

GT7: Cosmologie et Gravitation

1. Nature de la thématique

L'enjeu scientifique est d'étudier, développer et tester les modèles cosmologiques et les théories de la gravitation, au niveau classique et quantique. Pour ce faire, la communauté du GT7 se mobilise autour de travaux théoriques et des projets expérimentaux LSST, BAO-Radio, Planck, QUBIC, Virgo/Ligo, SVOM.

2. Contexte

Dans la vallée, les thématiques cosmologie et gravitation sont principalement portées par le LAL et le LPT, avec une activité détecteurs au CSNSM (les détails sont donnés dans l'Annexe 1).

La recherche théorique au LPT s'articule autour de trois axes. Les théories de la gravité modifiée sont étudiées au niveau de leurs propriétés et de leurs solutions afin de dégager de nouvelles signatures expérimentales, en particulier liées aux objets compacts. Par ailleurs, les phénomènes quantiques liés à la cosmologie primordiale sont étudiés, en particulier en utilisant des analogies avec les systèmes de matière condensée. Enfin, le dernier axe porte sur l'étude du fond diffus cosmologique (CMB), sur l'engendrement et l'évolution des fluctuations cosmologiques pendant et après l'inflation et sur l'analyse des non-gaussianités dans les données du satellite Planck.

Au LAL, les activités cosmologie et gravitation sont réparties sur quatre groupes expérimentaux. L'étude du CMB, et en particulier la mesure des modes B, dans l'expérience QUBIC, avec une forte implication sur le développement de méthodes d'analyses pour extraire les paramètres cosmologiques. Un autre axe de recherche porte sur l'énergie noire à travers la cosmologie à 21 cm et les grands relevés de galaxie. Le groupe BAO-Radio contribue au développement de différents instruments comme l'interféromètre test PAON-4 déployé à Nançay ou le numériseur à bande large NEBuLA. Le groupe participe également à l'analyse des données collectées par l'instrument chinois Tianlai. Le LAL est un laboratoire « constructeur » qui participe au projet LSST (Large Synoptic Survey Telescope). Les circuits intégrés de lecture des CCD de la caméra ont été conçues, produites et testées par le LAL et le LPNHE. Le LAL est aussi impliqué dans les développements informatiques qui permettront l'analyse des futures données du télescope. Le groupe est dans LSST-DESC, pour la préparation de l'analyse de données et leur interprétation cosmologique. Pour terminer, le dernier axe est lié à la thématique des ondes gravitationnelles. Le groupe Virgo du LAL est spécialisé dans les recherches de signaux transitoires associés par exemple aux systèmes binaires compacts, aux trous noirs ou aux supernovæ. De nombreux outils d'analyses ont été développés pour rechercher ces signaux dans les données de LIGO et Virgo. Le groupe est aussi présent sur des aspects plus expérimentaux: il participe à la mise en route du détecteur Advanced Virgo et à la mise au point de nouvelles technologies pour améliorer la sensibilité des futurs détecteurs.

Au CSNSM, le groupe détecteurs cryogéniques est impliqué dans une R&D très active autour de la conception et l'élaboration des détecteurs pour de nombreux projets d'astrophysique, cosmologie et astroparticules, notamment les matrices de TES pour QUBIC. Il a aussi également entrepris des développements innovants sur des détecteurs supraconducteurs KIDs pour des fréquences <100GHz.

Pour terminer, notons que certaines activités menées au CSNSM et à l'IPN sont liées aux thématiques de ce groupe de travail. Par exemple, citons l'étude de la nucléosynthèse primordiale, les expériences avec des neutrons froids et les équations d'état pour les étoiles à neutrons à l'IPN.

3. Objectifs

L'observation des modes B est un enjeu majeur de la communauté CMB et de la cosmologie au sens large aujourd'hui. Les groupes du CMB/LAL et du CSNSM sont déjà impliqués sur l'expérience QUBIC. Le groupe du LAL compte continuer à participer au management et à la calibration de l'instrument, tout en développant un axe fort de (préparation à) l'analyse de données centré autour de la mise au point de simulations et de codes d'analyse dédiés à la propagation des effets systématiques instrumentaux et l'étude de leur impact dans l'estimation du rapport tenseur sur scalaire, r . Ceci concerne à la fois QUBIC et les projets futurs. Pour la suite, le groupe CMB du LAL fait partie de deux propositions de contributions, sur les satellites PIXIE (2023) et LiteBird (2025) pour lesquelles il envisage de participer à la calibration des instruments, et à l'analyse de données, deux sujets pour lesquels le groupe a une expertise reconnue. Ces propositions se font de manière coordonnée avec les autres acteurs de la communauté à IN2P3, en France et plus largement en Europe.

Depuis la première détection d'ondes gravitationnelles en 2015, de nombreux espoirs se portent sur ces recherches afin de développer l'astronomie ondes gravitationnelles, en particulier l'étude des sources (trous noirs, étoiles à neutrons, supernovae...). Le groupe Virgo-LAL a amorcé la transition vers l'astrophysique multi-messagers avec son implication dans le projet SVOM. Des réflexions sont en cours pour poursuivre cet effort tout en restant dans les thématiques de recherche de l'IN2P3. L'autre intérêt du groupe Virgo-LAL se porte sur l'amélioration de la sensibilité des détecteurs terrestres: à travers un effort de R&D sur CALVA et l'étude de nouvelles techniques instrumentales. Ces dernières reposent sur l'arrivée de nouvelles compétences au LAL (ex. LASERIX, ESPCI) que le groupe souhaite renforcer davantage pour peser dans ce domaine. Pour le plus long terme, la prochaine génération de détecteurs d'ondes gravitationnelles sera spatiale. L'autre voie pour accéder à de nouvelles sources est le projet spatial LISA (mHz→1 Hz). LISA pourra tester un volume d'Univers cosmologique pour les systèmes binaires de trous noirs super massifs et aussi chercher les ondes gravitationnelles primordiales prédites par plusieurs modèles. Ce point offre une intéressante complémentarité avec les observations du CMB citées plus haut. Le groupe réfléchit actuellement à une proposition de contributions à LISA tout en s'assurant la meilleure visibilité, notamment à travers l'analyse de données pour laquelle le groupe a déjà développé une expertise reconnue.

La théorie se prête moins que les projets expérimentaux à des engagements sur le long terme. Pour la thématique des fluctuations cosmologiques, en vue de l'expertise acquise dans Planck sur l'analyse des non-gaussianités, le LPT compte continuer à développer la méthode du "binned bispectrum estimator" pour une application aux futures missions: CMB, et relevés de galaxies. Sur un plan plus théorique le LPT compte étudier l'évolution des fluctuations cosmologiques adiabatique et isocourbure pendant la période de (p)reheating après l'inflation à plusieurs champs. Pour la thématique de gravité modifiée un des objectifs des recherches est de trouver de nouvelles signatures, par exemple d'objets compacts (trous noirs et étoiles à neutrons), ou de solutions qui n'existent pas en relativité générale. Le LPT est aussi très intéressé à développer un traitement numérique. Il serait ensuite important de tester ces nouvelles signatures auprès des futures observations (Virgo/Ligo, SKA, EHT et Euclid..). Le but ultime de la gravité analogue est de mieux comprendre les phénomènes (non compris à ce jour) induits par la propagation de champs quantiques dans des espace-temps courbes, tels les trous noirs, l'univers en expansion, et lors de la phase de (p)reheating. Le LPT compte en particulier proposer des expériences où l'observation de l'intrication quantique et les conséquences des non-linéarités (non-gaussianités) n'ont pas encore été réalisées.

Pour LSST, les opérations de calibration sur site (télescope auxiliaire) débuteront mi-2018; la première lumière sur la caméra principale est prévue pour 2021, le relevé proprement dit s'étendra de 2022 à 2033. Une activité récente au LAL, d'intérêt général, a trait à la calibration avec le télescope auxiliaire CALYPSO. En particulier la surveillance de standards photométriques pour mesurer la transparence de l'atmosphère. En parallèle, le groupe compte développer ses activités dans la collaboration DESC (dans les groupes de travail BAO et Lensing Magnification). Ces activités recouvrent la création de catalogues simulés et leur analyse avec des mesures de redshift réalistes ; le calcul numérique de spectre de puissance et de fonction de corrélation à 2-points à travers la mise au point d'un code public, la simulation et l'analyse du signal de magnification et l'impact des mesures de redshifts photométriques.

4. Organisation de la thématique

4.1 VERS UNE MEILLEURE ORGANISATION DE NOS DISCIPLINES

Les discussions ayant eu lieu dans ce groupe de travail ont permis de dégager certains éléments à mettre en œuvre pour mieux peser scientifiquement dans nos disciplines et être davantage visibles dans la communauté et sur la scène internationale. En effet, l'un des premiers points abordés était notre manque de visibilité/attractivité auquel nous souhaitons tous trouver une solution. Pour mettre en avant la thématique Cosmologie et Gravitation dans la Vallée, les membres de ce GT envisagent de commencer par se retrouver autour de l'organisation de séminaires communs.

De plus, jusqu'à présent, les groupes de ce GT fonctionnaient de manière autonome et sans réelles interactions. Pourtant, ce GT a révélé de nombreuses thématiques communes qu'il est souhaitable de renforcer et de mettre en avant (cf. Annexe 2). Pour ce faire, nous projetons d'organiser des groupes thématiques

transversaux s'appuyant sur plusieurs projets expérimentaux et nourris par des travaux théoriques. Au moins deux thèmes scientifiques ont émergé: celui de la cosmologie (CMB, LSST, BAO-Radio, Virgo, LISA, LPT) et celui de l'astrophysique multi-messagers (LSST, Virgo, SVOM et LPT). Pour faire vivre cette nouvelle organisation, nous proposons que ces groupes se réunissent régulièrement, et puissent publier des articles communs. Pour dynamiser une telle structure, il nous paraît important qu'elle soit définie et mise en place dans un cadre plus large, en interaction avec d'autres GTs: neutrinos, matière noire, astroparticules et théorie (cf. Annexe 3). Par ailleurs, nous avons identifié plusieurs éléments auxquels il faudra porter une attention particulière pour assurer le succès de ces rapprochements. Le lien entre théoriciens et expérimentateurs ne peut s'établir que si celui-ci est assuré par des personnes ayant un profil phénoménologique, profil qui semble manquer pour notre thématique. De plus, les collaborations extérieures (localement avec le CEA, IAS, IAP, APC, LPNHE, Meudon) sont essentielles pour notre thématique. Elles devront continuer d'exister, voire être renforcées.

4.2 RÉFLEXIONS SUR LA REFONDATION DES LABOS DE LA VALLÉE

Un certain nombre de commentaires/constats ont été réalisés par tout ou partie du GT7 et sont exprimés ci dessous:

- Un regroupement avec les labos de la vallée, dans lesquels notre thématique est peu ou pas représentée ne paraît a priori pas naturel: il l'aurait été davantage avec d'autres acteurs locaux comme le CEA et/ou l'IAS avec lesquels nous collaborons déjà.
- Le GT7 s'inquiète de voir notre thématique/travail noyé (en terme de financement, de nouveaux postes, et promotions, accès aux équipes techniques...) dans un labo à forte composante de physique très différente de la notre.
- Pour les demandes de financement, l'un des critères (pour l'ANR, le LabeX, les DIM...) est la collaboration entre labos, que l'on pouvait exploiter et argumenter pour des collaborations entre les labos de la vallée: comment justifier un tel financement si nous sommes rassemblés dans une structure unique ?
- Si laboratoire unique il y a, la question du management se pose quant à la prise de décisions en terme de choix scientifiques, leurs priorités relatives, et la propagation de ces décisions dans les services techniques. Il paraît nécessaire d'avoir un conseil scientifique qui propose des choix, une direction scientifique avec un réel pouvoir décisionnel, et une direction technique clairement identifiée. Plus particulièrement, les théoriciens souhaitent conserver leur indépendance scientifique. Une autre inquiétude relève de la représentativité des individus, et de leurs implications dans les grandes décisions d'un laboratoire unique et du retour d'information vers les personnels. Une assemblée des responsables de projets telle qu'existant au LAL à l'heure actuelle n'est sûrement pas transposable compte tenu de la multitude d'intervenants concernés.
- Compte tenu du nombre de personnes concernées, une direction des ressources humaines pour régler les conflits humains serait hautement souhaitable.
- La question de l'accès aux services techniques et à l'administration, ainsi qu'à la direction se pose: inquiétudes relatives au délai d'attente des demandes émanant des personnels.
- Les théoriciens voient un intérêt à pouvoir se reposer sur un service informatique dans lequel il y a des compétences en terme de développements (notamment numériques). De manière générale, le GT7 émet des avis positifs sur cet aspect du regroupement qui pourrait permettre au personnel d'avoir accès à davantage de services/compétences.
- Une grande structure pourrait également permettre de mettre en place des groupes de travail, par exemple une aide à l'écriture des dossiers ANR dont tous pourraient bénéficier.

5. Formation et valorisation

La répartition chercheurs/enseignants chercheurs est montrée sur la Fig. 1. Le bilan des enseignements actuels pour les chercheurs: CMB-LAL: Cours de statistiques en M2 au master PHE (ETH-Zurich/Ecole Polytechnique), Intervention à l'École Euclid + LSST-LAL: Intervention à l'École Euclid

Nous regrettons le peu d'influence que nous avons sur les M2 de la région, une plus grande visibilité de notre groupe à travers une refondation pourrait nous aider à attirer davantage d'étudiants. Par exemple, pour le M2 NPAC, et pour la cosmologie, l'APC et le LPNHE sont très fortement représentés, drainant les étudiants en thèse dans leurs laboratoires. Pour le LPT, aucun enseignement en M2 n'est pourvu.

Pour le groupe Virgo, le nombre de thèses annuel est satisfaisant (~1.5/an). Celui-ci est la conséquence de

plusieurs facteurs. Il y a d'abord la première détection d'ondes gravitationnelles qui a dynamisé l'intérêt pour la thématique. Ensuite, les chercheurs du groupe Virgo consacrent beaucoup de temps au contact des étudiants (enseignements, NPAC, MOOC, écoles doctorales, outreach...). Enfin de nombreux stagiaires sont accueillis au sein du groupe chaque année (~3/an) avec un bon taux de transformation en thèses. Le groupe CMB-LAL a connu une réorganisation ("l'après Planck"), qui a induit une réduction des offres de sujets de thèse.

Pour terminer, nous notons l'intérêt d'une grande structure pour la distribution des financements, notamment pour les thèses. En effet, au LAL, le volume des financements autorise une certaine souplesse et fluidité dans la redistribution. De plus, il est beaucoup plus aisé de monopoliser des fonds propres du laboratoire pour financer certaines priorités (thèse, post-doc...).

6. Eléments statistiques

Les éléments qui suivent correspondent aux personnes qui se sont inscrites au groupe du travail et/ou qui ont déclaré un intérêt pour y apparaître en contactant l'un des membres du groupe. La répartition des personnels physiciens est montrée à la mi-2017 sur la figure 1. Au cours de ces dernières années, depuis la détections des ondes gravitationnelles, le groupe Virgo a bénéficié d'une grande attractivité qui s'est manifestée par une augmentation du nombre de post-docs et étudiants en thèse, par contre le nombre de personnel permanent est restée stable. Le groupe LSST a bénéficié d'un renforcement en enseignants chercheurs ces dernières années. Le groupe CMB va être renforcé à l'automne d'un nouveau chargé de recherche et d'un post doc. L'équipe du LPT verra un postdoc partir.

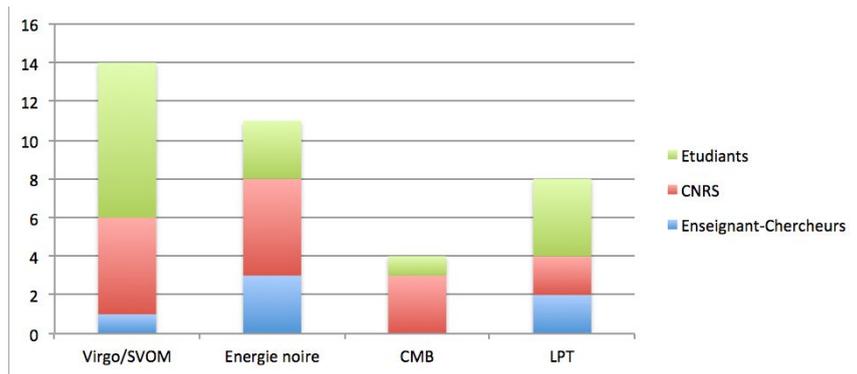


Fig1: répartition des personnels par sous-thématiques - mi-2017 (voir texte)

Annexe 1 : Détails des activités des différents groupes.

GRUPE THÉORIE

1) Gravité modifiée (EB, CC, AF) :

EB, CC et AF étudient la stabilité de différentes théories de modification de gravité, des contraintes expérimentales et des mécanismes comme celle de Vainshtein (expertise EB) qui permettent aux théories modifiées de tendre vers la relativité générale aux échelles locales. Ils étudient également des solutions exactes d'objets compacts, en particulier des solutions du type trou noir et leurs propriétés. Ils sont en train d'élargir leur champ d'expertise vers des solutions du type étoile à neutrons en vue de l'intérêt futur grâce aux données des ondes gravitationnelles. CC travaille également sur certains aspects holographiques des théories des cordes. L'objectif final de toutes ces recherches est de trouver de nouvelles signatures de la gravité modifiée, comme de nouvelles solutions d'objets compacts et de nouveaux types de solutions qui n'existent pas en relativité générale.

2) Gravité analogue (RP, AF) :

RP étudie : 1) la physique des trous noirs (rayonnement de Hawking), et 2) les phénomènes quantiques liés à la cosmologie primordiale (amplification des fluctuations du vide, phase du 'preheating' en inflation). Il s'intéresse en particulier aux expériences de matière condensée (condensats de Bose-Einstein, guides d'onde (optique non linéaire), canal à houle, ...) où l'on pourrait observer l'analogie de ces phénomènes, y compris dans leur version quantique où l'intrication joue un rôle clé. Il s'intéresse aussi à certaines versions de gravité modifiée, telle la gravité d'Horava, où l'invariance de Lorentz est brisée dans l'UV profond.

3) Fluctuations cosmologiques (BvT) :

BvT étudie : 1) les modèles d'inflation, en particulier ceux à plusieurs champs scalaires, et 2) le fond diffus cosmologique (CMB). Concernant le point 1), il s'intéresse particulièrement à l'engendrement et l'évolution des fluctuations cosmologiques, linéaires et non linéaires (non gaussiennes), et travaille activement sur le développement de formalismes pour les calculer. Dans un futur proche il voudrait aussi étudier l'évolution des fluctuations pendant la période de (p)reheating juste après l'inflation. En ce qui concerne le point 2), il fait partie de la collaboration Planck et s'occupe de l'analyse des non-gaussianités dans les données. Il s'intéresse en particulier au développement d'estimateurs pour extraire l'information primordiale d'une façon optimale des données. Dans un futur proche il voudrait faire la même chose pour les données des relevés de galaxies.

GRUPE VIRGO-LAL

Le groupe Virgo du LAL s'est spécialisé dans la recherche de signaux d'ondes gravitationnelles transitoires. Ces signaux sont associés à de nombreuses sources astrophysiques (systèmes binaires compacts, étoiles à neutrons, trous noirs, supernovae) et cosmologiques (cordes cosmiques). En dehors des systèmes binaires, les formes d'onde attendues sont généralement peu ou pas modélisées. Par conséquent des méthodes robustes ont été développées pour extraire ces signaux dans les données LIGO/Virgo. Ces recherches souffrent de la présence de bruits transitoires dans le détecteur. Le groupe du LAL s'est spécialisé dans le travail de compréhension et d'identification de ces bruits.

L'installation du détecteur de deuxième génération, Advanced Virgo, s'est achevée en 2017. Depuis, le groupe du LAL participe activement à sa mise en route et au commissioning pour atteindre la sensibilité nominale. La présence sur le site est importante et ce sont les problématiques de "lock" des cavités qui sont étudiées. Au LAL, l'installation CALVA (double cavité optique de 55m) permet d'étudier de nouvelles techniques qui seront ensuite installées sur le détecteur Virgo. Il y a d'abord l'utilisation d'un laser auxiliaire (vert) permettant de contrôler les degrés de liberté des cavités séparément afin d'amener le détecteur à son point de fonctionnement. Ensuite, la technique dite de "squeezed light" est étudiée. Un tel dispositif permettra d'augmenter la sensibilité du détecteur à hautes fréquences. Enfin, un système de miroirs déformables a été développé afin d'adapter le front d'onde du faisceau à la cavité.

Depuis récemment, certaines personnes du groupe Virgo se sont engagées dans le projet SVOM. Ce satellite, lancé en 2021, a pour objectif de détecter et de localiser des sursauts gamma (GRBs). Cette activité s'inscrit dans le programme de suivi électromagnétique des sources d'ondes gravitationnelles. Pour SVOM, le LAL s'est engagé à développer les système d'alertes entre les deux communautés. Le LAL est également responsable du développement du software scientifique embarqué du télescope MXT.

GROUPE CMB-LAL

Nous travaillons autour de 3 axes principaux avec l'objectif de contribuer à la mesure et l'interprétation scientifique des modes B du CMB:

* dans Qubic: intégration et calibration de l'instrument. Travail de management+expérimental (fibres de carbone et plateforme de calibration)+préparation à l'analyse de données.

* dans LiteBird-France: participation aux discussions et au groupe de travail qui est en train de se mettre en place [proposition de participation sur la calibration et analyse de données]

* préparation à l'extraction de r pour les futures manips avec les données publiques et nos compétences acquises dans Planck: nettoyage des cartes, construction de la fonction de vraisemblance à grande échelle angulaire, analyse fréquentiste et Bayésienne pour extraire les paramètres cosmologiques via notre code CAMEL.

* On est également intéressé par la proposition de mission spatiale PIXIE dont le but, en plus de mesurer les modes B, est de mesurer les distorsions du spectres de corps noir du CMB dont une certaine partie est produite pendant l'inflation.

On vient de sortir un papier avec les données Planck sur la mesure de la somme des masses des neutrinos. On est aussi impliqués sur les mesures de caractérisation des détecteurs pour les futures manips CMB.

Dans le passé, papier commun avec le groupe Virgo/Ligo sur l'estimation d'une limite sur la densité d'ondes gravitationnelles primordiales à partir des données cosmo + interprétation dans le cadre des modèles de cordes cosmiques.

GROUPE LSST-LAL

LSST est l'acronyme de Large Synoptic Survey Telescope. C'est un télescope de 8.4m de diamètre en cours de construction au Chili. Sa grande caméra de plus de 3 Milliards de pixels, équipée de 6 filtres, permettra de couvrir le ciel austral en 4 jours et de détecter des objets jusqu'à la magnitude r de 27.5, après les 10 ans de fonctionnement. Le relevé concernera tous les sujets de l'astrophysique et contraindra les modèles cosmologiques avec plusieurs sondes.

Avec 9 autres laboratoires de l'IN2P3 (et CCIN2P3) nous sommes un laboratoire « constructeur » de LSST, ce qui nous garantit un accès complet aux données LSST.

Au LAL 3 électroniciens ont mis au point, en collaboration avec le LPNHE, deux circuits intégrés (ASPIC et CABAC) pour la lecture des CCD de la caméra ; seul l'ASPIC a été retenu in fine. La totalité des circuits ont été produits, testés et livrés en conformité avec le planning. L'ensemble ASPIC/CABAC forme un tout cohérent et performant pour la lecture bas bruit de CCD, et il est envisagé de l'utiliser dans des expériences comme DAMIC (Dark Matter search with CCD). Du côté computing, qui est particulièrement ambitieux, 2 informaticiens du LAL participent à différents niveaux (ex. calcul distribué via la technologie SPARC et la visualisation des très grandes images).

Les interactions possibles avec d'autres communautés

GROUPE BAO-RADIO-LAL

Le groupe Énergie Noire du LAL est impliqué dans le domaine de la cosmologie à 21 cm et la méthode de la cartographie 3D d'intensité (Intensity Mapping). Ces activités sont regroupées dans le cadre du projet BAORadio et concernent actuellement l'équivalent de 1 FTE physicien permanent du groupe, ainsi que deux ingénieurs en électronique et informatique temps réel.

Nous collaborons avec des collègues Chinois (NAOC - Pékin) et américains (Fermilab/ Wisconsin/ Pittsburgh) sur le projet Tianlai. L'instrument Tianlai comporte deux réseaux, un premier réseau constitué de 16 réflecteurs paraboliques de 6 mètre de diamètre chacun, ainsi qu'un réseau de 3 réflecteurs cylindriques, couvrant une surface totale de $40 \times 15 \text{ m}^2$ et équipé de 96 récepteurs double polarisation. La contribution du LAL à Tianlai concerne principalement l'analyse de données, pour laquelle un centre de traitement est mis en place aux États-Unis.

L'instrument PAON-4 est un interféromètre de test, comprenant 4 antennes paraboliques de 5 mètres de diamètre chacune, construit par le LAL, l'Observatoire de Paris et l'Irfu/SPP (CEA) et déployé à Nançay. PAON-4 nous permet d'explorer la viabilité de réseaux d'antennes paraboliques en mode transit pour les relevés de cartographie d'intensité

et sert également de banc test pour certains développements techniques, et en particulier le numériseur

à bande large NEBuLA. Il s'agit d'une carte de numérisation à bande large de nouvelle génération, adaptée à l'interférométrie à 21 cm. La première version de NEBuLA a été développée par le LAL et la station de radioastronomie de Nançay. Cette carte utilise la technologie White Rabbit pour la synchronisation des horloges de numérisation à travers les liens ethernet. Les données sont transmises également sur des liens ethernet optiques. La 2ème version de la carte NEBuLA sera développée dans le cadre du projet DAQGEN financé par l'IN2P3.

GROUPE DÉTECTEURS CRYOGÉNIQUES (CSNSM)

Le CSNSM est impliqué dans une R&D très active autour de la conception et l'élaboration des détecteurs pour de nombreux projets d'astrophysique, cosmologie et astroparticules. En particulier le CSNSM a la responsabilité de la fourniture des matrices de bolomètres pour l'expérience QUBIC, qui vise la mesure de la polarisation B du CMB. Dans l'optique des futures expériences sol et spatiales, il a aussi été entrepris des développements innovants sur des détecteurs supraconducteurs KIDs capables de fonctionner à des fréquences <100GHz.

Annexe 2: Possibles interactions entre les différentes équipes de ce GT

Sont listées ici les possibilités d'interactions entre les différentes équipes du GT ressortant des réflexions communes: ce sont des pistes possibles. Pour qu'elles puissent être mises en oeuvre, il manque des acteurs qui permettraient, notamment, de faire le lien entre les théoriciens et les expérimentateurs (en particulier avec des profils plutôt phénoménologiques). En l'état actuel des choses, à manpower constant, il semble difficile de les développer toutes compte tenu des engagements déjà pris auprès de nos collaborateurs extérieurs.

- interactions possibles entre le LPT et le LAL:
 - Ondes gravitationnelles (definition d'observables, formes d'ondes)
 - phénoménologie de l'inflation,
 - non-Gaussianitéscertaines existent déjà:
 - étude des théories de gravitation modifiée type Galiléeon....
- entre CMB/LSST-BAO:
 - possibles à travers des études de cross-correlationscertaines existent déjà:
 - à travers le code CAMEL de fits de paramètres cosmologiques, combinaison des données,
- entre LSST/Virgo-Ligo/SVOM: astro multi-messagers, suivi des transients.
- entre CMB/Virgo-Ligo/LISA/LPT: ondes gravitationnelles primordiales, complémentarité en fonction des modèles d'inflation.

Annexe 3 : Interactions avec les autres GT

GT neutrinos:

- Les données cosmologiques permettent de mettre des limites sur la somme des masses des neutrinos. Des membres des groupes CMB et LSST ont déjà contribué à cette thématique avec l'écriture d'un papier sur les contraintes actuelles incluant les erreurs systématiques qui vient d'être accepté par A&A. Le groupe CMB compte continuer à jouer un rôle dans la compréhension du secteur des neutrinos via les mesures de la partie lensing du spectre des modes B du CMB.

GT Matière Noire:

- Des membres du groupe CMB ont déjà écrit deux papiers, avec d'autres collaborateurs (LAL/LPT/Heidelberg), sur les contraintes que l'on peut apporter sur l'espace des paramètres des modèles supersymétriques (MSSM & NMSSM) dérivées de la combinaison de toutes les données existantes (physique du B, densité de matière noire, recherche directe de matière noire, moment magnétique du muon, recherche directe de nouvelles particules au LHC...). Un PICS ainsi qu'un projet interdisciplinaire Infinity/CNRS est en cours sur ce même sujet (court terme). En fonction du temps, du manpower, et des éventuelles découvertes à venir, nous pourrions continuer à contribuer à la compréhension de la matière noire par ce biais dans les années à venir. On pourrait également envisager une contribution à la dérivation des contraintes des sections efficaces d'annihilation de la DM par le CMB.
- Le projet OSER, mené par des membres du groupe LSST, consiste à rechercher la matière cachée transparente par les effets de scintillation stellaire induits dans le domaine optique; il se voit attribuer occasionnellement des temps d'observation (ESO, observatoire de la Palma) en vue d'établir en particulier la faisabilité d'un mini-survey avec LSST (3 publications plus une en préparation).

GT Astroparticules:

- Les sources susceptibles d'émettre des ondes gravitationnelles sont également des sources qui peuvent rayonner dans une large bande spectrale du spectre électromagnétique. elles sont également parmi les meilleures candidates pour l'origine des rayons cosmiques d'ultra hautes énergies ou de neutrinos d'origine astrophysique. Il existe ainsi des interactions possibles entre Virgo/LISA et des observatoires tels que CTA, eASTROGAM ou encore Auge. Il faut également mentionner que Virgo est inclus dans la discussion de ce groupe de travail.

GT Théorie

- L'étude de la stabilité des écoulements supersoniques dans des fluides et des trous noirs en gravité analogue soulèvent des questions qui sont étudiées en collaboration avec le groupe de physique mathématique du LPT. Il en est de même concernant les aspects mathématiques liés à l'étude de la gravité quantique et la résolution des équations différentielles dans les théories de gravité modifiée. Il y a aussi des synergies possibles avec les membres du groupe physique des particules au-delà du modèle standard, concernant astroparticules (matière noire) et dimensions supplémentaires.

GT détecteurs

- Les activités du CSNSM trouvent naturellement leur place dans le GT détecteurs.