

Compte-rendu du Conseil Scientifique du LLR du 18 janvier 2024

Ordre du jour :

- CMS: design of the wagon boards
- Electron Ion Collider
- Hyper-Kamiokande: follow-up (HKROC, test benches, software...)

Divers :

Toutes les présentations sont disponibles sur le site :

<https://indico.in2p3.fr/event/31699/>

CMS: Wagons (Olivier Le Dortz)

Le High Granularity CALorimeter (HGCal) est le détecteur qui remplacera la calorimétrie à l'avant de CMS pour la phase de haute luminosité du LHC, prévue pour 2029. Le laboratoire est fortement impliqué dans la conception et la construction de ce nouvel instrument.

La partie électromagnétique de HGCal est composée d'éléments appelés "cassettes" (156 au total) constitués d'une plaque de refroidissement en cuivre (fabriquée au LLR) sur lesquels sont fixés des "modules" contenant le capteur Silicium et l'ASIC de front-end appelé HGCROC (conçu par OMEGA, et testé au LLR). Des cartes électroniques sont attachées au-dessus des modules : les "engine" et les "wagons". Ils existent en deux types, "High Density" (HD, plus près du faisceau) et "Low Density" (LD). Les wagons HD sont plus complexes que les LD (purement passifs) et contiennent 3 ASICS : RAFAEL (fanout) et les concentrateurs de data et de trigger ECON-D et ECON-T. Les wagons HD ont pour rôle d'envoyer les données data et trigger des modules aux "engines" via des liens à 1.28 Gbits/s, mais aussi de transmettre les informations d'horloge et de contrôle rapide des "engine" vers les modules. Il en existe 9 variantes.

En décembre 2022, le management de HGCal a lancé un appel à la collaboration afin de prendre en charge la conception des wagons HD, suite à la défection de l'Université du Minnesota (UMN). Après de nombreux échanges, le LLR a décidé en avril 2023 de s'occuper d'une variante couvrant 3 modules et à son arrivée en mai 2023, Olivier le Dortz s'est attelé à la tâche. Ce wagon présente plusieurs difficultés techniques : épaisseur ne pouvant pas dépasser 1.2 mm pour une longueur d'environ 50 cm, grand nombre de lignes séries rapides et zones d'exclusion (trous pour les fixations mécaniques).

Avec l'aide du LPC Clermont pour le placement/routage, un premier design a été livré début novembre 2023. Une revue a eu lieu en décembre 2023 avec des experts du CERN et de l'UMN afin de vérifier les aspects mécaniques et d'intégrité du signal. Des retouches doivent être désormais effectuées pour répondre aux remarques de la revue mais cela pourrait nécessiter de passer à un routage sur 12 couches plutôt que 10.

A court terme, un prototype sera fabriqué et testé après validation des plans finaux. La fabrication du PCB et son assemblage sont à la charge de l'UMN et les tests seront conduits au CERN. En fonction des retours, d'éventuelles nouvelles modifications sont à prévoir. En outre, se pose désormais la question de la prise en charge d'autres variantes de wagons HD. Olivier mentionne que, selon les disponibilités du LPC, la prise en charge d'au moins une ou deux autres variantes est envisageable. La partie placement/routage pourrait être aussi faite au LLR dans le futur. Il faut noter que cette activité se place dans un contexte plus global de HGAL où les cassettes finales doivent être validées fin 2024 afin que démarre la production des cassettes, probablement en 2025.

Avis du Conseil Scientifique

Le CS prend note de cette nouvelle activité et félicite le travail rapide et efficace d'Olivier. Il se réjouit de la collaboration fructueuse entamée avec l'équipe de Clermont-Ferrand. Un travail important sur la prise en main d'outils de simulation a été effectué pour mener à bien ce projet (Sigrity,...) et le conseil félicite aussi le groupe électronique pour cette montée en compétence qui sera sans nul doute bénéfique à de futurs projets au laboratoire.

Electron Ion Collider (Matthew Nguyen)

Le Electron Ion Collider (EIC) est un projet de collisionneur auprès de Brookhaven National Lab (BNL), capable de délivrer des faisceaux d'électrons et de protons polarisés (à plus de 70%) ainsi qu'une grande variété d'ions (jusqu'à l'Uranium). L'énergie dans le centre de masse ($\sqrt{s_{NN}}$) pourra aller de 29 à 140 GeV et l'EIC sera capable de délivrer 10 à 100 fb par an. Deux points d'interaction sont prévus. Le début de l'exploitation scientifique est prévu en 2033.

Le programme de physique est vaste et promet de faire d'importants progrès sur des questions fondamentales : origine du spin et de la masse du nucléon, imagerie en 3D de la structure du nucléon (distribution en impulsion transverse des partons, fonction de distribution de partons généralisée), etc... Les collisions électrons-ions permettront aussi d'obtenir des fonctions de distributions de partons nucléaire plus précises, d'observer et d'étudier les régimes de saturation de gluon ou d'étudier la QCD dans la matière nucléaire "froide" (hadronisation, perte d'énergie des partons).

Le "ePIC detector" est le projet de détecteur en cours d'étude pour l'un des deux points d'interaction, l'autre n'ayant pas de projet associé à l'heure actuelle. Il est composé de nombreux sous-systèmes : un tracking basé sur des MAPS (Monolithic Active Pixel Sensors) et MGPD (Micro Pattern Gaseous Detectors) plongé dans un champ magnétique de 1.7 T, un détecteur de temps de vol et des détecteur Cherenkov pour l'identification des particules, des calorimètres électromagnétiques et hadroniques (avec des solutions différentes selon que l'on se trouve dans la direction du faisceau d'électron ou de hadrons) ainsi que des instruments très à l'avant ou l'arrière.

Le "electron-going" calorimètre électromagnétique (EEEMCal) est l'intérêt principal du LLR. Il couvre la région en pseudo-rapacité $-3.5 < \eta < -1$ et est crucial pour la détection des électrons diffusés venant de Deep Inelastic Scattering ou des photons directs de Doubly Virtual Compton

Scattering. Une excellente résolution est requise ($2\%/ \sqrt{E}$ avec un terme constant de 1%) ainsi que des capacités d'identification (rejet des $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, distinction e-/pion) et de collection des photons émis par bremsstrahlung jusqu'à des énergies très basses (100 MeV).

Le design actuel est basé sur l'utilisation de 3000 cristaux de PbWO₄ lus par des SiPM. La conception de la structure mécanique est assurée par IJCLab, qui a également produit des premières simulations. Deux solutions sont à l'étude pour l'électronique de lecture des SiPM : une basée sur des "Flash ADC"/FPGA et une autre, portée par le LLR, basée sur HGCROC, la version pour SiPM de HGCROC. Cette dernière a déjà été choisie pour le calorimètre hadronique à l'avant de ePIC. En outre, le laboratoire OMEGA est d'ores et déjà en train de travailler à une version spécifiquement dédiée aux conditions de prise de données de l'EIC, appelée "CALOROC" et modifiant notamment la fréquence d'horloge et l'auto-trigger.

Une douzaine de physiciens et d'ingénieurs de IJCLab, LLR et OMEGA sont pour l'instant impliqués dans le projet, à divers degrés, avec pour but de démontrer que la solution inspirée de HGCROC répond aux exigences de EIC. Des premiers tests d'injection de signal ont eu lieu à OMEGA avec la "dark box" laser afin de mesurer les pics de photoélectrons pour différents SiPM. Un setup a aussi été mis en place au LLR. Ces tests montrent des difficultés à observer les signaux d'intérêt pour des SiPM de grande aire (au-delà de 9 mm², 36 mm² étant pour l'instant le choix de ePIC). Des mesures de caractérisation des SiPM sont également en cours à IJCLab, ainsi que des simulations de la chaîne SiPM+HGCROC à OMEGA.

Le calendrier de l'EIC prévoit que la phase de construction démarre fin 2026 pour que la phase scientifique ait lieu à partir de 2033. Le EEEMCal doit être prêt entre mi-2029 et mi-2030. Un Technical Design Report (TDR) doit être écrit en 2025. Si le calendrier exact de décision entre les deux solutions d'électronique de lecture n'est pas clair, compléter les études durant l'année 2024 semble judicieux. Un post-doctorant rejoindra le LLR à l'automne pour renforcer l'activité et assurera la suite de Lida, qui soutiendra sa thèse en 2025.

Recommendations

Le CS reconnaît l'importance des thématiques scientifiques fondamentales abordées par l'Electron Ion Collider. La physique hadronique est un domaine déjà étudié au LLR, avec entre autres la participation à H1 ainsi que l'étude du Quark-Gluon Plasma (NA50, RHIC, CMS, LHCb), même si le QGP ne fait pas partie des sujets de l'EIC.

A ce jour, Matthew Nguyen est le seul physicien permanent du laboratoire qui affiche sa volonté de participer à EIC. Il envisage de terminer son activité sur CMS-ions lourds après le run 4 au LHC (fin 2032), ce qui permettrait une transition progressive sur EIC jusqu'au démarrage de celui-ci. Le CS note que la question du renforcement de l'équipe EIC au LLR se posera à moyen terme.

Le CS apporte son plein soutien aux études exploratoires lancées par Matt Nguyen afin de participer à la conception de l'instrument EEEMCal. Le CS souligne en effet la pertinence de la contribution technique proposée, laquelle s'inscrit dans l'expertise historique du laboratoire sur la calorimétrie, renforce les liens avec OMEGA et valorise l'expérience acquise avec CALICE, CMS-HGCAL et HyperKamiokande sur la caractérisation d'ASICs.

Hyper-Kamiokande : follow-up (Benjamin Quilain)

L'expérience HK est en préparation pour un démarrage en 2027, avec une masse sensiblement équivalente à 8 fois celle de SK. Le calendrier est respecté, que ce soit pour l'excavation de la cuve que pour la production des PMs.

Le programme de physique est vaste et a été présenté lors des précédents CS. De façon cohérente avec les activités du groupe neutrinos dans SK et T2K, le groupe HK est fortement impliqué dans la mesure de la violation de CP ainsi que dans celle du DSNB (Diffuse SuperNova Background). Par exemple, la courbe officielle de sensibilité de HK pour la mesure de δ_{CP} a été faite au LLR.

En 2022, la collaboration n'a pas sélectionné la proposition électronique (HKROC) proposée par le LLR, décision que le CS avait regrettée dans le compte-rendu de la réunion précédente (20/10/2022). Le groupe a présenté sa proposition alternative d'implication dans HK :

- Devenir les leaders de la reconstruction et des softs d'analyse en s'appuyant sur l'expertise actuelle dans SK et T2K
- Garantir la participation au projet HK avec des contributions relativement modestes mais visibles
 - Software : base de données
 - Hardware : développer le banc test d'électronique de HK

Softs d'analyse

Le but n'est pas juste d'adapter les softs SK/T2K à HK, mais de les améliorer. Par exemple, le soft de reconstruction de SK date d'il y a plus de 15 ans et ne peut pas être simplement adapté à HK. Le groupe du LLR a commencé en 2023 à développer des nouveaux algorithmes basés sur la technique de Graph Neural Networks (GNN) avec l'aide de F. Magniette, expert GNN. Les deux nouveaux algorithmes (Low Energy et High Energy) donnent de meilleurs résultats que ceux standards. Cependant il reste un long travail de validation avant de convaincre la collaboration à les adopter. Un point important est que ces nouveaux algorithmes sont plus sensibles aux défauts de la simulation actuelle, en particulier celle de l'effet Cherenkov au seuil.

La validation nécessite de comparer les simulations à des données. Le groupe s'engage dans deux voies. La première est d'utiliser les données SK. La seconde est de participer à WCTE (Water Cherenkov Test Experiment), un détecteur Cherenkov (40t d'eau + Gadolinium) sous faisceau au CERN (π, e, μ). L'assemblage est prévu de mai à juillet 2024 et la prise de données entre août et octobre 2024. Il est prévu qu'une postdoctorante (A. Ershova, arrivée fin 2023) travaille sur WCTE pendant un an (+étudiant en thèse en septembre prochain). La contribution de 15k demandée pour cette participation est déjà disponible.

Contribution software

Le groupe avait évoqué le développement d'une partie du calcul « TIER 1 » en France, mais cette partie est actuellement prise en charge par le LPNHE. Le groupe envisage donc de

contribuer au développement d'une base de données qui comprend les données de calibration, les données personnelles des membres de la collaboration, ainsi que les documents internes de la collaboration.

Contribution hardware

Le groupe a commencé à développer un banc test des modules électroniques de HK. La R&D du banc test doit être terminée à la fin de 2024. A terme, il faudra livrer 6 bancs test au CERN (+4 spares), pour tester 1000 modules. L'effort porte actuellement sur la recherche d'un générateur répondant au cahier de charge de HK. Le groupe devra organiser les shifts au CERN (2025-2026) et fournir les experts on-call.

Legacy de HKROC

Concernant le digitiseur HKROC, il avait été observé deux cross-talks (proche et diffus) : le proche a été résolu (J. Nanni) le diffus a été réduit d'un facteur 3 et n'affecte plus les performances au niveau trigger et reconstruction. Deux publications sont en cours. La première (NIM) portant sur l'ASIC, est en cours de finalisation. La deuxième porte sur les performances du digitiseur et nécessite la réception de la version v2 du digitiseur (mai 2024). Le but est de terminer l'activité HKROC fin 2024.

Recommendations

Le CS du LLR félicite le groupe HK pour son implication dans les softs d'analyse et les résultats obtenus. Il l'encourage fortement à poursuivre ce travail ainsi qu'à participer au projet WCTE.

Le CS approuve la décision du groupe HK de prendre la responsabilité du développement du banc test des modules électroniques de HK.

En ce qui concerne HKROC, comme cela avait été écrit dans le précédent compte-rendu, le CS considère qu'il est important d'aller jusqu'au bout du projet et de finaliser les publications en cours. Cependant, le CS pense qu'il faut que le groupe soit vigilant à ce que l'activité HKROC ne dépasse pas 2024.

En revanche, le CS déconseille fortement le groupe HK de s'impliquer dans le projet de développement de la base de données, dans sa forme actuelle, et ce pour deux raisons. La première est d'ordre politique : la responsabilité de ce projet revient actuellement à une personne de l'INFN qui n'a pas l'intention de passer la main. La deuxième est technique : il s'agirait de moderniser par touches successives un soft ancien, en sachant que la migration vers PostgreSQL prévue prochainement impliquerait de refaire ce travail de modernisation. Le CS pense donc que s'impliquer dans ce projet, tel qu'il a été présenté, ne présente qu'un intérêt limité au groupe HK.