

COMPTE-RENDU DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU LPSC 21 et 22 novembre 2024

Rapport sur les activités ATLAS et sources d'ions

Présents : Johan Bregeon, Benoit Clément, Laurent Derome, Fabienne Ledroit-Guillon, Marie-Hélène Genest, Delphine Hardin, Nicolas Leroy, Juan Macías-Pérez, Jean-Sébastien Réal, Nadine Sauzet, Patrice Verdier, Ana Teixeira

Équipe ATLAS

Les activités de l'équipe sont examinées trois ans après leur dernier passage devant le conseil scientifique, en plein run3 du LHC et un an et demi avant le Long Shutdown 3 pour préparer le passage à la phase haute-luminosité du LHC (HL-LHC).

L'équipe contribue à des projets de grande visibilité dans la collaboration internationale ATLAS, à la fois sur les opérations du détecteur, sur les performances de la reconstruction et sur les analyses. Elle participe aussi de façon importante, via les services techniques du LPSC, à la gestion des métadonnées d'ATLAS (informatique) et à la construction du trajectographe ITK pour le HL-LHC (SERM, SDI, électronique). Ses membres sont enfin très présents dans les instances locales et nationales (LPSC, IRNs, IN2P3) ou de la collaboration. Depuis le dernier passage au CS du LPSC en 2021, le nombre de physiciens permanents est stable (un départ en 2022 et l'arrivée d'une CPI en 2025) et l'équipe est renforcée par un post-doc et deux thèses.

Les activités scientifiques et techniques en cours ont été présentées lors de ce CS et sont analysées ci-dessous.

Analyses de physique

Depuis quelques années, l'activité scientifique principale est la recherche de nouveaux quarks dits sombres ne se couplant au modèle standard (MS) que par de nouveaux bosons. Cette activité rentre dans le cadre de la recherche de nouvelle physique et a été motivée par l'absence de découverte de nouvelle physique au run 2 dans les topologies classiques. En particulier l'équipe se focalise sur des hadrons sombres légers dont le temps de vie est non négligeable. La signature d'une telle physique est la présence de jets dont l'hadronisation se situe loin du point d'interaction. Le LPSC est leader dans ce thème avec la présence de la personne contact pour cette analyse dans la collaboration ATLAS, la contribution de deux thèses et de deux post-doctorants. En lien avec cette analyse, un travail de réinterprétation a été commencé en collaboration avec des théoriciens (extérieurs au LPSC).

Cette activité est aussi fortement liée à la reconstruction et l'identification des jets hadroniques dans lesquels le groupe est fortement impliqué : Conception et optimisation des méthodes de reconstruction, étalonnage en énergie et en masse des jets (officiellement adopté par la collaboration). L'objectif de ce travail est une publication en 2025, mais le groupe envisage de poursuivre ce genre d'analyse par des études complémentaires qui permettraient de mieux couvrir l'espace des paramètres.

Avec l'amélioration d'ATLAS pour le run 3 et la généralisation des algorithmes de « machine learning » (ML) et d'intelligence artificielle (IA), certains membres de l'équipe, qui ont acquis

une forte expérience dans ces techniques, envisagent de les appliquer directement à la recherche de jets émergents d'abord par l'identification des jets anormaux pour éventuellement les généraliser à la reconstruction des événements entiers.

Le projet AMI

Le logiciel AMI est dédié à la gestion de méta données scientifiques. Il est développé par le LPSC et est utilisé par ATLAS depuis 16 ans. Ces dernières années, ce logiciel a subi une réécriture complète et une évolution des structures de bases de données ATLAS en vue du HL-LHC. L'expérience n2EDM utilise aussi ce logiciel, et celui-ci est proposé activement à la communauté IN2P3.

ITK

Les engagements du laboratoire sur la construction d'ITK n'a pas changé depuis le dernier CS et sont repris ci-dessous :

Supports inter-couches

La production des supports inter-couches initialement prévue jusqu'en avril 2025 sera retardée mais sans impact sur le planning d'intégration. La conception et les développements faits au LPSC sur les procédés de fabrication ont été validés lors de la revue de design finale et ces derniers sont directement transférables au sous-traitant. La gestion administrative de l'achat est clarifiée et la production sera lancée dès que le CERN sera en mesure de finaliser le modèle complet de l' « outer barrel ».

Services de type 1

La préproduction des câbles de type-2 (câbles de puissance) interviendra début 2025 et la production s'étalera jusqu'en septembre 2026. L'expert au LPSC sera absent la première moitié de l'année 2025 au moment où la carte de test et les premiers bundles doivent être validés. La base de données de production existe et sera validée lors de la préproduction : elle est maintenant prête à être passée en revue par la collaboration.

Assemblage des modules

Le site de collage et de tests des modules est en cours de validation/optimisation. La transition entre le départ du responsable technique et son successeur a été anticipée et n'a pas entraîné de retard. Le site est toutefois en attente de modules pour terminer sa validation complète. Le FDR est prévu pour juillet 2025 et la production entre août 2025 et mars 2027. La main d'œuvre nécessaire en plus du personnel du LPSC déjà programmé est de trois CDD sur budget IR*. Un CDD a déjà été recruté et pourrait être fixé par une NOEMIE en 2025. Deux autres CDD seront à recruter avant le début de la production.

Conclusions du Conseil Scientifique

Le CS félicite l'équipe ATLAS et les services techniques du laboratoire pour leurs contributions à la construction de l' « outer barrel » d'ATLAS pour le run 4 du LHC. Les activités techniques présentées semblent en bonne voie et en temps par rapport au planning du projet. Le CS recommande toutefois d'être vigilant sur les éléments nécessaires à la conclusion de ces

engagements. La conception des supports inter-couche est en attente de finalisation du modèle complet de l'« outer barrel » par le CERN et ne doit pas arriver trop tard au risque d'augmenter la pression sur le rythme de production, surtout si l'unique sous-traitant fait défaut et que la production doit être faite au LPSC. Les services de type 1 sont aussi bien avancés, mais le planning de production actuel (fin de production au troisième trimestre 2027) nécessite de pallier l'absence du principal ingénieur concerné pour les premiers mois de 2025. Le site de collage des modules semble presque prêt et est en attente de modules pour sa validation. Le rythme de production des cellules semble adéquat entre la capacité du site et le planning d'ITK. Le CS recommande de clairement (et fermement) afficher le rythme de production envisagé pour qu'un retard sur la production de modules n'engage pas la responsabilité du laboratoire. Cependant, le CS invite l'équipe et les services techniques à réfléchir en avance au rythme maximum possible en cas de demande de la collaboration. Enfin le CS félicite la direction du laboratoire pour avoir orchestré une transition de six mois avec le responsable technique du projet au LPSC.

Le CS félicite le laboratoire pour la complétion de l'activité refroidissement CO2 et son transfert au CERN.

Le CS félicite les développeurs d'AMI pour la jouvence du code et l'adaptation au besoin d'ATLAS pour HL-LHC. Il reconnaît les efforts pour diffuser ce logiciel dans la communauté IN2P3 et le diffuser en tant que logiciel libre, mais note que ce projet ne bénéficie toujours pas d'appui d'autres laboratoires de l'IN2P3, et que son utilisation en dehors d'ATLAS reste associée à des projets du LPSC. Une réflexion doit avoir lieu entre les développeurs, le laboratoire et des instances de l'IN2P3 pour étudier comment valoriser cet investissement.

Le CS félicite l'équipe pour ses activités scientifiques très visibles dans la collaboration que ce soit sur la reconstruction des jets ou sur la QCD sombre pour les runs 2 et 3. Il note cependant que les perspectives d'analyse pour le HL-LHC ne sont pas bien définies, même si la piste privilégiée semble être la reconstruction globale. Le CS invite les physiciens à poursuivre l'investissement fait sur ML/IA pour la reconstruction de jets en prenant en compte l'amélioration qu'apportera ITK. Vu les échéances, il est conseillé de commencer ce lien entre la reconstruction de jet et l'ITK dès maintenant. Cela permettra une cohérence claire entre les activités techniques et scientifiques actuelles. À terme la reconstruction globale utilisant l'IA permettrait de valoriser les collaborations actuelles ou envisagées dans un futur proche et d'avoir un impact significatif dans la collaboration ATLAS pour le run 4. Cette activité pourrait être renforcée avec des stages de niveau Master 2 et des thèses, avec pour cela une forte recommandation à augmenter le nombre de HDR.

L'arrivée de la CPJ avec, par définition, une nouvelle activité scientifique sera une opportunité pour renforcer une activité existante ou définir de nouveaux axes d'analyse pour le HL-LHC. Il faudra être vigilant à ce que cela n'affecte pas les analyses dans lesquelles l'équipe est engagée avec une forte visibilité déjà acquise au sein de la collaboration.

Le CS note que la réflexion sur l'après HL-LHC n'est pas encore commencée dans l'équipe. Le CS recommande au responsable d'équipe de planifier dans l'année en cours une discussion approfondie sur le positionnement de l'équipe sur les implications scientifiques et techniques et d'impliquer les services techniques du laboratoire dans les activités de R&D déjà entamées.

Activités sources d'ions

Les travaux sur les sources d'ions du pôle « Accélérateurs et Sources d'Ions » du LPSC portent sur l'ensemble de la chaîne de recherche de ce domaine, de la R&D amont, à la simulation et à la conception, fabrication et caractérisation de sources ECR:

- Boosters de charge utilisés dans la chaîne d'accélération des faisceaux radioactifs ;
- Les faisceaux d'ions multichargés dédiés aux accélérateurs d'ions lourds ;
- La R&D expérimentale amont sur les sources d'ions à très haute fréquence 60 GHz ;
- Les études de la physique du plasma RCE par simulation ;
- La R&D sur les sources compactes.

L'expertise et le savoir-faire développés au LPSC sont reconnus internationalement. Ils constituent un ensemble assez unique en France et dans le monde et permettent des travaux de recherche originaux à la pointe de ce domaine technologique.

Les 7 ETPs du pôle travaillant sur cette thématique constituent un groupe jeune et dynamique qui fonctionne particulièrement bien. La spécialisation de chacun de ses membres permet de couvrir les activités sus-citées avec une juste répartition des forces et d'adapter les travaux et priorités en fonction des plannings des projets et de leur évolution. La production scientifique est quant à elle excellente : l'équipe encadre régulièrement des doctorants et veille à publier et à présenter en conférence l'ensemble de ses travaux.

Les différents axes ainsi que les conclusions relatives sont donnés ci-dessous.

NEWGAIN

Le LPSC fournit une contribution essentielle au projet NEWGAIN (Equipex+) de nouvel injecteur d'ions lourds avec un rapport masse sur charge M/Q jusqu'à 7 pour l'accélérateur linéaire SPIRAL2 du GANIL. La source d'ions ASTERICS développée au LPSC est un élément crucial de ce projet qui permettra au GANIL :

- De produire des faisceaux d'ions métalliques à haute intensité jusqu'aux noyaux lourds (U^{34+}),
- De développer un programme de physique nucléaire au potentiel unique par rapport à ses concurrents internationaux.

Le CS félicite l'équipe du LPSC pour son implication et la qualité de sa contribution dans le projet NEWGAIN. Les livrables du LPSC sont bien définis, pertinents et font l'objet d'une « organisation projet » rigoureuse. Le CS note que le calendrier du projet NEWGAIN a évolué depuis sa validation en 2021, avec une source opérationnelle au GANIL pour 2031 (initialement prévu en 2028). Le LPSC n'est pas à l'origine de ce changement, néanmoins, le CS invite la direction du LPSC à une vigilance particulière et d'œuvrer, avec l'ensemble des partenaires du projet, à ne pas introduire de nouveaux retards qui mettraient en danger les aspects innovants et uniques du programme de physique du GANIL dépendant de l'installation de ce nouvel

injecteur. Dans ce contexte, les ressources humaines affichées initialement par le LPSC dans le projet NEWGAIN semblent être inférieures par un facteur 1.5 par rapport à ce qui est maintenant prévu. Le CS recommande donc la direction du LPSC de veiller à l'adéquation en personnels du laboratoire aux différentes phases du projet sur lesquelles le LPSC est engagé.

SOURCE BOOSTER de CHARGES

Depuis le développement de la source d'ions Booster de charges de type PHOENIX qui vise à produire des ions exotiques multichargés, le LPSC a engagé des projets visant à améliorer les performances de cette source (efficacité, taux de contaminants, états de charge) pour effet rétroactif sur les sources du GANIL et du LNL, via une forte activité expérimentale sur une ligne de R&D permettant des tests instrumentaux. Ces projets s'inscrivent dans le cadre du master-projet « Ions radioactifs » soutenu par l'IN2P3, ainsi que dans des contrats de collaboration. Cette ligne instrumentale permet par ailleurs une campagne expérimentale annuelle sur l'étude du plasma RCE, dans le cadre d'une collaboration internationale avec quatre laboratoires.

Le CS encourage l'équipe à poursuivre le développement et l'exploitation de cette ligne et à produire un plan de développement pour les années à venir où les objectifs de performances à atteindre sont quantifiés. Le CS recommande également à l'équipe de consolider ses collaborations scientifiques (GANIL, LNL, Triumf, ...), en étudiant notamment les possibilités offertes à l'international dans le cadre des IRL récemment créés par IN2P3.

SOURCE D'IONS SEISM A TRES HAUTE FREQUENCE

Les accélérateurs du futur devront fournir des faisceaux de très haute intensité ; et, à ce jour, l'augmentation de la fréquence de chauffage des plasmas ECR est la méthode la plus efficace pour accroître l'intensité des faisceaux extraits. Le LPSC est un des trois laboratoires au monde engagé sur le développement de sources d'ions multichargés supraconductrices de haute fréquence : Lanzhou et Berkeley à une fréquence de 45GHz et le LPSC dont le dispositif SEISM à une fréquence de 60 GHz est actuellement installé au LNCMI à Grenoble.

Le CS félicite l'équipe pour les efforts importants réalisés ces dernières années pour relancer ce programme de R&D innovant et unique au monde, notamment grâce à l'implication dans l'EQUIPEX PACIFICS. Le programme à venir pour arriver à la preuve de faisabilité est convaincant et mérite sans aucun doute d'être soutenu. Ce projet est également un cadre idéal pour des thèses et des collaborations internationales pour des campagnes expérimentales de caractérisation de plasma. Le CS note le risque élevé lié à l'instrument fourni par une équipe Russe, le gyrotron à 60 GHz, et avec qui il n'est plus possible de collaborer. Dans l'optique d'un développement à plus long terme, après la réalisation de la preuve de concept, le CS recommande de rechercher une solution alternative permettant de remplacer cet instrument. Le CS invite également la direction du LPSC à une vigilance globale sur le niveau de soutien financier, à fournir ou à trouver, à moyen-long terme, pour maintenir l'ensemble de cet équipement de recherche à la pointe.

MODELISATION PLASMA / ECRIPAC

L'équipe travaille sur l'étude par simulation de la physique du plasma de source d'ions ECR et a notamment développé un code pour simuler la source PHOENIX V2, avec l'objectif de comparer les résultats des simulations avec des données expérimentales issues d'un banc de test du LPSC. Il s'agit d'un travail critique pour la validation des programmes de R&D sur les sources ECR du LPSC. Le CS soutient l'équipe pour finaliser ce code de simulation, qui pourrait faire l'objet d'une thèse ou d'un post-doc, et recommande la recherche de collaborations avec d'autres laboratoires sur cette thématique.

Un autre projet autour des activités de simulation a été initié en 2023 en collaboration avec le laboratoire LAPLACE, dans le cadre d'une thèse, avec l'objectif de proposer un dimensionnement de machine pour effectuer la démonstration par simulation de l'accélération ECRIPAC (« Electron Cyclotron Resonance Ion Plasma Acceleration »). L'objectif de la thèse est de démontrer la faisabilité de l'accélération d'ions 4He^{2+} à des énergies de l'ordre de 10 MeV/A dans une machine ECRIPAC de 3 mètres de long. Le plan de travail pour les 2 années à venir sur les simulations est bien défini. Le projet ECRIPAC est un programme innovant et de fort intérêt pour le futur des sources ECR. Le CS recommande de bien baliser le programme expérimental à venir en fonction des résultats des simulations en cours.

Conclusions générales :

Le CS félicite l'équipe pour la qualité des travaux menés sur les sources d'ions et l'équilibre qu'elle a su trouver pour s'impliquer dans des projets d'envergure nationale et internationale, tout en menant un programme innovant sur les R&D instrumentales amonts et les simulations. La diversité et l'excellence des activités menées sont un terrain propice pour des sujets de thèses. Le CS encourage les membres de l'équipe concernés à soutenir leur HDR et l'ensemble de l'équipe à poursuivre les recherches de candidats et de financements pour des thèses. Enfin, le CS invite l'équipe à étudier les possibilités, notamment au niveau grenoblois, de développer des partenariats industriels sur les aspects technologiques mise en place.