
Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Détecteurs et instrumentation associée

PROJET ITS3 D'ALICE

Contact

Nom : Iouri Belikov

Affiliation : IPHC - Strasbourg

Email et coordonnées : iouri.belikov@iphc.cnrs.fr, tel 03 88 10 68 74

Auteurs

IPHC : Jérôme Baudot, Claude Colledani, Christine Hu-Guo, Serhiy Senyukov,

Arthur Gal, Boris Hippolyte, Marc Imhoff, Christian Kuhn, Antonin Maire, Fouad Rami

Collaborateurs internationaux

CERN : Magnus Mager, Luciano Musa

INFN-Bari : Vito Manzari

1. Informations générales

Titre : Projet ITS3 pour ALICE

Acronyme : ITS3

Résumé

Le programme de physique associé au détecteur ALICE requiert la reconstruction des trajectoires des particules de faibles impulsions. Pour celles-ci, les performances des trajectomètre sont gouvernées par le budget de matière des couches de détection.

Le projet ITS3 propose de gagner un ordre de grandeur sur ce paramètre limitant, en exploitant la technique du *stitching*, combinée à une technologie de circuits-intégrés avec une taille de grille de 65 nm, pour créer des capteurs de grande surface et autoportants à pixels CMOS. Le calendrier vise une installation lors du *Long Shutdown 3* du LHC (2024-2026).

Le domaine technologique

- Détecteurs semi-conducteurs en silicium et monolithiques
- Mécanique de précision

La motivation principale de recherche visée par la contribution

- R&D trajectographe
- Caractérisation du Plasma de Quarks et Gluons via détection des hadrons de saveurs lourds et di-électrons de masses faibles

Une contribution associée concernant le programme de physique (caractérisation du Plasma de Quarks et Gluons) sera soumise au GT03 – physique hadronique

2. Description des objectifs scientifiques et techniques

Parmi les quatre grandes expériences du collisionneur LHC, ALICE est la seule à pouvoir étudier les collisions d'ions lourds ultra-relativistes avec des signaux issus de particules chargées de faibles impulsions ($p_T < 200-300 \text{ MeV}/c$). Son système de trajectométrie interne, dont la deuxième version (ITS2) [1] entièrement équipée de capteurs à pixels CMOS est en cours d'installation, permettra par exemple à partir du RUN 3 (2021 - 2023) d'accumuler une statistique significative de désintégrations de baryons charmés ou beaux tels que Λ_c et Λ_b .

L'exploitation des données du LHC à partir du RUN 4 (2027 - 2029), donnerait accès aux spectres des hadrons rares jusqu'à des impulsions quasi-nulles et amènera à considérer en détails de signaux délicats comme celui des di-électrons de masses faibles. Cependant, le trajectographe interne se heurtera alors à la limite du budget de matière.

La collaboration ALICE propose de dépasser le verrou du budget de matière en modifiant radicalement la forme des capteurs équipant les premières couches de détection, ainsi que leur montage dans l'expérience. La technologie de fabrication des circuits intégrés dite de *stitching* autorise en effet la conception de capteurs à pixels CMOS de grande surface, couvrant plusieurs centaines de cm^2 en un bloc. Après amincissement à une épaisseur de 20 à 40 μm , ces capteurs acquièrent suffisamment de souplesse pour adopter une forme cylindrique ou semi-cylindrique rigide. Quelques capteurs suffisent alors à compléter une couche de détection entière sans avoir besoin dans le volume fiduciaire de support mécanique ou de câbles de connexion. C'est le projet ALICE-ITS3 [2]. En suivant cette approche, le budget de matière d'une couche de détection diminue d'un ordre de grandeur et passe de 0.3 % de X_0 pour la version actuelle à 0.05 % de X_0 pour la version proposée. Par ailleurs, l'absence de support mécanique et de recouvrement entre les secteurs concertants habituellement une faible portion de l'acceptance azimutale, rend le budget de matière quasi-uniforme favorisant les performances des algorithmes de reconstruction des traces. Enfin, la réduction de deux ordres de grandeurs du nombre de capteurs à mettre en œuvre, permet d'accélérer significativement la phase de construction.

La conception de capteur de si grande surface s'accompagne d'un certain nombre de défis techniques, même si les caractéristiques de base des pixels restent proches de la version ITS2 en cours d'installation. Parmi ces problématiques, on retrouve la distribution des tensions et le maintien d'une vitesse de lecture adéquate des pixels en beaucoup plus grand nombre sur un seul circuit. Aussi, le développement proposé envisage le passage à une technologie avec une taille de grille de 65 nm, qui devrait offrir des performances accrues pour les capteurs CMOS par rapport à la technologie employée actuellement (taille de grille de 180 nm).

Les progrès recherchés à travers ce projet intéressent les trajectomètres pour lesquels le budget de matière représente une nuisance majeure. C'est le cas en particulier des collisionneurs leptoniques [3,4,5], qui seront des partenaires naturels pour ce développement.

3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs

Le projet ITS3 vise une installation pendant le prochain *Long Shutdown 3* (LS3, 2024 - 2026) du LHC et propose par conséquent un démarrage de la R&D à partir de 2020. Un document *Technical Design Report* (TDR) sera rédigé en 2022 en vue d'obtenir un accord pour la construction. Face aux échéances très proches et à la nouveauté des concepts envisagés, une collaboration internationale avec une très forte expertise est mise en place. Elle s'appuie notamment sur les partenaires ayant conçu l'ITS2 actuel, dont le CERN et l'INFN.

Le groupe Strasbourgeois accompagné de la plateforme C4PI entend s'investir dans la conception des capteurs CMOS et dans le développement des logiciels pour la simulation et la construction pour le nouveau détecteur. Les activités d'amincissement et de courbure des capteurs de grande surface, ainsi que celles concernant l'intégration et la modification du tube à vide, seront essentiellement couvertes par les autres partenaires de la collaboration.

Pour la phase de R&D sur les capteurs, la première année sera focalisée sur la validation du procédé CMOS 65 nm. Si cette technologie ne donnait pas satisfaction, le projet continuerait avec le procédé CMOS actuel 180 nm. Ce recul éventuel ne met *a priori* pas en danger la faisabilité du concept principal, à savoir l'enroulement des capteurs autour du tube à vide. Le passage au procédé 65 nm autoriserait en plus des performances accrues, par exemple en termes de vitesse de lecture.

Une fois la technologie choisie, un premier prototype de taille intermédiaire serait conçu en 2021, puis testé pour obtenir en 2022 le premier capteur à la taille finale.

Les autres secteurs de la phase de R&D avanceront au même rythme pour garantir une synchronisation des résultats nécessaires à l'écriture du document TDR.

La phase de construction commencera avec la conception et la fabrication du capteur final, potentiellement en 2023. La conception géométrique simplifiée par la grande surface du capteur permettra un assemblage des couches de détection en une année afin d'être prêt, selon le calendrier du LS3, pour les dernières étapes d'extraction des couches actuelles et d'installation des nouvelles.

Le coût hors-personnel de la phase de R&D est actuellement estimé à 1900 kCHF, déjà partiellement couvert par l'INFN et le programme *Roadmap R&D* du CERN. Les innovations proposées présentent un intérêt majeur pour la trajectométrie, à la fois avec technologie de *stitching* et le passage au procédé 65 nm, qui pourrait devenir le standard de la prochaine décennie pour les capteurs CMOS. Un lien naturel se tissera entre les différents projets pour partager les coûts de la R&D, par exemple à travers le programme Européen FP9-AIDA++ en cours de montage.

Le coût de la construction s'élève environ à 3400 kCHF.

4. Impact technologique et industriel

Le projet ITS3 pourrait être le premier projet de notre communauté académique à exploiter la technologie 65 nm pour concevoir des capteurs à pixels. Cette technologie définira probablement alors l'état-de-l'art pour environ une dizaine d'année. Il est donc crucial que les équipes de l'IN2P3 puisse y avoir accès dès son introduction, notamment la plateforme C4PI.

Par ailleurs, dans le domaine de l'imagerie scientifique, certaines des applications actuelles des capteurs à pixels CMOS développés pour la trajectométrie des particules chargées sont demandeuses de surface de détection plus grande. C'est évident pour la radiographie X mais également pour la radiographie avec des faisceaux de protons (protonCT). La maîtrise de la technologie du *stitching* devrait permettre un bond en avant pour ce type d'applications.

5. Références

- [1] The ALICE collaboration, *Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Inner Tracking System*, [CERN-LHCC-2013-024](#), *J. Phys. G* **41** (2014) 087002.
- [2] The ALICE Collaboration, *Expression of Interest for an ALICE ITS Upgrade in LS3*, [ALICE-PUBLIC-2018-013](#).
- [3] A. Besson, *The ILC Vertex Detector requirements*, [PoS Vertex 2016 \(2017\) 047](#).
- [4] A. Abada *et al.*, *FCC-ee: The Lepton Collider*, CDR vol.2 [Eur. Phys. J. Special Topics](#) **228** (2019) 261–623.
- [5] The CEPC Design Study Group, *CEPC Conceptual Design Report*, IHEP-CEPC-DR-2018-02, [arXiv:1811.10545](#)