

# Refondation des laboratoires de la vallée d’Orsay - GT. 6 Astroparticules\*

Pôle thématique astroparticules  
CSNSM, IPNO, LAL, LPT  
(Dated: June 19, 2017)

## I. NATURE DE LA THÉMATIQUE

Le domaine des astroparticules se penche sur l’Univers dans ses conditions les plus extrêmes. Il peut se définir comme l’emploi des techniques de détection et d’analyse de la physique des particules au service d’observations astronomiques, à visées astrophysique ou fondamentale. Les acteurs de cette thématique étudient l’origine des rayons cosmiques et neutrinos astrophysiques, les progéniteurs des ondes gravitationnelles et rayons X/ $\gamma$ , ainsi que la physique de l’Univers sombre ou au delà des modèles standards.

Dans le cadre du projet de refondation des laboratoires de la vallée, le groupe thématique (GT) *astroparticules*, GT.6, montre un recouvrement notable avec le GT.1 *physique nucléaire* via l’astronomie  $\gamma$  au MeV, avec le GT.3 *neutrinos* pour l’étude de la désintégration double beta sans émission de neutrinos (historiquement rattachée au même DAS IN2P3), avec le GT.4 *matière noire* via les études de physique fondamentale en X,  $\gamma$  et neutrinos, ainsi qu’avec le GT.7 *cosmologie et gravitation* via les expériences LSST et Virgo, l’étude de la nucléosynthèse primordiale et les études de scintillation interstellaire. Il nous semblerait artificiel de tenter d’attacher les membres de nos équipes à un seul de ces GT. Nous dressons donc ici un bilan global des activités astroparticules dans la vallée, en soulignant la possibilité de double-comptages dans les divers GT. Notons par exemple que la contribution de l’équipe du LAL aux études de matière cachée par scintillation interstellaire ainsi qu’aux expériences SVOM, LSST et Virgo est incluse dans ce rapport, quand la contribution des équipes du CSNSM de physique du solide / détecteurs cryogéniques et d’astrophysique du solide est laissée au GTs évoqués plus haut.

Quatre laboratoires de la vallée, le CSNSM, l’IPNO, le LAL et le LPT, contribuent ainsi au domaine. Les effectifs de ces groupes, totalisant 41 chercheur.se.s, enseignant-chercheur.se.s, postdoctorant.e.s et doctorant.e.s en 2016, sont détaillés en Fig. 1. Le taux de publication en astroparticules dans des revues à comité de lecture oscille autour de 1 par an et par personne<sup>1</sup> pour les groupes ayant une contribution technique ou d’analyse à de grandes collaborations internationales (CSNSM, IPNO, LAL), et s’élève à 2.5 par an et par personne pour les groupes de phénoménologie (LPT).

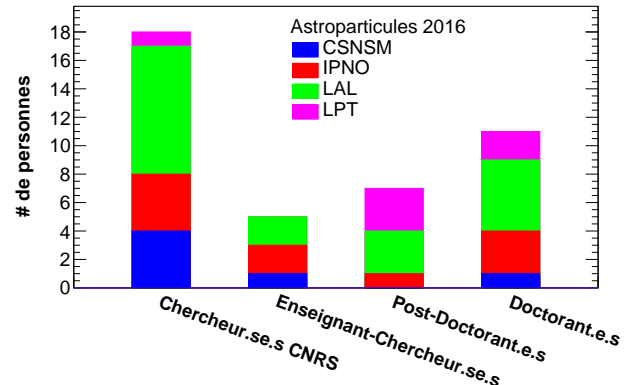


FIG. 1. Effectifs astroparticules dans la vallée en 2016.

Les équipes de la vallée sont membres actives de collaborations internationales, via des contributions instrumentales, d’analyse et de phénoménologie, couvrant trois des quatre messagers des astroparticules. Les ondes gravitationnelles (GW) sont étudiées au LAL au sein de la collaboration Virgo. Les rayons cosmiques (CR) sont étudiés à l’IPNO au sein de la collaboration Auger, ainsi qu’au CSNSM d’un point de vue phénoménologique via différents projets ANR. Les équipes du LAL ont elles aussi contribué par le passé à cette thématique en étant membres des collaborations JEM-Euso et Auger. Enfin la branche électromagnétique est particulièrement développée, via l’étude des sources transitoires dans le domaine optique (LSST, réseau au sol de SVOM, tous deux au LAL) et à plus haute énergie (SVOM - X dur : LAL ; e-ASTROGAM -  $\gamma$  au MeV/GeV : CSNSM/IPNO ; CTA, LHAASO par le passé -  $\gamma$  au TeV; IPNO). Un effort de phénoménologie est par ailleurs mené indépendamment à l’IPNO et au LPT sur les données publiques de *Fermi*-LAT au GeV et d’archive en provenance de H.E.S.S./MAGIC/VERITAS au TeV. Les neutrinos astrophysiques au TeV/PeV, détectés par Ice-Cube depuis 2013, ne sont étudiés que d’un point de vue phénoménologique au LPT.

## II. CONTEXTE

La dimension internationale de nos projets permet dans une certaine mesure de relayer à un plan secondaire les collaborations locales, bien que de nouveaux axes collaboratifs en astroparticules au sein de la vallée soient envisageables, comme indiqué en Sec. III. En 2016, le financement récurrent des projets (IN2P3, EGO, fonds

\* Avec une contribution active de : J. Biteau, N. Lerois, I. Lhenry-Yvon, Y. Mambrini, M. Moniez & V. Tatischeff.

<sup>1</sup> On affiche ici le nombre de publications du groupe normalisé à son effectif, en notant que les membres d’un même groupe co-signent fréquemment des publications.

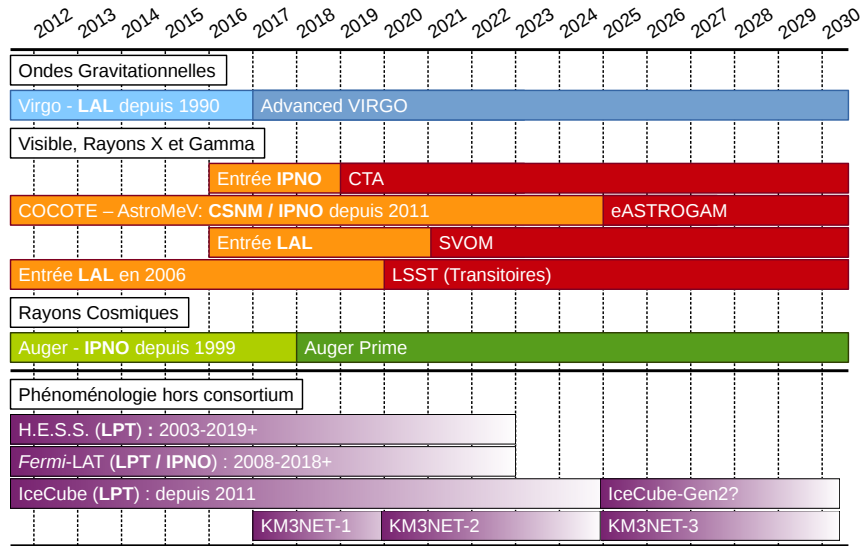


FIG. 2. Collaborations astroparticules dont les laboratoires de la vallée sont membres en 2016 (partie haute) ou dont nous utilisons les données à des fins purement phénoménologiques (partie basse).

propres) représente environ deux tiers du budget annuel des équipes du CSNSM, de l’IPNO et du LAL, environ un tiers pour l’équipe du LPT. Ces équipes ont par ailleurs été partiellement financées (budget et RH) par des structures européennes (e.g. FP7 SEPServer, H2020 pour le CSNSM, ERC et programme Multidark pour le LPT) ou internationales (e.g. LIA Chine-France pour l’IPNO, CEFIPRA avec l’Inde pour le LPT) au cours des cinq dernières années, représentant grosso modo la moitié des fonds non récurrents pour le CSNSM et l’IPNO, la totalité pour le LPT. Le reste des fonds non récurrents émane de structures locales ou nationales (P2IO, GDR PNHE, ANR, CNES).

L’astronomie au MeV est la seule sous-branche couverte par le GT.6 ou une collaboration active existe entre équipes de différents laboratoires : CSNSM/IPNO pour ComptonCAM et e-ASTROGAM, CSNSM/IPNO/LAL pour le précurseur COCOTE. À échelle régionale, des collaborations existent plus généralement dans la branche électromagnétique avec des laboratoires tels que l’APC, le LLR, le LPNHE, ou l’IRFU (SAP/AIM, SPP). Au plan national, les collaborations sont majoritairement structurées autour des laboratoires de l’IN2P3 pour les groupes du CSNSM, de l’IPN et du LAL.

### III. OBJECTIFS

L’acquisition des données astroparticules est principalement menée au sein de consortiums internationaux, listés en Fig. 2. L’implication des équipes dans des expériences dont le financement partiel ou complet est garanti (Virgo, CTA, SVOM, LSST, Auger) assure nos contributions au domaine à court, moyen et long terme, dans la droite lignée de nos activités présentes. Il en va de même pour les activités de phénoménologie hors consor-

tium, utilisant les données publiques des observatoires.

La validation par l’ESA du projet e-ASTROGAM permettrait aux laboratoires de la vallée de s’impliquer plus activement dans l’astronomie au MeV, domaine dont l’émergence dans la décennie à venir est soutenue par une vaste communauté. De possibles synergies entre les groupes d’astronomie optique, X et  $\gamma$  des quatre laboratoires sont envisageables à moyen terme en particulier sur les sources transitoires, voire sur les thématiques de physique fondamentale. L’implication dans de nouveaux projets (e.g. CTA, SVOM) est vue de manière positive par les membres du GT.6, dans la mesure où elle pourrait contribuer à un accroissement des synergies entre équipes et accroître la dynamique d’expansion des activités astroparticules dans la vallée.

Dans le domaine des ondes gravitationnelles, le projet eLISA, non listé en Fig. 2, est en cours de définition et une réflexion sur la participation à cette expérience spatiale est en cours.

On peut relever l’absence dans la vallée de contribution technique aux projets neutrinos IceCube et KM3NET, bien que les collaborations entre observatoires des divers messagers astroparticules existent à plus grande échelle via des MoU (e.g. Auger/IceCube ou Virgo/IceCube/Antares).

### IV. ORGANISATION DE LA THÉMATIQUE

La multiplicité des activités astroparticules au sein de la vallée, témoin du foisonnement et de l’expansion de ce domaine, se prête mal à une structuration nette en équipes astroparticules unifiées par laboratoire. La nature même de la thématique, à la frontière entre physique des particules, physique nucléaire, astrophysique et cosmologie, ne favorise d’ailleurs peut-être pas une telle

structuration, bien que des pôles d’attraction, organisés autour de grandes expériences, soient identifiables à l’IPNO (Auger) et au LAL (Virgo).

La relative petitesse de certaines sous-équipes ne semble pas soulever une impression d’isolement ou de manque de visibilité, l’environnement collaboratif étant particulièrement marqué aux échelles régionale, nationale et internationale. De même, le dimensionnement actuel des laboratoires a permis le développement de nouvelles activités astroparticules (e.g. e-ASTROGAM, CTA, SVOM), la proximité des services techniques, administratifs et de la direction favorisant flexibilité et réactivité lors de la mise en place des projets.

La possibilité de synergies accrues entre activités des équipes astroparticules de la vallée soulève naturellement la question de l’intérêt d’un pôle/service astroparticules. L’éventuel déploiement d’une telle structure devrait tirer profit des expériences passées e.g. à l’APC (complexité ?), au CEA (séparation trop marquée entre les services ?), ou au KIPAC, l’exercice d’analyse et de projection étant laissé à une phase ultérieure, en collaboration avec les GT connexes. La possibilité de travailler avec les diverses équipes techniques des laboratoires est vue de manière positive dans la mesure où elle permettrait une couverture potentiellement plus exhaustive des développements instrumentaux nécessaires aux expériences auxquelles nous contribuons, bien que l’organisation et les compétences actuelles offrent d’ores et déjà à chaque équipe la possibilité d’être moteur dans la construction de sous-systèmes des observatoires et expériences auxquels nous participons. Notons également l’opportunité d’un renforcement du lien entre le pôle théorique (LPT) et les laboratoires expérimentaux dans le cadre de la recherche de matière noire, notamment dans des scénarios non-conventionnels.

Il est remarqué que la contrepartie d’un tel rapprochement, e.g. dans le cadre d’une fusion des laboratoires, pourrait être une perte de proximité avec ces mêmes services techniques, administratifs et la direction, fortement dommageable pour une branche en pleine évolution. La rigidité d’un système délocalisé, fonctionnant essentiellement sur ticket, est vue comme un frein probable à l’expansion de nos activités scientifiques. Bien qu’un changement de taille du laboratoire n’empêche pas l’existence de petites équipes aux frontières, des doutes subsistent quant à la capacité de recrutement d’une structure de grande ampleur, pouvant être amenée à alimenter ses activités de cœur de métier à la défaveur d’une thématique par essence plurielle.

Une restructuration des laboratoires pourrait, à notre sens, s’accompagner de modes de fonctionnement facilitant l’émergence de nouveaux projets : demandes d’AP internes sur fonds propres mutualisés, service local d’aide aux demandes de financement (ANR, ERC, etc.) ou à la valorisation. Quelque soit la structure à venir, des interactions accrues entre équipes astroparticules, voire cosmologie, sont envisageables, e.g. via la mise en place de séminaires à échéance régulière, dans un effort concerté.

## V. FORMATION ET VALORISATION

Bien que les développements instrumentaux sur des expériences de grande taille ne se prêtent pas nécessairement à un transfert vers l’industrie, certaines technologies employées pour détecter les astroparticules peuvent être valorisées via un partenariat public-privé. Au sein des groupes de la vallée, le projet ComptonCAM, issu des développements pour l’astronomie gamma au MeV, vise à construire une gamma caméra portable ultra sensible pour la localisation et la caractérisation de déchets radioactifs de démantèlement. Ce développement est mené par les groupes du CSNSM et de l’IPNO, ainsi que les PME Systel Electronique et THEORIS, soutenu par un financement ANR/Andra (2017-2021) de 1.77 M€, dont près de 55% pour les laboratoires. Une structure locale d’aide à la valorisation pourrait faciliter le montage de tels partenariats.

Les membres des groupes de la vallée contribuent activement aux enseignements en astroparticules aux niveaux M1 (e.g. General Physics, “Astrophysics & Astroparticles”), M2 (e.g. NPAC, “Astrophysique Nucléaire”, “Gravitation”, divers MOOC) et thèse (MOOC “Des particules aux étoiles” de l’école doctorale PHENIX ; cours sur l’astrophysique nucléaire au Gran Sasso ou à Calcutta). Plus largement, les cinq dernières années ont aussi vu des contributions à des conférences grand public (Académie Bourdon, Le Creusot ; 25e festival d’astronomie de Fleurance ; conférences grand public et cours sur les ondes gravitationnelles). De telles interventions sont souvent issues d’initiatives individuelles et ne semblent pas nécessiter un cadre spécifique pour continuer à se développer.

## VI. ÉLÉMENTS STATISTIQUES

Les participants du GT.6 ont collecté les informations relatives aux effectifs et budgets des groupes au cours des cinq dernières années. Bien qu’il soit difficile d’inférer des tendances sur une si courte période, ces données permettent d’évaluer par exemple le taux typique d’encadrement de chaque équipe ainsi que l’origine de leur budget.

L’évolution des forces en présence est représentée en Fig. 3, gauche, où sont distingués les membres permanents (chercheur.se.s et enseignant-chercheur.se.s) des contrats à durée déterminée (doctorant.e.s et postdoctorant.e.s). Le taux d’encadrement, moyenné sur 5 ans, est relativement variable d’une équipe à une autre, oscillant autour de 25% pour le CSNSM, 50% pour le LAL, 80% pour l’IPNO, voire 200% pour le LPT.

L’évolution du budget des groupes astroparticules, normalisé à l’effectif en présence chaque année, est représentée en Fig. 3, droite. La comparaison directe entre laboratoire est malaisée, en particulier pour le budget récurrent (IN2P3, EGO, fonds propres), du fait des différences de fonctionnement de chaque équipe. Les budgets relatifs à l’IPNO et au LAL n’incluent par exemple pas le financement des déplacements en conférence, contrairement

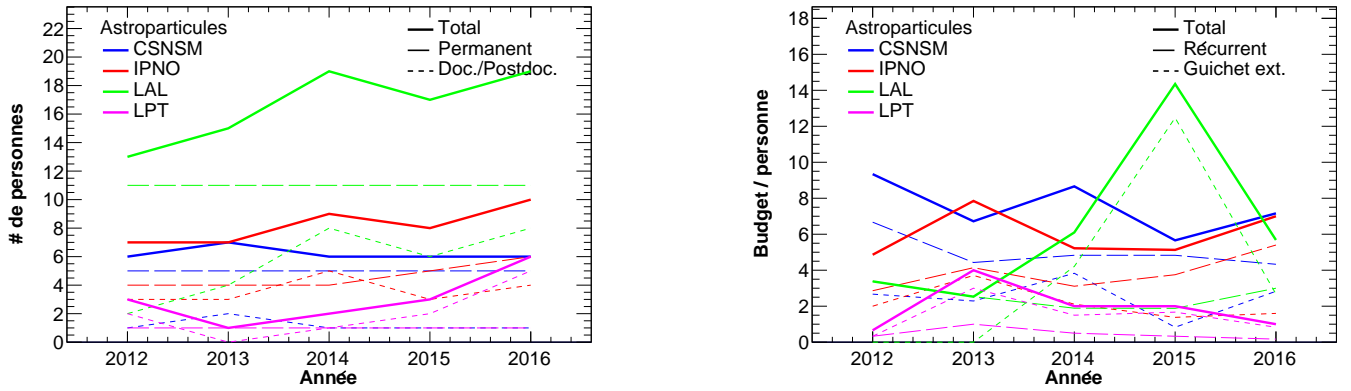


FIG. 3. *Gauche* : Effectifs astroparticules dans la vallée de 2012 à 2016. *Droite* : Évolution du budget per capita dans les groupes astroparticules de la vallée de 2012 à 2016.

ment à ceux du CSNSM et du LPT. Les financements récurrents représentent environ les deux tiers du budget des équipes expérimentales, un tiers pour l'équipe de phénoménologie, et présentent, même une fois normalisés à l'effectif, une variabilité (déviations standard normalisées à la moyenne) assez importante, 20-30% d'une année à l'autre pour les équipes du CSNSM, de l'IPNO et du LAL, 70% pour le LPT. La variabilité des fonds d'origine extérieure (P2IO, FP7, CNES, ANR, LIA, CEFIPRA, ERC) s'élève quant à elle à 40% pour l'IPNO et le CSNSM, 70% pour le LPT, voire 130% pour le LAL (contribution ANR exsueez marquée en 2015). Une telle variabilité, à échelle temporelle relativement courte, ne favorise pas la continuité des efforts de développement des groupes. Il ne semble pas cependant qu'un rapprochement des équipes puissent aider à résoudre ce point, dans la mesure où les budgets extérieurs ne financent que quelques porteurs et sont donc difficilement mutualisables.

## VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le domaine des astroparticules, développé de longue date par la communauté française, subit des transformations majeures : détections d'anisotropies en rayons cosmiques au TeV-PeV (e.g. IceTop), voire au delà de l'EeV (cf. Auger - ICRC 2017), découverte de neutrinos astrophysiques au TeV-PeV (IceCube), détection directe d'ondes gravitationnelles provenant de la fusion de trous noirs de masse intermédiaire (LIGO-Virgo), développement de "surveys" et recherches de sources transitoires de grande ampleur, de la bande optique au TeV en passant par les rayons X et gamma au MeV (LSST, SVOM, e-ASTROGAM, CTA). Les équipes de la vallée contribuent à la construction des expériences observant trois de ces quatre fantastiques messagers (CR,  $\gamma$ , GW;  $\nu$ ). Elles couvrent par ailleurs l'intégralité de la thématique du point de vue phénoménologique, avec des conséquences directes sur notre compréhension de la physique fonda-

mentale, de l'Univers sombre et de l'astrophysique des sources violentes.

Ces découvertes et développements instrumentaux augurent l'avènement d'une ère multi-messager, dont les équipes des laboratoires de la vallée sauront être moteur, quelque soit la structure à laquelle elles sont rattachées. La thématique astroparticule étant par nature plurielle, le GT.6 souligne l'importance du maintien des activités historiques des laboratoires en astroparticules (e.g. Virgo, Auger, LSST), d'un soutien aux nouvelles activités (e.g. SVOM, e-ASTROGAM, CTA, voire eLISA) et d'une protection active des développements aux frontières entre GT. Parallèlement, la non-observation de la matière noire dans les expériences de détection directe pousse au développement de modèles alternatifs dits "non conventionnels" (candidats très massifs ou au contraire relativement légers). Ces candidats ont des signatures caractérisées (production de neutrinos à haute énergie dans IceCube, ou photons monochromatiques au MeV dans e-ASTROGAM) qu'il serait bon d'étudier en collaboration avec différentes équipes de la vallée.

Les compétences techniques permettant le développement de nos contributions au domaine sont d'ores et déjà en place dans chacun des laboratoires, avec une proximité des services favorisant le dynamisme des projets nouveaux et aux frontières. Le GT.6 note que la perte de cette proximité, possiblement accompagnée d'un fonctionnement sur ticket, pourrait conduire au frein des activités astroparticules dans la vallée. Dans le même temps, il sera souhaitable qu'un rapprochement des laboratoires fasse émerger des structures facilitant le développement de nos activités scientifiques et techniques : AP internes mutualisés, aide aux demandes de financement et à la valorisation, séminaires scientifiques concertés.

Les discussions avec les GT connexes lors de la seconde phase de cet exercice ainsi que l'étude des propositions du pôle structure/RH permettront de formuler des recommandations plus concrètes quant au devenir de la thématique astroparticules au sein du projet de refondation des laboratoires de la vallée.