

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

Compte rendu

Conseil scientifique de l'IN2P3
6-7 février 2023

Sommaire

Table des matières

1. Introduction à la séance des 6 et 7 février 2023	4
2. Projet de participation à la seconde jouvence de LHCb	4
2.1 Présentation du projet	4
2.2 Avis	6
2.3 Recommandations	6
3. Introduction sur les ions lourds	7
4. Bilan de l'expérience ALICE et perspectives avec ALICE 3 au HL-LHC	8
4.1 Bilan de l'expérience ALICE	8
4.2 Projets en cours pour le Run 4	9
4.3 Présentation du projet ALICE 3	9
4.4 Avis	10
5. Ions lourds dans CMS : bilan et perspective au HL-LHC	11
5.1 Présentation du projet	11
5.3 Avis	12
6. Ions lourds à LHCb : bilan et perspectives au HL-LHC	12
6.1 Présentation du projet	12
6.2 Avis	13
7. Discussions internes au CSI	13
7.1 Discussions avec la direction	13
7.2 Vie du Conseil	16

Présents (sur place ou à distance) : L. Arrabito, G. Brooijmans, H. Costantini, B. Cros, N. Chanon, O. Drapier, B. Fernández Domínguez, S. Henrot-Versillé, P. Janot, D. Laporte, M. Lindroos, F. Marion, R. Maurice, N. Neyroud Gigleux, C. Nones, B. Ramstein, M. Rousseau, C. Smith, G. Verde, M. Yamouni, F. Yermia

Excusés : R. Trébossen

Invités : P. Balcou (CS CNRS), J. Hernandez (CS CNRS), P. Ghia (Présidente de la section 01)

Orateurs : François Arleo (Subatech), Frédéric Fleuret (LLR), Renaud Le Gac (CPPM), Matthew Nguyen (LLR), Chris Parkes (U. Manchester), Sarah Portebœuf-Houssais (LPC Clermont), Antonio Uras (IP2I)

Rapporteurs : A. Bharucha (CPT), A. Cerri (U. Sussex), F. Le Diberder (IJCLab), P. Krizan (U. Ljubljana)

Membres présents de la direction : U. Bassler, S. Crepe, B. Giebels, R. Pain, L. Vacavant

1. Introduction à la séance des 6 et 7 février 2023

La séance des 6 et 7 février 2023 était dédiée à l'examen du projet de participation de l'IN2P3 à la jouvence de LHCb envisagée pour la dernière phase du LHC à Haute Luminosité (HL-LHC), et à un point d'information sur la physique des ions lourds au HL-LHC. Cette séance s'est tenue à la fois en présentiel et à distance.

Programme de la session ouverte :

1) L'expérience LHCb

1.1) *Introduction* : Motivation scientifique, résultats de LHCb depuis la phase 1, proposition d'une jouvence pour la phase haute luminosité : Chris PARKES (U. Manchester)

1.2) Les contributions envisagées aux nouvelles jouvences pour LHCb à haute luminosité : Renaud LE GAC (CPPM)

2) La physique des ions lourds au HL-LHC

2.1) *Introduction* : La physique des ions lourds, aperçu des résultats actuels et prochains défis : François ARLEO (Subatech)

2.2) La physique des ions lourds avec ALICE, bilan et perspectives au HL-LHC : Sarah PORTEBŒUF- HOUSSAIS (LPC Clermont)

2.3) La physique des ions lourds avec ALICE, ALICE-3 au HL-LHC : Antonio URAS (IP2I)

2.4) La physique des ions lourds avec CMS, bilan et perspectives au HL-LHC : Matthew NGUYEN (LLR)

2.5) La physique des ions lourds avec LHCb, bilan et perspectives au HL-LHC : Frédéric FLEURET (LLR)

Toutes les présentations sont accessibles depuis la page web du CSI IN2P3 :

<https://www.in2p3.cnrs.fr/fr/le-conseil-scientifique-de-lin2p3>

Le présent compte rendu aborde dans un premier temps la participation de l'IN2P3 à la seconde jouvence de l'expérience LHCb (section 2). La deuxième partie du rapport introduit la physique avec les ions lourds (section 3), avant de donner le bilan et les perspectives de la physique des ions lourds au HL-LHC avec les expériences ALICE (section 4), CMS (section 5), et LHCb (section 6). Les discussions internes au Conseil font l'objet de la section 7.

2. Projet de participation à la seconde jouvence de LHCb

2.1 Présentation du projet

L'objectif principal de la collaboration LHCb est l'étude la violation de CP et les désintégrations semi-leptoniques rares dans les secteurs de la beauté et du charme en vue de contraindre la physique au-delà du modèle standard. Avec le temps, ce programme s'est élargi : il aborde également le secteur électrofaible, la spectroscopie d'états exotiques, ainsi que les collisions d'ions lourds et sur cibles fixes. Les contributions des équipes françaises couvrent pratiquement tous ces thèmes.

Le projet présenté devant le Conseil (dénomé ci-dessous "HL-LHCb") concerne les contributions techniques proposées par la communauté LHCb de l'IN2P3 pour la jouvence du détecteur au HL-LHC, avec un déploiement prévu en 2033-2035, pour une exploitation entre 2035 et 2038 (Run 5), et avec une dernière prolongation potentielle en 2040-2041. Il concerne à la fois le calorimètre électromagnétique (ECAL), le système de trajectométrie en amont (UT), l'acquisition des données et le traitement en temps réel, une R&D sur le système de refroidissement des microcanaux du détecteur de vertex (VELO), et enfin une contribution au calcul.

Le projet de jouvence de l'ECAL se décompose de la façon suivante : remplacement et mise à niveau de la chaîne de lecture (IJCLab et LPC), construction des nouveaux modules de "shashlik", amélioration des structures mécaniques (LAPP) et développement de logiciels (IJCLab, LAPP, LPC). La chaîne de lecture doit avoir une résolution temporelle de 20 ps, ce qui nécessite la conception et la réalisation d'un nouvel ASIC et d'une nouvelle carte frontale. A terme, 30 000 canaux de lecture et environ 500 cartes d'électronique frontale équiperont le détecteur. L'ASIC utilisera une technologie basée sur les mémoires analogiques, bien adaptée à la mesure précise en temps. Plusieurs modifications sont prévues pour adapter la structure mécanique aux nouveaux modules et aux cartes frontales supplémentaires requises en utilisant cinq fois plus de câbles de lecture que dans le détecteur actuel. Le LAPP propose de prendre en charge les études de modifications des structures.

Un nouvel UT est nécessaire pour faire face au débit de données prévu au HL-LHC et pour résister aux niveaux de radiations attendus. Une des technologies envisagées consiste à utiliser des pixels en silicium avec la technologie "Tower-Jazz 180 nm" déjà mise en œuvre pour ALICE-ALPIDE et MONOPIX. Un effort sur la simulation est nécessaire pour optimiser la performance du détecteur. Les équipes du LLR, du LPNHE et de Subatech souhaiteraient contribuer à la fois à caractérisation des capteurs silicium et à l'électronique de lecture, ainsi qu'à la conception de la structure mécanique.

Concernant l'acquisition de données, les nouvelles cartes devront augmenter la largeur de bande actuelle de la carte PCIe40 d'un facteur 4, sachant que les futures générations de FPGA disposeront d'une plus grande quantité de mémoire sur puce à grande largeur de bande. La proposition du CPPM, CENBG, IJCLab, LAPP et LPC Caen vise à prendre la responsabilité du développement de la nouvelle carte de lecture, de la conception du matériel et du micrologiciel de bas niveau des FPGA, ainsi que du développement du micrologiciel de toutes les parties communes des sous-détecteurs. Du côté de l'analyse en temps réel pour le HL-LHC, elle devra permettre de reconstruire les événements dans un environnement difficile, avec environ 50 vertex et plus de 2000 traces par collision, à un taux d'entrée entre 5 et 10 MHz et une bande passante de sortie de 50 GB/s. L'analyse devra s'appuyer sur différentes plateformes CPU et GPU. Les propositions de contributions du LPNHE, CPPM, LLR, IJCLab et LAPP concernent le traitement dans la carte de lecture, l'infrastructure multi-plateforme, l'accélération et qualité, les algorithmes de reconstruction pour la trajectométrie et la calorimétrie, ainsi que les outils de calibration et les algorithmes.

Concernant le calcul, la collaboration LHCb à l'IN2P3 prévoit de suivre attentivement les développements, en commun avec les autres expériences du LHC, en coordination avec WLCG et la HEP Software Foundation, pour optimiser l'utilisation de l'espace disque. Une

R&D substantielle est nécessaire pour relever le défi de l'exploitation des architectures modernes.

2.2 Avis

Le Conseil félicite les équipes LHCb de l'IN2P3 pour leurs contributions à la physique de LHCb (allant de la spectroscopie des nouveaux états liés aux oscillations des mésons charmés, en passant par les désintégrations rares et les analyses d'universalité de la saveur leptonique, ainsi que les études de la physique des ions lourds), très visibles tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la collaboration. Le Conseil reconnaît que le programme scientifique de HL-LHCb est parfaitement aligné avec les recommandations stratégiques issues de l'exercice des études prospectives menées par la communauté à l'IN2P3, et que l'expertise des équipes de l'IN2P3 dans leurs configurations actuelles est idéalement adaptée à cette perspective.

Le Conseil est cependant préoccupé par l'amplitude des jouvences proposées par la Collaboration LHCb, qui semble disproportionnée par rapport au retour scientifique attendu. En effet, en passant de 75 fb^{-1} à la fin du Run 4 à 350 fb^{-1} à la fin de HL-LHCb en 2041, l'expérience s'attend à une amélioration de sensibilité d'un facteur légèrement supérieur à 2 (rarement 3) sur la plupart des paramètres à mesurer¹. Les ressources nécessaires aux jouvences proposées, quant à elles, représentent au total environ les deux-tiers du budget de l'ensemble des jouvences de CMS ou ATLAS. Le Conseil note également que ces jouvences sont très tardives, ce qui conduira à un temps d'exploitation plus court et engendra un calendrier encore plus serré, et donc plus risqué, que ceux d'ATLAS ou CMS. Le Conseil est informé par ailleurs que la possibilité d'une extension du LHC au-delà de 2041, supposée compenser un éventuel retard de la jouvence ou une luminosité plus faible qu'espérée, n'est pas actuellement envisagée par la direction du CERN. Pour rappel, l'extension du LHC de 2038 à 2041 n'est pas encore approuvée par le Conseil du CERN.

Le Conseil est néanmoins d'avis que les objectifs en R&D des groupes IN2P3 (mesure de signaux calorimétriques avec très haute précision temporelle (10 ps), détecteurs pixellisés de technologie MAPS, acquisition de données à très haut débit, et analyse de données en temps réel) sont d'un indubitable intérêt pour le futur, y compris plus lointain que HL-LHCb, et méritent donc d'être poursuivis à ce stade.

2.3 Recommandations

Le Conseil estime qu'il est prématuré de s'engager formellement dans les jouvences pour HL-LHCb pour lesquelles le retour sur investissement semble modéré, les risques encore mal évalués, et le budget probablement sous-estimé notamment concernant la partie calcul (qu'il faudrait inclure dans le budget total). De plus, il n'est pas clair que la collaboration LHCb disposera des ressources nécessaires pour s'engager sur tous les éléments proposés.

Pendant que la collaboration étaye le projet, le Conseil recommande à la direction de soutenir les travaux de R&D nécessaires à l'écriture éventuelle d'un TDR à l'horizon 2026. Le Conseil estime que la priorité devrait porter sur les aspects sur lesquels l'IN2P3 a historiquement joué

¹ On peut également noter que l'une des motivations pour HL-LHCb, à savoir une possible déviation par rapport à l'universalité des leptons dans les mesures de R_K et R_{K^*} au Run 1, s'est récemment évanouie suite à une compréhension améliorée du bruit de fond dans le canal "électron".

un rôle important en se concentrant dans l'ordre sur le calorimètre, l'acquisition de données et l'analyse en temps réel.

Entretemps, le Conseil suggère fortement aux équipes de l'IN2P3 de consolider les aspects budgétaires, programmatiques, et liés aux ressources humaines (physicien.ne.s et ingénieur.e.s, technicien.ne.s) ; d'étudier une éventuelle réduction de l'étendue du projet instrumental afin de planifier de possibles choix futurs ; tout en préparant une comparaison détaillée des améliorations de sensibilité prévisibles compte tenu du panorama (i) des expériences et projets en cours au moment du démarrage de HL-LHC et (ii) des expériences post-LHC prévues au CERN et ailleurs.

Executive summary

The Council considers that it would be premature for the IN2P3 to commit to the HL-LHCb proposed upgrades, for which the return on investment seems moderate; the risks are still poorly assessed; and the budget is probably underestimated, in particular for the computing part (which ought to be included in the total budget). Furthermore, it is not clear that the LHCb Collaboration will have the resources to commit to all the proposed elements.

While the Collaboration consolidates the project, the Council recommends that the IN2P3 supports the R&D work needed for the production of a TDR by 2026. The Council believes that priority should be given to the aspects on which IN2P3 has historically played an important role, focusing on calorimetry; data acquisition; and real-time analysis; in this order.

Meanwhile, the Council strongly suggests that the IN2P3 teams (i) consolidate the budgetary, programmatic, and human resources (physicists, engineers, technicians) aspects; (ii) study a possible descoping strategy in order to ease the planning of future choices; while (iii) preparing a detailed comparison of the foreseeable improvements in physics sensitivity, given the overall panorama of ongoing, planned, and future experiments at CERN and elsewhere.

3. Introduction sur les ions lourds

Les expériences qui étudient les collisions d'ions lourds ont pour but d'améliorer notre compréhension des interactions fortes à haute énergie et densité, ce qui inclut tout particulièrement la physique du plasma formé en conditions extrêmes par les quarks et gluons ("quark-gluon plasma" ou QGP). Le QGP est l'état de l'univers environ une microseconde après le big bang, et existe probablement aussi dans le cœur des étoiles à neutrons.

Le QGP est étudié selon de multiples approches, tant par l'examen des propriétés inclusives des événements, avec des phénomènes collectifs comme les anisotropies azimutales, que par la production de "sondes dures" comme les jets, par exemple avec la mesure du taux d'atténuation des jets ("jet quenching"), ou encore par la production des résonances de saveurs lourdes, analysée en fonction de la centralité des collisions. Les observations montrent que le QGP peut être décrit par des modèles hydrodynamiques et une (très) faible viscosité. La phénoménologie est complexe et les nouveaux résultats expérimentaux sont souvent surprenants, demandant autant d'améliorations aux modèles.

Les collisions d'ions lourds permettent aussi d'accéder aux densités partoniques dans des régimes cinématiques différents des collisions de protons, et d'étudier par exemple les évolutions non-linéaires de ces densités. De plus, comme les ions contiennent beaucoup de charge électrique, les sections efficaces de collisions photon-photon sont nettement plus grandes qu'en mode proton-proton, permettant d'étudier des propriétés électrodynamiques comme le moment magnétique du lepton tau, ou de tester l'existence d'axions.

4. Bilan de l'expérience ALICE et perspectives avec ALICE 3 au HL-LHC

4.1 Bilan de l'expérience ALICE

Le détecteur ALICE est dédié aux mesures rendues possibles par les collisions d'ions lourds au LHC. L'objectif principal est l'étude de la physique hadronique à haute température et la caractérisation de la phase de plasma de quarks et gluons (QGP) qui prévalait aux premiers instants de l'Univers. La communauté française travaillant avec le détecteur ALICE comporte une centaine de physiciens, dont 34 permanents de l'IN2P3 qui occupent de très nombreux postes de responsabilité dans la collaboration. Les équipes françaises ont fortement contribué à l'exploitation des résultats de la dernière période de prise de données (Run 2 de 2015 à 2018), et, ce, dans quatre domaines : l'étude des mécanismes de production et des effets collectifs dans le domaine des quarks lourds, l'étude de la production et régénération des quarkonia, la production d'étrangeté, et les mesures avec les sondes dures ou électrofaibles.

L'électronique et l'acquisition du détecteur ont été complètement rénovées à l'issue du Run 2 pour s'adapter à l'augmentation de luminosité et au nouveau concept de lecture continue, qui va remplacer celui de lecture conditionnée par un système de déclenchement. Les équipes françaises ont joué un rôle moteur dans cette opération, en particulier au niveau de la rénovation du bras dimuon avec les chambres à muons (IJClab et Subatech) de l'identificateur de muons (LPC et Subatech) et du système de lecture commun (LPSC). De nouveaux détecteurs ont aussi été construits : le trajectomètre à muons à l'avant ou MFT (Subatech, IP2I et LPC) et le trajectomètre interne ou ITS2 (IPHC), tous les deux basés sur la technologie CMOS de pixels de silicium. Ces quatre projets ont été réalisés dans les délais et avec les budgets prévus.

Ces améliorations ouvrent la voie à des analyses plus fines pour le Run 3 (2022-2025). Ainsi, les capacités de reconstruction de vertex des dimuons du MFT permettront de distinguer, pour les grandes rapidités, les dimuons provenant de différentes sources, suivant leur durée de vie. Pour les rapidités centrales, grâce à l'ITS2, la résolution spatiale sera améliorée pour les vertex primaires et secondaires, ce qui permettra une meilleure réjection du bruit de fond et une meilleure efficacité pour la reconstruction des décroissances de hadrons beaux ou charmés, en particulier aux petites impulsions transverses. Les équipes françaises joueront un rôle important dans l'analyse de données, surtout pour l'étude des processus d'hadronisation et de perte d'énergie des saveurs lourdes dans le milieu. Des mesures inédites, corrélant pour un même évènement des informations à rapidité centrale et à l'avant seront aussi rendues possibles, ainsi que des analyses de nombreuses observables en fonction de la multiplicité.

Le LHC a redémarré en 2022 pour une nouvelle période de prise de données avec des collisions proton-proton. Le temps de faisceau a cependant été réduit de 5 semaines à cause, d'une part, d'un problème cryogénique sur la machine, et d'autre part, de l'augmentation du coût de l'énergie. Les expériences en ions lourds ont ainsi été décalées en 2023. Plusieurs scénarios sont proposés pour la répartition du faisceau en 2024 et 2025, avec différentes options pour les périodes de faisceau en collisions proton-Pb, mais l'objectif de luminosité intégrée de 6.5 nb^{-1} en collisions Pb-Pb pour le Run 3 est maintenu.

4.2 Projets en cours pour le Run 4

De nouvelles améliorations du détecteur ALICE sont proposées pour la période de prise de données du Run 4 (2029-2032). Les équipes du LPSC, IP2I et IPHC sont ainsi impliquées dans le projet ITS3 dont le but est d'améliorer encore la précision dans la partie centrale du détecteur par rapport aux performances de l'ITS2. Ce projet a été évalué par le Conseil en octobre 2022 et est en attente de décision de l'IN2P3. Le projet consiste à remplacer les trois couches internes de l'ITS2 par de nouvelles couches placées plus près du faisceau et comportant des capteurs très fins et de très petite surface. Ces nouvelles couches de détecteurs sont basées sur la technologie de « stitching » 65nm, c'est-à-dire que les capteurs sont intégrés par gravure et suture dans le substrat de silicium. Ces couches seront courbées et de forme cylindrique. Au-delà de l'impact pour ALICE, l'intérêt est de démontrer la maîtrise de la technologie 65nm en vue d'applications futures. Les analyses dépendant de l'activité de l'événement, ainsi que l'étude des saveurs lourdes, dans lesquelles la communauté française est déjà largement impliquée, bénéficieront grandement des performances de l'ITS3.

Deux autres projets pour équiper ALICE au Run 4 ont été proposés : 1) le projet FoCal de calorimètre à l'avant, auquel l'IN2P3 ne participera pas techniquement, et 2) le projet de cible fixe, dans lequel IJCLab était fortement impliqué, mais qui n'a finalement pas été retenu par la Collaboration.

Il est prévu que les groupes français poursuivent leur engagement dans ALICE jusqu'à la fin du Run 4. Il est cependant à noter qu'une diminution des effectifs d'environ 25%, due à des départs à la retraite, est attendue d'ici le début du Run 4. De plus, certaines personnes s'impliquent en parallèle dans des développements techniques sur LHCb et seule la moitié des équipes françaises s'engage dans les projets de la collaboration ALICE au-delà du Run 4, avec seulement 9 FTE prévus en 2027 (en l'absence de nouveaux recrutements).

4.3 Présentation du projet ALICE 3

Le rapport de la stratégie européenne pour la physique des particules publié en 2020 soutient la recherche aux frontières de la physique des particules et de la physique nucléaire, telle la physique des ions lourds, et mentionne l'ambition de la collaboration ALICE de proposer un nouveau détecteur pour un programme avec des faisceaux d'ions lourds dans le cadre de l'augmentation de luminosité du HL-LHC au-delà du Run 4 (Runs 5 et 6). L'exploitation des expériences en ions lourds au LHC ne pouvant être assurée au meilleur niveau au-delà du Run 4 par le détecteur ALICE, les discussions au sein de la collaboration ont conduit à l'élaboration d'une lettre d'intention finalisée en janvier 2022 en vue de la construction d'un nouveau détecteur, dit ALICE 3. Le LHCC a récemment remis un rapport qui encourage l'effort visant à clarifier les buts de physique pour ALICE 3 au HL-LHC. Le projet montre une

continuité par rapport à l'ITS3 en rassemblant les mêmes équipes de l'IN2P3, au LPSC, IP2I et IPHC, qui travaillent déjà conjointement au sein de la collaboration ALICE et se sont engagées ensemble dans le projet de l'ITS3, comme discuté au paragraphe 3.2.

Le programme de physique d'ALICE 3 sera centré sur les études des propriétés de la matière déconfinée et de ses interactions. Parmi les atouts d'ALICE 3, on peut citer une excellente résolution sur la mesure des vertex et des capacités d'identification améliorées, permettant d'augmenter l'efficacité, et d'amplifier le rapport signal/bruit par un facteur 10 à 20 par rapport au Run 3 pour les petites impulsions transverses. Des études de faisabilité détaillées ont été présentées pour différents types de mesures : (i) les distributions de mésons et hadrons B qui permettront de mieux distinguer les effets de la phase déconfinée et de l'hadronisation en comparaison des mésons et baryons charmés, (ii) les corrélations azimutales D-Dbar qui renseignent sur les phénomènes de rediffusion dans le QGP, (iii) la production de baryons multi-charmés, très sensibles aux effets de thermalisation et d'hadronisation et dont l'identification nécessite la reconstruction d'une cascade de décroissances, (iv) les études de quarkonia χ_c , qui peuvent présenter des effets de suppression et de recombinaison différents des états S, (v) les mesures de paire de leptons pour accéder à la température du QGP en fonction de l'évolution de la collision. D'autres études sont aussi envisagées, comme les états nucléaires avec un Λ_c , les photons ultra mous, les collisions ultra-périphériques, les fluctuations du nombre baryonique net et des recherches au-delà du modèle standard. Ces études permettront de poursuivre l'exploration du diagramme de phase de QCD à haute température, au-delà de 2035, en complément de celles prévues à plus basse énergie avec FAIR, NICA et éventuellement au SPS.

Le projet ALICE 3 prévoit un détecteur compact « tout silicium » de grande acceptance, avec une excellente résolution sur le point d'interaction et avec une lecture et une acquisition de données très rapide. La conception du trajectomètre interne est basée sur l'ITS3, avec, très près du faisceau, trois couches cylindriques de capteurs CMOS courbés et amincis à 30 μm , et des couches externes disposées à 80 cm de l'axe faisceau au maximum avec une grande surface active (66m²). L'identification des particules s'appuie sur un détecteur RICH et un détecteur de temps de vol à base de silicium. Un calorimètre électromagnétique, un identificateur de muons et un convertisseur de photons aux angles avant complètent le détecteur.

Les études de R&D vont se poursuivre avec la réalisation de plusieurs générations de prototypes jusqu'en 2027, date à laquelle les « Technical Design Reports » sont attendus. L'estimation actuelle du coût de construction (n'incluant ni R&D, ni frais de personnel) est de 141 MCHF. La construction s'échelonnerait jusqu'en 2031 en vue d'une installation du détecteur en 2033-2035 et d'une exploitation entre 2035 et 2038 (avec prolongation potentielle en 2040 et 2041). La R&D réalisée à l'occasion de ALICE 3 pourrait aussi être utile aux futurs accélérateurs.

4.4 Avis

Le Conseil a examiné le projet ITS3 en octobre 2022 et se concentre ici sur le projet ALICE 3.

Les mêmes équipes (IP2I, LPSC et IPHC) qui s'engagent dans le projet ALICE 3 souhaitent déjà s'investir dans le projet ITS3, avec un calendrier serré. Le projet technique, centré sur la construction des couches de trajectométrie, s'appuie sur les compétences de l'IPHC dans le domaine des détecteurs CMOS, qui ont permis de mener à bien la réalisation de l'ITS2 et sont

aujourd'hui exploitées pour la R&D sur l'ITS3. Le Conseil réitère encore plus fortement l'inquiétude exprimée lors de l'examen de l'ITS3 concernant les activités ALICE prévues jusqu'au Run 4, au vu des faibles effectifs concernés, ne représentant que la moitié des équipes actuellement dans ALICE.

Le Conseil note que le projet ALICE 3 propose une jouvence pour le Run 5 demandant un budget équivalent à la moitié de celui des jouvences d'ATLAS ou CMS (malgré un nombre de signataires trois fois moindre que ATLAS ou CMS), qui de leur côté couvrent l'entièreté de la prise de données au HL-LHC. Ce projet ambitieux ne pourra être mené à bien sans un soutien important du CERN. Le projet ALICE 3 reste aussi conditionné à de nombreuses décisions préalables, notamment l'accélération d'ions lourds dans l'extension du programme du CERN au-delà du Run 4.

Avec des performances améliorées par rapport au détecteur actuel pour la reconstruction des vertex et le rejet du bruit de fond, ALICE 3 permettrait d'exploiter de futurs faisceaux à haute intensité d'ions lourds au LHC, à l'horizon 2034, avec des performances accrues pour de nombreux canaux. Certaines mesures inédites sont aussi proposées, notamment dans le domaine des hadrons multi-charmés. Du point de vue des analyses de physique, les équipes ont déjà une expertise reconnue dans les études de saveurs lourdes, qui leur permet de jouer dès aujourd'hui un rôle moteur dans la préparation du programme scientifique d'ALICE 3. Compte-tenu de l'impact actuel important de l'IN2P3 dans ALICE et de l'expertise des équipes dans le domaine des ions lourds ultra-relativistes, une participation à l'élaboration de ce projet semble pertinente. Cependant, compte tenu de l'importance de l'investissement et de la nécessité de maintenir un haut niveau d'exploitation des résultats d'ALICE pour le Run 3 et le Run 4, un examen approfondi "pour avis du Conseil" d'ALICE 3 sera nécessaire dans le futur. Outre les implications budgétaires et humaines, le potentiel de physique devra alors être étudié en détail à la lumière des résultats nouveaux qui auront été obtenus d'ici là.

5. Ions lourds dans CMS : bilan et perspective au HL-LHC

5.1 Présentation du projet

Les expériences ATLAS, CMS et LHCb, bien que n'ayant pas été optimisées pour la physique des ions lourds, exploitent les spécificités de leurs détecteurs pour produire des résultats précieux dans ce domaine. Dans le cas de CMS, les atouts majeurs sont la capacité d'acquisition à haut débit, l'acceptance du détecteur, et la précision du trajectomètre. Il faut également noter que les algorithmes perfectionnés pour la physique des ions lourds sont aussi utilisés dans la physique proton-proton, et vice-versa. C'est notamment le cas des algorithmes de suppression de l'événement sous-jacent ou de reconstruction globale de l'état final ("Particle Flow reconstruction"), tant au niveau électronique de déclenchement qu'au niveau logiciel d'analyse.

Parmi les résultats les plus cités se trouvent les observations de l'atténuation des jets dans le QGP, de la présence d'effets de corrélations longue distance (signes du QGP) entre les particules même dans les collisions de protons, et de la suppression de quarkonia excités. Récemment, l'équipe du LLR a produit des publications sur l'atténuation des jets contenant des quarkonia, et sur le rapport du taux de production du méson B_c en collisions plomb-plomb rapporté à celui obtenu en collisions proton-proton.

Pendant la troisième période de prise de données ("Run 3", 2022-2025) la quantité de données ions lourds devrait être augmentée d'un facteur trois par rapport à la quantité accumulée jusqu'à présent. Un facteur similaire supplémentaire est attendu pour le Run 4, mais cette fois-ci avec un détecteur bien plus performant suite à la jouvence de CMS pour le HL-LHC, notamment par l'extension géométrique du trajectomètre et l'ajout d'un détecteur possédant une précision temporelle d'environ 30 ps, ce qui devrait permettre l'identification des hadrons légers pour des impulsions allant jusqu'à plusieurs GeV. Ces jouvences permettront d'enrichir le programme de physique, notamment par l'étude de la production de noyaux légers (d, He) et une couverture élargie pour les saveurs lourdes.

L'équipe du LLR est la seule de l'IN2P3 à poursuivre la physique des ions lourds dans CMS, une initiative lancée en 2010 grâce à une bourse ERC. Le groupe est petit et dépend de financements issus de sources diverses. Sans renfort, cet effort sera difficile à soutenir.

5.3 Avis

L'équipe IN2P3 poursuivant la physique des ions lourds dans CMS a obtenu de bons résultats. Cependant l'équipe est petite, avec un seul chercheur permanent. Le Conseil l'encourage à s'interroger s'il souhaite continuer de s'impliquer sur les collisions d'ions lourds au HL-LHC. Dans l'affirmative, le Conseil lui suggère de compléter l'évaluation du potentiel de physique de CMS au HL-LHC, et de poursuivre en conséquence les efforts déjà entrepris pour tenter de renforcer cette équipe, afin d'augmenter l'impact futur de l'IN2P3 sur cette thématique dans l'expérience.

6. Ions lourds à LHCb : bilan et perspectives au HL-LHC

6.1 Présentation du projet

Le programme de recherche sur les ions lourds à l'expérience LHCb a commencé en 2013 et a pour objectif principal l'étude de la physique des saveurs lourdes selon deux modes d'opération, sur cible fixe (avec une énergie par nucléon dans le centre de masse de $\sqrt{s_{NN}} \sim 100$ GeV) ou en collisionneur ($\sqrt{s_{NN}} \sim 10$ TeV). Le programme d'ions lourds de LHCb devient très compétitif dans l'étude de la matière nucléaire à haute densité et/ou haute température.

Le programme bénéficie naturellement des capacités du détecteur LHCb (détermination précise du vertex, reconstruction des traces des particules chargées, calorimétrie, identification des hadrons chargés, détection des muons) qui permettent, d'une part de couvrir la région vers l'avant dans une gamme de pseudo-rapacité comprise entre 2.0 et 5.0, jusqu'à une impulsion transverse presque nulle, et d'autre part d'accéder, en mode cible fixe, à une région inexplorée par d'autres installations internationales avec des énergies par nucléon dans le centre de masse $\sqrt{s_{NN}}$ entre 70 et 110 GeV.

Les équipes de l'IN2P3, au LLR et à l'IJClab, sont fortement impliquées dans le programme d'ions lourds de la collaboration LHCb depuis sa création. En particulier, l'équipe de l'IJClab a joué un rôle majeur dans les études de saveur lourdes avec la production de J/ψ , B^+ et B_c^+ dans les collisions p-p avec des résultats originaux, complémentaires à ceux d'ALICE et de CMS. Les résultats du Run 1 du LHC (2010-2012) ont permis de valider un grand nombre de

méthodes et d'étendre ces études à des collisions p-Pb et p-Ne. En 2015, le LLR rejoint la collaboration LHCb et les équipes de l'IN2P3 mettent en place un programme pour prendre des données dans des collisions d'ions lourds sur cible fixe, qui permettent de jeter un pont entre les études au SPS ($\sqrt{s_{NN}} \sim 30$ GeV) et à RHIC ($\sqrt{s_{NN}} \sim 200$ GeV). Les équipes de l'IN2P3 ont joué un rôle actif dans la production scientifique, en particulier pour les analyses de données, et ont eu un impact majeur sur les mesures de la suppression de la production des mésons J/ψ dans les collisions d'ions lourds, en fournissant de nouveaux résultats avec une précision améliorée sur les observables de la physique des saveurs lourdes.

Bien que le programme à court terme soit bien défini avec des objectifs clairs, l'avenir est assujéti à l'amélioration des performances prévue après la jouvence du détecteur LHCb pour le Run 5. S'il est clair que LHCb pourrait bénéficier d'une meilleure efficacité de détection, d'un meilleur rejet des traces mal identifiées, et de l'accès à des collisions plus centrales, leur impact sur le programme ions lourds à LHCb reste à évaluer.

6.2 Avis

Le Conseil félicite les équipes de l'IN2P3 pour leur rôle majeur dans la création et les activités du groupe d'analyse sur les ions lourds au sein de la collaboration LHCb, contribuant de manière remarquable à des résultats scientifiques originaux. La contribution au programme ions lourds sur cible fixe, unique au LHC et couvrant un espace de phase inexploré, est particulièrement pertinente. Les équipes sont très visibles dans la collaboration avec des rôles de coordination notables.

Le Conseil encourage les équipes IN2P3 qui souhaitent étudier les ions lourds avec LHCb au Run 5 à clarifier les buts de physique qui pourraient être atteints avec le détecteur amélioré, ainsi que leur importance pour le programme ions lourds du LHC.

7. Discussions internes au CSI

7.1 Discussions avec la direction

Séances du CSI des 3-4 juillet 2023 :

La prochaine séance du CSI portera sur 1) les ondes gravitationnelles, avec le projet Virgo_nEXT pour examen, ainsi qu'un point sur ET et sur LISA, 2) les expériences de mesures du CMB, avec un point sur CMB-S0, le projet CMB-S4 pour examen, et un point sur LiteBIRD, QUBIC, et NIKA2, KIDS.

Recrutements des chercheurs en 2022 et 2023 :

En 2022, le CNRS a recruté 250 chercheurs et 310 IT. La politique de recrutement consiste à lisser les départs à la retraite prévus sur 3 ans. L'IN2P3 a recruté 9 CR, 25 postdocs et 15 doctorants, ainsi que 8 doctorants hors plafond d'emploi (via CNRS MITI ou autres). C'est une année exceptionnelle avec 8 CR en section 01 (dont 7 postes coloriés), 1 CR en section 55 (profil calcul LHC), 2 CR handicap (physique théorique nucléaire à Strasbourg et particules à Orsay), 1 CR en section 02 à l'APC (théorie en cosmologie), 1 CR en section 17 au LUPM (astroparticules), 2 DR externes (matière noire à Grenoble au LSM, et KM3NET à Caen), 2

chaires de professeur junior (CPJ) de “saveur CNRS” (au LPC Caen et au LLR). Le poste de CR non colorié a été recruté sur la thématique des neutrinos au LPC Caen.

En 2023, il y a une augmentation du nombre de postes, due à l'augmentation du nombre de départs à la retraite : le CNRS recrutera 270 chercheurs et 360 IT. Comme en 2022, 9 CR et 25 post-docs sont attribués à l'IN2P3. Il y aura cette année le recrutement d'un CR en CID 55 (sciences et données) pour le L2IT Toulouse. Deux postes blancs sont prévus en section 01. Il y aura 10 postes de DR2 (deux de plus qu'en 2022). Trois CPJ de “saveur CNRS” ont été obtenues : 1 en physique astrophysique Toulouse, 1 sur les neutrinos à Annecy, 1 sur le calcul LHC au CC-IN2P3. La direction espère recruter un DR externe en section 01, ce qui dépend des candidatures.

La direction se déclare très favorable aux CPJ. Le Conseil demande si le contingent CPJ va continuer d'augmenter. La direction répond par l'affirmative : il y a eu 25 recrutements de CPJ au CNRS en 2022, 33 en 2023, il est considéré comme vraisemblable que cette tendance se renforce. L'attribution des postes de CPJ est effectuée en comité de direction du CNRS, avec des arguments sur la priorité pour l'institut et les excellents candidats potentiels. L'IN2P3 recrute plus de CPJ que son poids démographique au CNRS, cela ne durera peut-être pas.

Objectifs en terme de ressources humaines et financières pour l'IN2P3 en 2023 :

Ressources financières :

L'objectif est de fournir un effort continu et accru sur les grands projets à long terme. La direction donne pour exemple (liste non exhaustive) : LSST, JUNO, Virgo Adv+, les jouvences du LHC phase 2, CTA, DUNE, AGATA, KM3NET. La direction signale une montée en puissance des EquipEx S3 et DESIR, ainsi que le démarrage des EquipEx+ PACIFICS, NEWGAIN et FITS.

Parallèlement, il s'agit de retrouver une capacité à investir dans des projets de R&D ou R&T intermédiaires et de rebondir après les échecs à l'appel à projet PEPR (PIA4), pour lequel l'IN2P3 avait proposé les projets I2S2 (développement détecteur) et PAFS (développement accélérateurs). La direction envisage de répondre à des appels à projet avec un programme d'investissement ciblé pour les infrastructures de recherche, ce qui est en cours de discussion avec le CEA.

Ressources humaines :

Il y a une forte tension concernant le besoin de techniciens et assistants ingénieurs. La direction souhaite mettre l'accent sur la formation et l'attractivité pour faire face aux difficultés de recrutement.

Concernant le recrutement de chercheurs et enseignants/chercheurs, la direction poursuivra les montages croisés avec des partenaires. L'IN2P3 souhaite poursuivre l'effort d'augmentation du nombre de doctorants et postdocs financés par l'institut.

Point statutaire sur le jury d'admission CR en section 01 et CR-CID :

Les jurys proposés par la direction sont mis au vote et approuvés à l'unanimité.

Rapport de perspectives du CSI IN2P3 et fonctionnement pour la prochaine mandature :

Le Conseil demande le point de vue de la direction sur le rapport statutaire de perspectives associé à la fin de mandature du CSI IN2P3, à écrire cette année.

La direction rappelle que les chercheurs de l'institut sont aussi intéressés par ce rapport. Les perspectives du CSI sont à mettre en perspective avec les rapports de perspectives de l'institut, qui ont été rendus publics. Les perspectives de l'institut ont insisté sur la définition des priorités et compétences par une analyse transverse, ainsi que sur l'aspect formation. Au CNRS on parle peu des compétences techniques, et la direction invite le Conseil à s'emparer de ce sujet.

La suggestion est donnée de réfléchir sous l'angle de l'institut plutôt que sous l'angle thématique : se poser par exemple la question de l'avenir de l'institut dans un contexte plus global. Le Conseil propose de consulter les directeurs d'unités pour faire remonter des sujets, mais la direction juge cela plutôt difficile à réaliser. La question rejoint celle du fonctionnement de l'institut : comment le Conseil s'articule avec les laboratoires ? Il est proposé que le CSI entretienne un lien avec les CS des laboratoires plutôt que les DU.

Enfin, l'IN2P3 se place dans le contexte du CNRS : comment envisager l'interaction avec les différentes instances du CNRS et notamment les autres instituts ? (par exemple, sur la question de la santé).

La question de la redéfinition des limites de la section 01 et de son découpage possible est posée, car elle contient deux fois plus de chercheurs que les autres sections, ce qui résulte en une surcharge de travail. D'un autre côté, pour la direction, une seule section est plus facile à gérer. Une division en deux groupements thématiques : nucléaire / hadronique et particule / astroparticules, comme aux Etats-Unis, est possible. Le Conseil fait remarquer qu'aux Etats-Unis les frontières de ces disciplines sont mouvantes.

Retour sur la session présente :

La séance a eu lieu en présentiel avec webcast, et le mode hybride (avec le logiciel zoom) est regretté. Il y a un problème technique avec le webcast pour la gestion des questions.

Il est aussi noté que des discussions plus longues auraient été bénéfiques sur LHCb. La direction demande au Conseil de répondre à la question : est-ce que l'objectif de la jouvence proposée est intéressant scientifiquement et est-ce que les équipes ont les capacités de mener le projet à bien ?

La direction fait remarquer que le projet ALICE 3 n'avait pas le même niveau de maturité que celui de la jouvence de LHCb, tandis que les deux ont le même calendrier au CERN. La direction envisage de demander lors d'une prochaine séance un avis au Conseil, car une demande TGIR est à prévoir si l'IN2P3 veut s'engager.

Il est noté que la présentation d'introduction sur les ions lourds aurait pu permettre de diriger la discussion, en abordant la question des observables ions lourds. Cette question est discutée depuis longtemps dans d'autres contextes, et cette discussion doit continuer peut-être ailleurs qu'au CSI.

7.2 Vie du Conseil

Documents de prospectives du Conseil :

Ce rapport, demandé par le secrétariat général du Comité national du CNRS (SGCN) pour 2023, a déjà été évoqué lors de la discussion avec la direction de l'institut (voir plus haut).

Le Conseil discute des différents points qui seront abordés dans ce rapport. Il est décidé que des groupes de travail vont être formés pour travailler sur le document.

Rapport sur le climat du CS CNRS :

Le Conseil a constaté que l'énergie nucléaire n'était que peu mentionnée dans les versions préliminaires du rapport du CS CNRS sur le climat. Des suggestions pour développer cette question ont été soumises au CS CNRS.

Avis du COMETS :

Le Conseil s'émeut d'un avis du COMETS remettant en question la physique auprès des accélérateurs de particules :

<https://comite-ethique.cnrs.fr/avis-du-comets-integrer-les-enjeux-environnementaux-a-la-conduite-de-la-recherche-une-responsabilite-ethique/>

Le Conseil se réserve la possibilité d'écrire une recommandation à ce sujet.

Entraves administratives à la recherche :

Le Conseil fait le constat répété de problèmes administratifs liés aux frais de mission en général. Par exemple : le SGCN demande aux rapporteurs extérieurs de faire leur réservation d'hôtel et de transports avec l'application Rydoo (maintenant Goelett), alors qu'ils n'y ont évidemment pas accès ; on ne peut pas se faire rembourser un carnet de tickets de transports en commun, dématérialisé ou non, mais seulement les tickets à l'unité (le Conseil note qu'il existe d'ailleurs des directives européennes et nationales pour éviter d'imprimer les factures) ; il y a aussi des inégalités de traitement des frais de mission selon les délégations régionales.

Le Conseil envisage d'émettre une recommandation à la suite de la recommandation du CS CNRS :

https://www.cnrs.fr/comitenational/cs/recommandations/26-27_janvier_2023/CS-entraves_recherche.pdf

Depuis la séance de février, il est à noter que le CS CNRS a publié un livre blanc préliminaire sur les entraves administratives à la recherche, mentionné dans la recommandation :

https://www.cnrs.fr/comitenational/cs/recommandations/Rapport_Entraves_vf.pdf