélérateurs de particules, en particulier des défauts de réalisation des aimants et leurs implications sur les accélérateurs.

Le/la doctorant/a participera activement à un programme expérimental et analysera des données provenant du CERN et d'autres laboratoires de haute énergie. En définitive, au cours de sa thèse, le/la candidat/e assimilera des connaissances spécifiques à la physique des accélérateurs qui lui permettront, s'il/elle le souhaite, de poursuivre une carrière dans ce domaine de recherche. Mais surtout, il/elle acquerra des compétences génériques à la modélisation physique, à la programmation et à l'expérimentation qui pourront être par la suite valorisées dans d'autres domaines de recherche ou dans l'industrie.

### COLLABORATIONS/PARTENARIATS

La thèse s'insère dans le cadre de la conception des futurs collisionneurs circulaires (FCC) et des études pour l'amélioration de la luminosité du LHC (HL-LHC). Dans ce contexte, des collaborations sont envisagées avec les laboratoires soutenant ces projets, comme le CERN de Genève et le FERMILAB de Chicago.

### CONTACTS

Dr. Barbara Dalena, physicienne

✉ : [Barbara.Dalena@cea.fr](mailto:Barbara.Dalena@cea.fr)

☎ : 00 33 1 69 08 6197