

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

Compte rendu

Conseil scientifique de l'IN2P3
27-28 octobre 2020

Sommaire

1. Introduction : physique et cosmologie : Philippe BRAX	4
2. Information sur Rubin/LSST : Emmanuel GANGLER	4
2.1 Présentation de Rubin/LSST	4
2.2 Avis	5
3. Information sur DESI : Christophe BALLAND	5
3.1 Présentation de DESI	5
3.2 Avis	6
4. Synergies LSST-Euclid : Eric AUBOURG	6
4.1 Présentation de la synergie	6
4.2 Avis	7
5. Présentation de l'Observatoire Simons/S4 : Radek STOMPOR	8
5.1 Présentation Simons Observatory (SO)	8
5.2 Présentation de CMB Stage-4 (CMB-S4)	8
5.3 Avis	9
6. Projet de participation à LiteBIRD : Matthieu TRISTRAM	9
6.1 Présentation de LiteBIRD	9
6.2 Avis	10
6.3 Recommandations	11
7. Présentation du GdR « Ondes Gravitationnelles » : Chiara CAPRINI	12
C. Caprini présente le GDR « Ondes Gravitationnelles ». La présentation est disponible sur le site web du CSI.	12
8. Projet de participation à LISA : Hubert HALLOIN	12
8.1 Présentation de LISA	12
8.2 Avis	13
8.3 Recommandations	13
9. Information sur "Advanced Virgo +" et le chemin vers Einstein Telescope : Matteo BARSUGLIA	15
9.1 Présentation de Virgo	15
9.2 Présentation de Einstein Telescope	15
9.3 Avis	16
10. Discussions internes au CSI	16
10.1 Discussion avec la Direction	16
10.2 Discussions internes au CSI	18

Présents : G. Broojmans, H. Costantini, B. Cros, N. Chanon, D. Laporte, O. Drapier, P. Janot, S. Escoffier-Martory, L. Fayard, B. Fernández Domínguez, V. Givaudan, S. Henrot-Versillé, D. Laporte, M. Lindroos, F. Marion, R. Maurice, N. Neyroud Gigleux, C. Nones, B. Ramstein, M. Rousseau, C. Smith, R. Trebossen, G. Verde, M. Yamouni, F. Yermia

Orateurs : E. Aubourg, C. Balland, M. Barsuglia, P. Brax, C. Caprini, H. Halloin, E. Gangler, R. Stompor, M. Tristram

Invités: Philippe Balcou (CS CNRS), Juan Hernandez (CS CNRS)

Rapporteurs : Y. André (CNES), D. Massonnet (CNES), G. Racca (ESA)

Membres présents de la direction : R. Cledassou, S. Crépe, B. Giebels, R. Pain, L. Roos, L. Vacavant, P. Verdier

La séance du 27-28 octobre 2020 est la suite de la séance du 30 juin 2020, dédiée à l'examen des projets spatiaux à l'IN2P3 et à leur synergie avec les projets au sol. Cette séance a été tenue à distance.

Programme de la session ouverte du 27 octobre :

- 1) Introduction : physique et cosmologie (P. Brax)
- 2) Information sur Rubin/LSST (E. Gangler)
- 3) Information sur DESI (C. Balland)
- 4) Synergies LSST-Euclid : (E. Aubourg)
- 5) Présentation de l'Observatoire Simons/S4 (R. Stompor)
- 6) Projet de participation à LiteBird (M. Tristram)
- 7) Présentation du GdR « Ondes Gravitationnelles » (C. Caprini)
- 8) Projet de participation à LISA (H. Halloin)
- 9) Information sur "Advanced Virgo +" et le chemin vers Einstein Telescope (M. Barsuglia)

1. Introduction : physique et cosmologie : Philippe BRAX

P. Brax introduit le lien entre physique et cosmologie. La présentation est disponible sur le site web du CSI.

2. Information sur Rubin/LSST : Emmanuel GANGLER

2.1 Présentation du Legacy Survey of Space and Time (LSST)

L'Observatoire Vera-C.-Rubin effectuera le Legacy Survey of Space and Time (LSST) grâce à un télescope optique de grande taille le Simonyi Survey Telescope équipé de la Rubin Observatory LSST Camera (LSSTCam). Installé au Chili, il mènera un balayage inédit du ciel de l'hémisphère sud pendant 10 ans. Avant la pandémie, le démarrage des opérations était officiellement prévu à la fin de 2022. Un des objectifs principaux de LSST est d'augmenter la sensibilité de la détermination de l'équation d'état de l'énergie sombre d'un ordre de grandeur par rapport aux connaissances actuelles. L'observatoire est financé principalement par la DOE et la NSF.

Les laboratoires IN2P3 impliqués sont au nombre de dix : APC, CC-IN2P3, CPPM, IJCLab, IP2I, LAPP, LPC, LPNHE, LPSC et LUPM. L'IN2P3 a une implication technique importante (~150 hommes.an, 60 ETP) avec des contributions majeures dans la construction de ce télescope.

La participation technique principale, et seule contribution non-US au télescope, a lieu au niveau de la LSSTCam, à travers la construction du système rapide de changeur des filtres et le développement d'un ASIC front-end de lecture des senseurs CCD ainsi que l'approvisionnement, et la caractérisation de ces derniers.

Les laboratoires de l'IN2P3 sont également impliqués dans la calibration photométrique de l'instrument à travers le projet StarDICE et dans les premiers travaux de mise en service du télescope.

De plus, le l'IN2P3 s'est engagé à fournir la moitié des capacités de calcul nécessaires à la publication annuelle des catalogues, et à sauvegarder au CC-IN2P3 une copie complète des données du LSST (100 Po) accessibles aux équipes IN2P3, à travers un investissement important autant en équipement qu'en main-d'œuvre. Cet accord entre l'IN2P3 et les partenaires américains ouvre la possibilité d'intégrer des chercheurs des autres instituts et organismes français (CEA et INSU). En outre, l'IN2P3 pourrait accueillir au CC-IN2P3 le projet FINK, un système d'alerte de LSST ("alert broker"). Ce système permettra d'élargir l'intérêt scientifique de LSST vers l'astronomie multi-messager au sein de l'IN2P3.

Au niveau de l'exploitation scientifique des données, les laboratoires IN2P3 sont bien intégrés dans la collaboration DESC (Dark Energy Science Collaboration) avec plusieurs prises de responsabilité. L'IN2P3 représente 15% des membres actifs de cette collaboration. Grâce à l'expertise acquise à travers la forte implication technique dans la construction du télescope, les chercheurs IN2P3 ont un rôle clé dans l'estimation des incertitudes systématiques dans l'analyse des données des différentes sondes cosmologiques.

La crise sanitaire a eu un impact fort dans la construction de l'observatoire et entraîne un retard sur le début des opérations estimé à environ 12 mois. Les prévisions actuelles tablent donc sur un démarrage fin 2023.

2.2 Avis

L'engagement des laboratoires IN2P3 apparaît bien équilibré tant sur la partie technique que scientifique. Il y a une forte implication à la fois sur le développement du télescope et d'une façon cohérente sur la préparation à la science et l'analyse des données.

Étant donnée la contribution prédominante américaine au projet de télescope LSST, il faudra que l'IN2P3 reste vigilant pour que les équipes scientifiques soient bien représentées dans la collaboration.

3. Information sur DESI : Christophe BALLAND

3.1 Présentation de DESI

Le but du projet DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument*) est d'effectuer une large étude spectroscopique du ciel visant à l'observation des oscillations acoustiques baryoniques (BAO), c'est-à-dire la trace laissée par les ondes acoustiques dans le plasma primordial. Ces études se basent sur la mesure du décalage vers le rouge (ou *redshift* z) pour un grand nombre d'objets, permettant de reconstituer leur distribution spatiale en 3D et d'y détecter les distorsions dans l'espace des redshifts (*Redshift Space Distorsions*, RSD). Ces dernières sont induites par les mouvements propres des galaxies au sein des amas. Leur mesure donne accès à la dynamique gravitationnelle des grandes structures de l'univers, et permet de tester la relativité générale aux échelles cosmologiques.

Ces études peuvent se faire à différentes distances (et donc différentes époques) en se concentrant sur plusieurs classes d'objets : galaxies lumineuses ($0 < z < 0.4$), galaxies rouges lumineuses ($0.4 < z < 1.0$), galaxies à raies d'émission ($0.6 < z < 1.6$), quasars et forêts Lyman- α (jusqu'à $z = 3.5$), permettant ainsi de mesurer le taux d'expansion de manière continue de $z = 0$ à 3.5 , c'est-à-dire tout au long des derniers 11 milliard d'années de l'Univers. Ces données sont cruciales pour étudier l'accélération de l'expansion due à l'énergie noire et contraindre les différents modèles cosmologiques. Cette sonde est totalement indépendante des supernovæ, et offre des mesures de distances particulièrement précises car peu dépendantes d'effets systématiques.

Ces dernières années, les équipes impliquées dans DESI ont participé aux campagnes SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*), réalisées depuis 2000 avec des télescopes situés à l'observatoire Apache Point (New Mexico). Elles ont ainsi participé à BOSS (*Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*, 2009-2014), qui a étudié le domaine en redshift $0.2 < z < 0.75$ et démontré que les quasars à grand décalage vers le rouge ainsi que les forêts Lyman- α étaient exploitables. Avec eBOSS (2014-2019), dont la dernière publication des données date de juillet 2020, une précision au pourcent a été obtenue sur la mesure des BAO.

Le projet DESI (2021-2026), avec un télescope situé à Kitt Peak (Arizona), est dirigé par le LBNL. Il mesurera plus de 30 millions de sources sur 14000 deg², ce qui permettra d'atteindre une précision sous le pourcent pour des redshifts allant jusqu'à 3.5. Le commissioning a commencé en octobre 2019, 5 années d'opération sont prévues, et les premiers résultats sont attendus dès 2022.

DESI compte 600 membres. La participation française est partagée entre le CEA-Saclay, un consortium à l'Université Aix-Marseille comprenant le CPPM, l'OHP et le LAM, ainsi que le LPNHE, pour un total d'une vingtaine de personnes dont un quart à l'IN2P3. Du point de vue technique, les équipes du CPPM et du LPNHE ont mené à bien la construction, l'intégration, ainsi que les tests des spectrographes de DESI. Le LPNHE a aussi été en charge du système principal de calibration du télescope Mayall (Kitt Peak), depuis la conception jusqu'à l'installation.

Du point de vue de l'analyse scientifique, le LPNHE est très impliqué dans l'extraction du signal BAO à haut décalage vers le rouge avec les forêts Lyman- α . De plus, les équipes IN2P3 préparent les études de « clustering » (étude des corrélations pour reconstruire la distribution spatiale des galaxies), à l'aide des galaxies et des vides cosmiques. Ces observables sont sensibles au taux de croissance des structures à travers les RSD, et permettent donc de tester la relativité générale. Finalement, la contribution IN2P3 inclut des développements logiciels importants, d'abord sur la chaîne d'analyse des données de DESI, au niveau de l'ajustement en décalage vers le rouge, et ensuite en vue des études des forêts Lyman- α (codes d'identification et de classification des quasars, et codes d'analyse BAO spécifiques aux données Lyman- α).

3.2 Avis

Même si en termes de personnel, la contribution IN2P3 apparaît relativement modeste (et en diminution par rapport à eBOSS), les équipes impliquées ont obtenu des résultats impressionnants. Les responsabilités techniques de ces équipes IN2P3 sont importantes à la réussite du projet, et du point de vue scientifique, les groupes français ont acquis une expertise incontournable dans l'étude des forêts Lyman- α et des vides cosmiques. Dans les années à venir, et en parallèle avec le LSST et Euclid, les mesures de DESI seront précieuses pour tenter d'élucider la nature de l'énergie noire.

4. Synergies LSST-Euclid : Eric AUBOURG

4.1 Présentation de la synergie

Le satellite européen Euclid et l'observatoire principalement américain Rubin s'appêtent à démarrer dans les années qui viennent de grands relevés du ciel offrant des perspectives d'avancées majeures en cosmologie. Outre des observations simultanées, les deux instruments présentent des complémentarités remarquables en termes de résolution angulaire d'une part, couverture et résolution spectrales d'autre part. Exploiter cette complémentarité permettra d'étendre significativement le retour scientifique des deux relevés.

Les bandes infrarouges d'Euclid sont insuffisantes pour associer un décalage vers le rouge photométrique à tous les objets détectés dans la bande visible, un objectif qui ne pourra être atteint qu'en utilisant également les données collectées dans le visible par les télescopes au sol. LSST est notamment le seul instrument qui pour le ciel austral aura une profondeur suffisante pour répondre aux besoins d'Euclid. Inversement, les observations d'Euclid dans l'infrarouge permettront à LSST d'améliorer la précision sur le décalage vers le rouge photométrique des objets lointains.

Plusieurs sondes cosmologiques tireront bénéfice d'une combinaison des données de LSST et Euclid. Concernant les études de lentillage faible, la résolution angulaire d'Euclid ($\sim 0.2''$), qui n'est pas limitée par l'atmosphère comme celle de LSST ($\sim 0.7''$), sera un atout pour réduire les effets dus à la confusion ou superposition de sources. Pour ce qui est des supernovæ de type Ia, le potentiel du LSST, qui s'appuie sur la cadence élevée et la profondeur des observations et une photométrie multi-bandes, sera augmenté par les capacités photométriques et spectroscopiques d'Euclid dans le proche infrarouge, de nature à apporter des informations cruciales sur les galaxies hôtes.

Si aucun accord de partage des données n'existe à l'heure actuelle entre les deux projets, un groupe de travail a été créé en 2020 pour identifier les produits dérivés des données (DDP) qu'il serait souhaitable de partager pour répondre aux enjeux scientifiques. Un chercheur de l'IN2P3 participe à ces travaux. Les recommandations du groupe de travail, attendues en 2021, sont destinées à former la base d'un futur accord entre *Euclid* et LSST pour produire et échanger ces DDP. Notons que dans cette perspective le centre de calcul de l'IN2P3 aurait un rôle stratégique à jouer dans la mesure où il hébergera les données des deux relevés.

Si le paysage observationnel qui se dessine à moyen terme en cosmologie met en évidence des synergies riches et variées qui dépassent largement le cadre LSST-Euclid, ce dernier se distingue par la nécessité de collaborer à un niveau relativement bas pour intégrer les différentes données collectées, bien en amont de la production de résultats cosmologiques. Il en découle qu'un important travail préparatoire doit avoir lieu avant le démarrage des observations, c'est-à-dire à très court terme.

4.2 Avis

Le Conseil salue le travail entrepris par les chercheurs de l'Institut pour contribuer à faire des synergies entre Euclid et LSST une réalité et les encourage à poursuivre dans cette voie essentielle. Le Conseil recommande par ailleurs à la direction de l'Institut d'appuyer ces efforts de tout son poids et de veiller à ce qu'un accord entre les deux projets soit établi bien en amont des observations.

5. Présentation de l'Observatoire Simons/S4 : Radek STOMPOR

5.1 Présentation Simons Observatory (SO)

Simons Observatory (SO) est un observatoire sol dédié à l'étude du Fonds Diffus Micro-onde (CMB). Il s'agit d'une expérience de niveau de maturité III (Stage III), qui permettra de valider des décisions technologiques pour la 4ème génération (Stage-IV).

Un des objectifs scientifiques de SO est de dresser une carte de la polarisation du CMB avec une sensibilité améliorée d'un ordre de grandeur par rapport à celle de Planck. Les contraintes liées à l'observation au sol proviennent de l'atmosphère, qui génère du bruit et coupe certaines bandes de fréquence, typiquement celles au-dessous de ~ 280 GHz. En contrepartie, les observatoires au sol peuvent impliquer plusieurs (grands) télescopes, permettant des observations à haute résolution hautement complémentaires aux mesures spatiales.

La construction de Simons Observatory se fera en deux phases, SO-nominal, entièrement financé, et SO-enhanced. Déployé dans le désert de l'Atacama au Chili à une altitude de 5200 mètres, SO-nominal sera constitué de trois petits télescopes (SAT) de 0,5m de diamètre et un large télescope Cross-Dragone (LAT) de 6m, pour lesquels seront respectivement associés 30 000 et 40 000 détecteurs de type bolomètre. Ces télescopes permettront de couvrir la gamme spectrale de 30 à 280 GHz avec une résolution angulaire de l'ordre de quelques minutes d'arc. Le déploiement de SO-nominal se fera entre 2021 et 2023, pour un début d'opération en 2024 pour une durée de 3 ans, voire 4 ans. La construction de SO-enhanced, qui consiste en 3 télescopes SAT supplémentaires et le doublement du nombre de détecteurs sur le LAT, interviendra en 2025/2026 afin de pouvoir commencer la phase d'opération en 2027/2028 pour une durée de 5 ans.

La participation des équipes IN2P3 dans le projet implique deux laboratoires (APC, IJCLab) et concerne principalement l'optimisation scientifique des instruments, les prévisions de performances et l'analyse de données, avec de fortes responsabilités dans le pilotage scientifique du projet. Cette participation est le résultat de contributions en nature issues de POLARBEAR à l'APC et de Atacama Cosmology Telescope à IJCLab.

5.2 Présentation de CMB Stage-4 (CMB-S4)

CMB-S4 est destiné à être le projet terrestre ultime de génération IV, conçu pour exploiter tout le potentiel scientifique des anisotropies de polarisation du CMB. L'objectif est d'atteindre une précision sur le rapport tenseur/scalaire r de l'ordre de $\sigma(r)=0.001$, soit un facteur 2 à 3 de mieux qu'avec SO, et comparable aux objectifs de LiteBIRD. Des contraintes fortes sur la masse des neutrinos sont également attendues par CMB-S4, qui permettra aussi de sonder les particules légères produites aux premiers instants de l'Univers (de masse inférieure à 0.1 eV) ou encore les propriétés de l'énergie noire ou de la matière noire.

L'expérience sera répartie sur deux sites : au Pôle Sud, 14 télescopes SAT de 0,55m, 4 télescopes SAT de 0,44m et 1 télescope LAT permettront d'effectuer un relevé ultra-profond couvrant 3% du ciel, tandis que le désert d'Atacama au Chili accueillera deux télescopes LAT, chacun équipé de 121 760 Détecteurs TES répartis sur huit bandes de fréquences allant de 30 à 278 GHz, pour assurer un sondage large et profond couvrant 70% du ciel, pour des moments multipolaires l compris entre 30 et 8000. La construction débutera en 2023, et la phase d'opération est prévue de commencer en 2029 pour une durée de 7 ans.

La participation de l'IN2P3 est basée sur des contributions personnelles, impliquant 4 chercheurs à l'APC et 1 à IJCLab, avec des implications sur l'analyse de données et la définition des objectifs scientifiques du projet.

5.3 Avis

Le paysage futur des expériences CMB de niveau 4 est exceptionnellement riche, avec une grande complémentarité entre les projets sol et spatiaux. Les contraintes qui seront apportées par CMB-S4 aux petites échelles angulaires (grand l) pourront être combinées avec celles issues des grandes échelles fournies par LiteBIRD, permettant de fournir une image complète, et peut-être définitive, des anisotropies du CMB. D'autre part les observations à haute résolution des modes E par CMB-S4 seront nécessaires pour nettoyer les modes B issus de la contribution du « lensing » à grande échelle angulaire, ceci dans le but d'améliorer la signification statistique (« signification ») de la détection des ondes primordiales, et donc d'apporter de meilleures contraintes sur les modèles d'inflation.

Le Conseil félicite les équipes de l'IN2P3 d'avoir pu s'intégrer dans ces projets sol. La programmation du projet SO est particulièrement opportune, en se positionnant entre Planck et les futurs observatoires CMB de quatrième génération, ce qui permettra de développer les futures chaînes d'analyse. Le Conseil note cependant que le recouvrement d'expertises scientifiques entre les projets sol et spatiaux pourrait être plus large, et il encourage à étendre la participation française dans les projets sol afin de maximiser le retour scientifique, en particulier sur les analyses combinées.

6. Projet de participation à LiteBIRD : Matthieu TRISTRAM

6.1 Présentation de LiteBIRD

LiteBIRD est une mission spatiale de classe L (large) sélectionnée en mai 2019 par la JAXA, l'agence d'exploration aérospatiale japonaise. LiteBIRD est dédiée à la mesure des ondes gravitationnelles primordiales générées à l'époque de l'inflation par l'étude des modes B de polarisation du Fond Diffus Cosmologique (CMB).

LiteBIRD mesurera les anisotropies de température et de polarisation (modes E et B) du CMB pour des moments multipolaires allant de 2 à 300. La mesure des modes B de polarisation permet de contraindre le rapport tenseur/scalaire r caractéristique de l'amplitude des ondes gravitationnelles au niveau de $\sigma(r=0) < 10^{-3}$. La sensibilité attendue sur ce paramètre permettra de discriminer les modèles simples d'inflation à un champ, qui prédisent justement des valeurs

de l'ordre de 10^{-3} . LiteBIRD permettra également la détermination de la profondeur optique de ré-ionisation τ à la limite de la variance cosmique par la mesure des modes E de polarisation. La motivation de cette mesure est de pouvoir estimer la somme des masses des neutrinos et discriminer la hiérarchie inverse de la hiérarchie normale dans ce secteur. Enfin d'autres domaines d'étude comme la biréfringence cosmique, la cartographie du gaz chaud par l'effet Sunyaev-Zeldovich, ou encore la physique galactique seront également accessibles à LiteBIRD.

LiteBIRD est composé de trois télescopes, le Low Frequency Telescope (LFT), le Medium Frequency Telescope (MFT), et le High Frequency Telescope (HFT), afin de couvrir 15 bandes en fréquence de 35 GHz à 450 GHz, dont 4 bandes observées en commun par deux télescopes. L'amplitude du signal provenant des modes B primordiaux est attendue très faible, ce qui requiert une très bonne sensibilité. Celle de LiteBIRD sera de l'ordre de $2.8 \mu\text{K.arcmin}$, soit 100 fois meilleure que celle de Planck, tandis que la résolution des instruments ira de 18 à 70 arcmin. Avec un lancement prévu en 2029, le satellite LiteBIRD sera placé sur une orbite autour du point de Lagrange L2 pour une durée de 3 ans.

La participation française dans LiteBIRD date de 2015. La mission a été acceptée par le CNES pour démarrer en Phase A2 fin 2019. La décision de continuer en Phase B dépendra de la sélection medium size (M5) de l'ESA vers mi-2021. La collaboration LiteBIRD regroupe plus de 200 chercheurs, répartis entre le Japon, l'Europe (50%) et l'Amérique du Nord (US et Canada). La France est l'un des 9 pays européens impliqués dans le projet, et l'IN2P3 y est engagé à travers les laboratoires APC, IJCLab et le LPSC.

Les équipes IN2P3 ont une implication stratégique sur le hardware des instruments MFT et HFT, en particulier sur la structure mécanique du télescope (IJCLab) et sur la modélisation thermique du système (APC). De plus elles se sont impliquées dans le développement des moyens d'étalonnage et de tests au sol.

6.2 Avis

La mission Planck, dont les données définitives ont été publiées en 2018, constitue aujourd'hui la référence des mesures du rayonnement fossile de l'Univers. Le paysage de l'après-Planck se découpe entre des projets au sol, avec SO et CMB-S4, et dans l'espace, avec LiteBIRD. La mission LiteBIRD se positionne astucieusement, en proposant un programme ambitieux permettant de contraindre fortement les modèles cosmologiques à l'époque de l'inflation, tout en restant accessible techniquement avec une résolution modérée. La complémentarité entre projets sol et spatial est évidemment un fort atout pour la communauté CMB. De plus LiteBIRD s'insère dans un panorama programmatique très fécond permettant la synergie avec les projets d'observation des grandes structures de l'Univers comme DESI, LSST et Euclid.

La contribution française dans LiteBIRD hérite de l'investissement humain et de l'expertise acquise par les équipes des laboratoires IN2P3 sur les projets comme Planck ou les expériences ballons. Le Conseil juge que les contributions proposées par les équipes IN2P3 sont pertinentes, avec un rôle clé dans l'organisation et la gestion de la phase de calibration avant lancement. Cette participation, au-delà de la consolidation de la branche spatiale de

l'institut, permettra à l'IN2P3 de jouer un rôle de premier plan dans la compréhension des premiers instants de l'Univers.

6.3 Recommandations

Les équipes IN2P3 semblent bien organisées pour aborder les phases A et B du projet. Des échanges sont toujours en cours avec le CNES sur la spécification des engagements de chaque partenaire, et le Conseil invite les équipes impliquées à bien consolider les demandes RH CDD, et à s'assurer de la redondance sur les expertises, en particulier pour l'étalonnage et la mise en place du segment sol, afin d'éviter les points de défaillance unique.

Les retombées scientifiques attendues pour une telle mission sont considérables, et le Conseil recommande que l'investissement humain dans les groupes de travail scientifiques pour la préparation, l'analyse et l'exploitation des résultats soit à la hauteur de l'implication technique des équipes afin d'assurer le meilleur retour scientifique possible. Le Conseil engage la direction de l'IN2P3 à assurer le soutien en doctorants et post-doctorants pour les années à venir et à soutenir les synergies entre LiteBIRD et les projets sol, avec Simons Observatory pour la préparation des analyses scientifiques avant 2029, et plus tard avec CMB-S4 pour les analyses combinées. Le conseil encourage la création d'un GDR, qui pourrait fournir un bon cadre de travail pour stimuler de tels rapprochements.

Le projet LiteBIRD bénéficiera de l'environnement rigoureux des projets spatiaux, et le Conseil recommande à la direction de l'IN2P3 de mener des revues de projet, en s'appuyant sur le Conseil autant que nécessaire, lors des changements de phases par exemple, afin de s'assurer que les ressources sont bien en phase avec les responsabilités prises dans le projet, que ces ressources soient humaines, financières ou en calcul.

Executive summary:

The IN2P3 teams seem to be well organized to tackle phases A and B of the project. Discussions are still ongoing with CNES on the specification of each partner's commitments, and the Council encourages the teams involved to properly consolidate the fixed-term Human Resource requests, and to ensure redundancy on expertise, especially on the calibration and the implementation of the ground segment, in order to avoid single points of failure.

The scientific benefits expected for such a mission are very high, and the Council advises that the human investment in the scientific working groups for the preparation, analysis and exploitation of the results should be at the level of the technical involvement of the teams in order to ensure the best possible scientific return. The Council engages the IN2P3 direction to fund doctoral and post-doctoral students for the years to come and to support synergies between LiteBIRD and ground based projects, first with Simons Observatory for the preparation of the scientific analyses before 2029, and later with CMB-S4 for the combined analyses. The Council encourages the creation of a GDR (Groupement de Recherche), which could provide a good forum to stimulate such collaborations.

The LiteBIRD project will benefit from the rigorous environment of space projects, and the Council recommends that the IN2P3 direction conduct project reviews, relying on the Scientific Council as necessary, for example during phase changes, to ensure that resources

are well in phase with the responsibilities taken on in the project, whether these resources are human, financial or computational.

7. Présentation du GdR « Ondes Gravitationnelles » : Chiara CAPRINI

C. Caprini présente le GDR « Ondes Gravitationnelles ». La présentation est disponible sur le site web du CSI.

8. Projet de participation à LISA : Hubert HALLOIN

8.1 Présentation de LISA

La mission LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*), dont le lancement est prévu pour 2034, vise à mesurer les ondes gravitationnelles de basses fréquences (entre 0.1 mHz et 0.1 Hz) depuis l'espace. Cette gamme est complémentaire avec celle des interféromètres au sol (10-1000 Hz pour la génération présente), limités au Hz par le bruit sismique et environnemental. LISA est un interféromètre géant constitué de trois satellites éloignés de 2.5 millions de km échangeant des faisceaux laser, et suivant la Terre sur son orbite à une distance de 50 à 65 millions de km. La mission LISA Pathfinder (en vol de fin 2015 à mi-2017) a permis de démontrer la faisabilité d'un grand nombre d'objectifs de LISA, notamment sur l'accélération résiduelle différentielle entre deux masses tests qui doit être de l'ordre de grandeur du $\text{fm}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$.

Dans la gamme de fréquence entre 0.1 mHz et 0.1 Hz, les signaux seront dominés par les coalescences de trous noirs binaires massifs et les systèmes binaires de naines blanches galactiques. Ces derniers, en grand nombre, produiront un signal d'avant-plan stochastique, qui devra être soustrait pour accéder aux signaux moins intenses. Parmi ceux-ci, les coalescences de systèmes binaires de rapport de masse extrême permettront notamment de tester la relativité générale avec une grande précision. Parmi le vaste programme de physique envisagé, la recherche de transitions de phases de premier ordre dans l'Univers primordial comme signal stochastique d'encore plus faible amplitude, propose un lien intéressant avec la physique des particules et a reçu beaucoup d'attention. Les buts de physique de LISA sont aussi bien d'ordre astrophysique que de physique fondamentale et de cosmologie.

Le projet, piloté par l'ESA, est aujourd'hui dans la phase A, qui se terminera fin 2021. La phase B1 (2021-2023) conduira le projet à la revue d'adoption de la mission, prévue début 2024. Les phases B2, C et D dureront de 2025 à 2034. Après le lancement en 2034 et un temps de calibration en orbite, il devrait y avoir au moins six ans d'acquisition de données scientifiques dès 2036-2037, et une exploitation de ces données sur dix ans.

Les laboratoires IN2P3 impliqués dans la mission LISA sont l'APC, le CC-IN2P3, le CPPM, le L2IT, le LMA (IP2I) et le LPCC. L'IN2P3 contribue au projet à hauteur de 18 ETP sur 63 ETP pour le total des équipes françaises. Hors IN2P3, les équipes françaises proviennent du CNES, de l'INSU, de l'INSIS, des Observatoires de Paris et de la Côte d'Azur ainsi que du CEA. Les équipes IN2P3 impliquées participent à tous les aspects : instrumentation, simulation de la

performance, élaboration des techniques d'analyses, engagement dans l'exploitation des données scientifiques. De nombreux membres de l'IN2P3 ont des responsabilités importantes dans le management de la collaboration. L'Institut se positionne de manière visible sur de nombreuses contributions actives aux livrables du projet, sur l'instrument (MOSA) ou sur le centre de données distribué (DDPC). Les contributions proposées par la France concernent le segment sol scientifique, le modèle de performances scientifiques ainsi que l'intégration et les tests des bancs optiques au cœur de LISA. Le CC-IN2P3 fournit également l'essentiel des outils collaboratifs pour le consortium.

Il est à noter que l'académie des sciences chinoise a récemment lancé un ambitieux programme de recherche d'ondes gravitationnelles depuis l'espace avec la mission TianQin. Les satellites disposeraient d'un bras de levier moindre que celui de LISA (100000 km environ), avec pour conséquence une gamme de fréquence 10 mHz – 10 Hz. Le lancement est annoncé dans la décennie 2030.

8.2 Avis

La mission LISA permettra d'étendre l'observation des ondes gravitationnelles à une bande spectrale encore inexplorée, riche de sources d'intérêt majeur pour la physique fondamentale, la cosmologie et l'astrophysique. A ce programme scientifique garanti s'ajoute un potentiel exploratoire – complémentaire de celui des collisionneurs – vis-à-vis de la physique à très haute énergie en vigueur dans l'Univers primordial, qui pourrait avoir laissé une empreinte sous la forme d'ondes gravitationnelles accessibles à LISA.

La complexité de LISA est à la mesure de ses enjeux scientifiques et présente de nombreux défis, à la fois sur le plan instrumental (interférométrie à très grande distance, effets de rotation des satellites), sur le plan de l'analyse des données (soustraction fine des avant-plans) et à l'interface entre les deux (extraction du signal par interférométrie à temps retardés). Le Conseil salue la volonté des équipes françaises de contribuer à relever ces défis très ambitieux.

8.3 Recommandations

Le Conseil considère que le programme scientifique de LISA est incontournable pour l'IN2P3 et recommande que l'Institut s'implique dans la mission.

Le Conseil note avec satisfaction que si la participation de l'IN2P3 à LISA Pathfinder avait été portée par une seule équipe, plusieurs laboratoires ont manifesté un intérêt pour contribuer à LISA. Le Conseil constate néanmoins que les effectifs engagés actuellement sont faibles, notamment en termes de chercheurs permanents, avec de modestes prévisions de croissance d'ici 2025. Le Conseil redoute que ces moyens humains ne soient pas à la hauteur des livrables et des tâches sur lesquels les équipes se sont positionnées. Le Conseil rappelle que le maintien des compétences techniques correspondantes au sein de l'Institut tout au long de la vie du projet est également critique. Le Conseil recommande à la Direction de l'Institut de planifier soigneusement son implication, et incite les équipes déjà engagées sur LISA à prendre des contacts plus larges dans les laboratoires IN2P3 pour consolider leur contribution autour des engagements de l'Institut envisagés au sein du projet. Il souligne que l'Institut devra également veiller à ce que les communautés ondes gravitationnelles « sol » et « espace »

puissent croître harmonieusement, en faisant fructifier leurs interfaces, en exploitant leurs complémentarités, sans compétition au niveau des ressources humaines impliquées. Concernant l'exploitation scientifique des données, le Conseil incite les équipes à se rapprocher de la communauté CMB à l'IN2P3 pour combiner au mieux leurs expertises respectives autour de l'exploration de la physique de l'Univers primordial. Plus largement, un rapprochement avec les équipes travaillant sur la cosmologie au sein de l'Institut semblerait souhaitable.

Le Conseil attire l'attention de la Direction de l'Institut sur les échelles de temps à prendre en considération dans l'élaboration de ce plan. Si celui-ci doit clairement s'inscrire dans un temps long, il doit également répondre à des échéances à court et moyen terme. En effet, la fin de la phase A et la phase B1 seront déterminantes pour assurer des responsabilités importantes aux équipes IN2P3 au moment de l'adoption de la mission par l'ESA (actuellement prévue fin 2024), tandis que les phases suivantes seront cruciales pour garantir le succès de la mission.

Executive summary

The Council considers that the scientific program of LISA is a must for the IN2P3 and recommends that the Institute get involved in the mission.

The Council notes with satisfaction that if a single team carried the involvement in LISA Pathfinder, several laboratories showed interest contributing to LISA. The Council finds however that today's workforce is rather weak, noticeably in term of permanent researchers, with a modest predicted growth by 2025. The Council fears that the restricted personpower might not enable the teams to meet the expectations necessary to perform the tasks and produce the deliverables they committed to. The Council reminds as well that maintaining the corresponding technical skills within the Institute throughout the project's life is crucial. The Council recommends that the direction of the Institute plans carefully its involvement, and encourages the teams already involved in LISA to establish broader contacts with IN2P3 laboratories to consolidate their contribution to the planned Institute's participation in the project. The Council underlines that the Institute will have to ensure that 'ground-based' and 'space' gravitational wave communities grow in harmony, making fruitful interfaces, exploiting complementarities, and without competition related to the personpower. Regarding the scientific exploitation of data, the Council encourages the teams to interact more closely with the CMB community at the IN2P3, in order to combine best their relative expertise on the exploration of the primordial Universe. More globally, a closer link with the teams working on cosmology at the Institute would be desirable.

The Council draws to the attention of the Institute direction the timescales to be considered in elaborating this plan. If it clearly needs a long-term view, several deadlines must also be met in short and medium term. The end of phase A as well as phase B1 will indeed be decisive to ensure important contributions for the IN2P3 teams when the ESA adopts the mission (expected at the end of 2024), whereas the next phases will be crucial to ensure the success of the mission.

9. Information sur "Advanced Virgo +" et le chemin vers Einstein Telescope : Matteo BARSUGLIA

9.1 Présentation de Virgo

Virgo est un grand interféromètre installé en Italie, près de Pise, constitué de deux bras de 3 km et destiné à la détection directe des ondes gravitationnelles. Les données de Virgo sont analysées conjointement avec les données provenant des deux interféromètres LIGO aux USA. Après les premières découvertes entre 2015 et 2017 (11 sources sur les deux prises de données O1 et O2), la sensibilité des détecteurs a été largement améliorée (avec Advanced Virgo et Advanced LIGO), permettant de détecter des sources plus lointaines. Ainsi, 56 sources ont été identifiées au cours de la troisième prise de données (O3) d'avril 2019 à mars 2020. Les données sont encore en cours d'analyse, mais des résultats majeurs ont déjà été obtenus, avec en particulier la publication de quatre sources de nature très différentes et jamais observées : un système binaire d'étoiles à neutrons très massives et trois fusions d'objets compacts massifs, très intéressants, soit par l'asymétrie en masse des deux composants (qui permet de tester la relativité générale), soit par la masse même des deux objets en fusion, qui met au défi les modèles astrophysiques.

La collaboration Virgo-LIGO travaille actuellement à l'augmentation de la sensibilité des détecteurs en vue des deux nouvelles prises de données O4 et O5 entre 2022 et 2027. Le nouveau détecteur Advanced Virgo+ est construit en deux phases. La phase I (mise en œuvre actuellement entre O3 et O4) vise principalement la réduction du bruit de fond quantique grâce à une augmentation de la puissance du laser, l'utilisation de cavités de filtrage et de la technique de recyclage du signal. Le nouveau miroir dit « de recyclage » a déjà été installé, le système de recyclage et la cavité de filtrage devraient être installés et testés au premier semestre 2021. Le but principal de la phase II (qui sera mise en œuvre entre O4 et O5) sera la réduction du bruit thermique des miroirs, ce qui impliquera la fabrication de miroirs plus grands et si possible une amélioration de leur traitement de surface. La sensibilité de ces détecteurs de deuxième génération sera ainsi améliorée d'un facteur 2.5 à 4 dans la gamme des systèmes binaires d'étoiles à neutrons.

Virgo est une collaboration de 600 membres issus de 13 pays. L'IN2P3 y joue un rôle majeur avec 98 membres (63 ETP) issus de l'APC, IJCLab, IP2I, IPHC, LAPP. Hors IN2P3, trois autres équipes françaises sont impliquées : Artemis (Nice), LKB (Paris), g-MAG/ILM (Lyon) avec 39 personnes et 23 ETP. Les équipes de l'IN2P3 s'investissent très activement dans le management de la collaboration Virgo et les analyses de données. Elles ont aussi des responsabilités majeures dans le projet Advanced Virgo+ pour lequel elles contribuent à de nombreuses réalisations techniques (fabrication des miroirs, des dépôts de couches minces, des systèmes de détection, des états comprimés de la lumière, du vide, de l'électronique digitale et analogique, ...) ainsi qu'à de la R&D.

9.2 Présentation de Einstein Telescope

Le but du nouveau projet Einstein Telescope (ET) est d'augmenter encore cette sensibilité avec un gain d'un ordre de grandeur par rapport à Advanced Virgo, tout en abaissant le seuil de

fréquence à 2 Hz (à comparer à la limite actuelle d'environ 10 Hz). Pour atteindre cet objectif, ET est un dispositif souterrain composé de trois bras de 10 km, organisés en triangle. De plus, le détecteur est de type « xylophone », c'est-à-dire qu'il est composé de deux sous-détecteurs qui travaillent dans des bandes de fréquences différentes. Une nouveauté majeure est aussi celle des miroirs refroidis avec un système cryogénique. La configuration triangulaire permettra de discriminer la polarisation des ondes gravitationnelles.

Ces performances accrues permettront de mesurer beaucoup plus de sources que les dispositifs de deuxième génération avec un meilleur rapport signal/bruit, ainsi que d'accéder à de nouveaux types d'objets stellaires. Les principaux champs de recherche qu'ET couvrira sont : l'évolution des trous noirs, la nature de la gravitation, la cosmologie et l'étude de l'énergie noire, la physique de la matière ultra-dense, et la physique des supernovæ. Deux sites sont à l'étude, avec un choix prévu pour 2024 : le premier en Sardaigne (Italie), le deuxième dans la Meuse, à cheval sur les frontières allemande, belge et néerlandaise. Le projet a été soumis à l'ESFRI (stratégie européenne) en septembre 2020 et l'objectif est d'acquérir des données à partir de 2036. Le projet ET est complémentaire au projet spatial LISA, et similaire au projet américain au sol Cosmic Explorer, même si les calendriers sont un peu différents.

Des membres de l'IN2P3 participent activement à la construction de la collaboration et au comité de pilotage (3 membres de l'IN2P3 sur 20 au total) du projet Einstein Telescope.

9.3 Avis

Le Conseil apprécie l'importance des contributions actuelles des équipes IN2P3 à l'analyse des données d'Advanced Virgo et à la préparation d'Advanced Virgo+. Conjointement avec Advanced LIGO+, cette nouvelle génération d'interféromètres permettra encore augmenter le potentiel de découverte dans le domaine des ondes gravitationnelles, ouvrant la voie à une exploration plus précise de la relativité générale et de la cosmologie. Le Conseil encourage naturellement une participation très active aux futures analyses de données d'Advanced Virgo+ ainsi qu'aux discussions concernant les activités qui auront lieu après O5, et invite la Direction à soutenir fortement les équipes. Le Conseil préconise aussi de continuer à mener un rôle actif dans l'élaboration du projet ET. Dans le but de bénéficier des meilleures technologies et, à terme, d'exploiter au mieux les mesures des différents dispositifs pour la détection des ondes gravitationnelles, le Conseil incite vivement les équipes à renforcer leurs liens avec la communauté LISA IN2P3, et à vivifier les discussions avec la collaboration Cosmic Explorer.

10. Discussions internes au CSI

10.1 Discussion avec la Direction

Point sur les Concours

Le concours CR de 2019 proposait huit postes, dont sept à la section 01 et un à la section 06 pour le CC-IN2P3. Un concours CNRS externe pour les DR2 a permis à l'IN2P3 un recrutement

à Toulouse sur la thématique des ondes gravitationnelles. De plus un concours CNRS pour personnes en situation de handicap a permis un recrutement à Grenoble au LPSC sur la théorie.

Le concours 2020 offrira neuf postes CR qui reviendront à l'IN2P3 (contre huit l'année dernière). Un poste sera à nouveau recruté en section 06 pour l'IN2P3, sur le traitement de grandes masses de données, avec affectation au LAPP Annecy (possiblement sur LSST). Parmi les huit autres, il y aura un profil blanc. Le concours DR proposera neuf postes DR2, dont l'un sera colorié pour une mobilité. Cette année, ce concours n'ouvre pas de poste DR2 réservé aux externes, mais le CNRS réserve une dizaine de postes pour le recrutement externe.

Colloque de restitution de Giens

Le colloque a été reporté sur la semaine du 19 au 22 octobre 2021 (n.d.r. : ces nouvelles dates remplacent celles présentées lors de la réunion, qui ont été abandonnées depuis du fait de la crise sanitaire). Le présentiel est nécessaire pour faciliter les discussions sur la stratégie. Des réunions intermédiaires sont prévues pour avancer sur les préparations.

L'organisation des prospectives ne prévoyait pas de groupe de travail dédié à la théorie. Le Conseil demande si pour occuper cette période, une réflexion transversale serait possible sur la théorie. La Direction répond que c'est en effet envisageable, et qu'une réflexion de ce type nécessiterait de faire participer des chercheurs de laboratoires pilotés par l'INP. Par ailleurs, il est noté qu'une session transverse Théorie et modélisation est prévue au colloque de Giens.

Retour sur la séance du CSI portant sur la thématique « Nucléaire »

R. Pain présente pour F. Farget le retour sur la séance du Conseil d'automne 2019.

Le GANIL était d'accord avec les recommandations et s'engage sur le démarrage de SPIRAL2 phase 1. Les premiers spectres de neutrons ont été mesurés dans NFS. Le renfort d'un CDD IN2P3 de deux ans a été accordé en soutien aux expériences LISE. Un travail de rapprochement entre ALTO et le GANIL a démarré et est à amplifier. Un concours IR a été mis en place en 2019 pour le développement de faisceaux au GANIL. Une réflexion est en cours sur la phase 2 du GANIL au travers d'une mission animée par M. Spiro.

Un accord mixte IN2P3-GSI a été conclu concernant FAIR. Les porte-paroles françaises ont obtenu 4% de temps de faisceau (pour 2% de contribution budgétaire). Une estimation du nombre physiciens intéressés a été faite à l'occasion des « FAIR days » à Orsay, où il y avait 70 participants dont 40 membres de l'IN2P3.

En ce qui concerne AGATA, la création d'un Conseil de financement (« funding board ») a été acceptée par la collaboration à l'initiative de l'IN2P3. Une revue internationale et une revue interne à l'IN2P3 ont été réalisées pour valider l'implication en termes de ressources humaines.

Sur la thématique des noyaux super lourds, le soutien aux activités à RIKEN va continuer, avec plus précisément le soutien au projet MIVOC et aux missions à JINR. La contribution IN2P3 à l'amélioration de GABRIELA ne va pas pouvoir être menée à bien du fait de l'enveloppe budgétaire. La priorité est mise sur S3 et un nombre limité de physiciens participe à JINR. S3

est soutenu par le projet d'équipex NEWGAIN ainsi qu'au travers du soutien sur le développement de la production de cibles d'actinides entre Orsay et le GANIL.

L'IN2P3 soutient le développement des faisceaux SPIRAL1 qui permettra la prise de données avec GRIT. Un accord a été conclu dans GRIT qui comprend un Conseil des ressources (« resource board »). Une revue de projet a eu lieu en décembre.

L'IN2P3 soutient l'ensemble du projet EXPAND. Un accord de collaboration avec RIKEN a été signé début 2020. L'IN2P3 soutient également la théorie sur les thématiques associées. L'IN2P3 approuve une future participation à FAIR pour des études similaires sur de nouveaux isotopes, mais la collaboration doit se positionner.

Une prolongation des MoU sur PARIS a été signée. L'IN2P3 est d'accord avec l'évaluation du Conseil sur les risques identifiés au niveau du détecteur.

Le projet NU-BALL (à ALTO) est piloté avec l'Entretien annuel projet. L'écriture de MoU pour structurer les collaborations est en cours.

Prochaines séances du CSI

Pour 2021 la Direction souhaiterait discuter des trois thématiques suivantes :

1) La séance du 9-10 février 2021 portera sur les Accélérateurs, et abordera la question de l'orientation des R&D compte-tenu des contraintes budgétaires (800 k€ par an seulement). Afin de financer les prototypes d'accélérateurs, une structuration du domaine en infrastructure de recherche nationale est envisagée.

2) La séance du 29-30 juin 2021 portera sur la théorie, incluant les thématiques nucléaire, particules (dont gravitation) et astroparticules. À cette occasion, le Conseil invitera M. Grasso, chargée de mission Théorie à l'IN2P3. La question que la Direction posera au Conseil pourrait être : quels aspects l'IN2P3 doit-il renforcer ?

3) La séance du 26-27 octobre 2021 portera sur la thématique neutrinos, principalement sur le TGIR DUNE. Un point d'information sur Hyper-Kamiokande serait aussi intéressant.

Le retour sur les perspectives aura lieu après le colloque de Giens lors de la séance de juin, en même temps que l'examen de la théorie à l'IN2P3.

Un retour de la Direction sur la séance portant sur les plateformes labellisées IN2P3 (tenue en février 2020) est souhaité à la prochaine séance du Conseil en février 2021.

10.2 Discussions internes au CSI

Nouvelles du projet de loi LPR

Une lettre du cabinet de la ministre a été envoyée au président du Conseil suite à la recommandation du Conseil sur les dispositions attendues de la LPPR datée du 12 juin 2020. Une entrevue a eu lieu, qui a été courtoise mais n'a rien donné.

La C3N a écrit une lettre aux sénateurs concernant la LPR, qui a été signée par les présidents de sections, la présidente du CS CNRS et des présidents des CSI.

Fonctionnement des séances du CSI

Le Conseil propose de réserver pour les orateurs qui le souhaitent un temps de discussion sans la direction. Les orateurs seront invités à contacter le Conseil sur demande.

Pour les prochaines séances, le Conseil souhaiterait disposer des questions de la Direction sur les projets (ces questions ont été fournies au Conseil pour la séance de février 2021).

Le Conseil souhaiterait participer à l'élaboration de l'agenda de la séance de juin 2021 en amont.