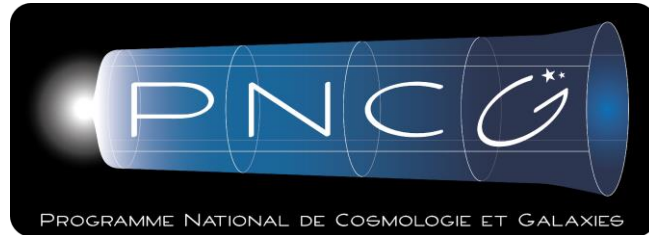


Programme National de Cosmologie et Galaxies



Bilan 2017-2021 & Perspectives

Table des matières:

	1
Table des matières:	2
1 Présentation du PNCG	3
1.1 Axes scientifiques prioritaires	3
1.2 Structure et fonctionnement	4
1.3 Communauté française	6
1.4 Interdisciplinarité et Interfaces	7
2 Bilan 2017-2021	9
2.1 Faits Saillants	9
2.2 Bilan des actions	10
2.2.1 Soutien aux projets	10
2.2.2 Structuration et animation scientifique de la communauté	11
2.3 Bilan Financier	12
3. Perspectives	17
3.1 Evolution thématiques	17
3.2 Evolution méthodologiques	19
3.2.1 Calcul et données	19
3.2.2 Nouvelles fenêtres d'observation	19
3.3 Contexte programmatique pour les projets à fort intérêt du PNCG	20
3.3.1 Richesse des données à venir	20
3.3.2 Complémentarité Sol-Espace	20
3.3.3 Importance des grands consortia dans les thématiques du PNCG	21
3.4 Evolution du rôle du PNCG, organisation et fonctionnement proposé pour le prochain mandat	21
Annexe A : détail des financements de l'AO PNCG	24
AO 2018	24
AO 2019	28
AO 2020	31
AO 2021	33

1 Présentation du PNCG

Le Programme National de Cosmologie et Galaxies (PNCG) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), est né en 2008 de la fusion des anciens Programme National de Cosmologie (PNC : 1997–2008) et Programme National Galaxies (PNG : 2001–2008). Il est financé par l’Institut National des Sciences de l’Univers (INSU), le Centre National d’Etudes Spatiales (CNES), le Commissariat à l’Energie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA), l’Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) et le l’Institut de Physique (INP). Il regroupe une large communauté, sur des thèmes scientifiques allant des modèles de l’Univers à l’observation des populations stellaires résolues dans les galaxies en passant par la formation et l’évolution des galaxies, des amas de galaxies, des grandes structures.

Ce document établit le bilan de son troisième mandat (2017-2021). Les bilans des deux mandats précédents sont disponibles sur le site web du PNCG¹.

1.1 Axes scientifiques prioritaires

Les axes scientifiques prioritaires du PNCG ont été modifiés lors du renouvellement du PNCG en 2017 afin d’offrir une grille de lecture simple à la communauté PNCG et aux autres programmes. Lors de la période 2017-2021, les quatre axes ont donc été les suivants:

1. Le modèle d’Univers

- Le modèle cosmologique et ses paramètres
- Univers primordial (baryogénèse, inflation, ...) et Fond Diffus Cosmologique
- Nature de la Matière Noire et Énergie Noire
- Théorie de la gravitation

2. Formation et évolution des grandes structures

- Cosmic Web, distribution des baryons et de la matière Noire à grande échelle et son évolution
- Milieu intergalactique
- Groupe et amas de galaxies
- Grands vides
- Réionisation

3. Formation et évolution des galaxies

- Les premières galaxies
- Propriétés statistiques des galaxies
- Physique de la croissance des galaxies
- Lien avec l’environnement

4. Galaxies proches et Archéologie Galactique

- Lien de la formation stellaire avec le milieu interstellaire

¹ <https://pncg.lam.fr/actions-resume/prospectives-bilans/>

- Populations stellaires
- Enrichissement chimique et gaz primordial
- Dynamique galactique et matière noire

Ces quatre axes offrent un pavage qui couvre l'ampleur des thématiques de PNCG. Le conseil s'est assuré d'avoir pour chacun d'eux un nombre de spécialistes, permettant d'avoir l'expertise nécessaire pour mener à bien ses actions. Les discussions sont cependant collégiales au sein de l'ensemble du conseil puisque les interfaces entre ces axes restent perméables (raison de la fusion PNCG/PNG en 2008).

Une discussion sur la pertinence de cette organisation et des modifications à effectuer pour le prochain mandat est présentée dans les perspectives (section 3.4).

1.2 Structure et fonctionnement

Le PNCG est une Action sur Projets de l'INSU soutenue également par le CNES, le CEA, l'IN2P3 et l'INP. Il s'articule autour d'un Bureau, qui en assure la direction et la représentation auprès des autorités de tutelle et de la communauté, et d'un Conseil Scientifique sur lequel s'appuie le Bureau dans la plupart de ses actions:

- diffusion de messages et d'information,
- animation de la vie scientifique dans notre communauté (ateliers, journées, participation à la SF2A),
- examen des réponses de l'appel à projet INSU-AA chaque année,
- expertises (pour le CNRS, la CSAA, les comités SO, le CNES),
- trouver des représentants de nos thématiques pour différents comités (e.g. TAC)
- réflexions autour de grands projets ou grandes questions, en particulier dans le cadre des exercices de prospective).

Pour remplir ces fonctions, le Conseil Scientifique est réuni au moins une fois par an en présence (sauf en 2020 pour des raisons évidentes), et est consulté régulièrement par email, ou bien lors de téléconférences.

Lors du mandat 2017-2021, plusieurs départs/arrivées ont été nécessaires pour diverses raisons. Au cours du mandat, le bureau et le conseil ont comporté les personnes listées ci-dessous:

BUREAU:

- Directeur/Directrice : Vanessa Hill (2017-2020) puis Samuel Boissier (2020-2021)
- Président/Présidente du Conseil Scientifique:
David Elbaz (2017-2019), puis Valeria Pettorino (2019-2021)
- Secrétaire scientifique : Matthieu Tristram (2017-2021)

CONSEIL:

- Membres nommés par l'[INSU](#):
 - o Samuel Boissier – LAM (2017-2021)
 - o Nicolas Bouché – CRAL (2017-2021)

- Yohan Dubois – IAP (2017-2021)
- Benoit Famaey – ObAS (2020-2021)
- Chiara Ferrari – OCA (2017-2020)
- Raphaël Gavazzi – IAP (2019-2021)
- Vanessa Hill – OCA (2017-2020)
- Rodrigo Ibata – ObAS (2017-2021)
- Etienne Pointecouteau – IRAP (2017-2021)
- Nicolas Ponthieu – IPAG (2017-2021)
- Alejandra Recio-Blanco – OCA (2020-2021)
- Johan Richard – CRAL (2017-2021)
- Annie Robin – Institut UTINAM (2017-2021)
- Philippe Salomé – LERMA (2017-2021)
- Sylvain de la Torre – LAM (2017-2021)
- Susanna Vergani – GEPI (2017-2019)
- Membres nommés par le [CEA](#)
 - Eric Armengaud – CEA/SPP (2019-2021)
 - David Elbaz – CEA/Dap (2017-2019)
 - Nathalie Palanque-Delabrouille – CEA/Irfu-DPhP (2017-2019)
 - Valeria Pettorino – CEA/Dap-AIM (2019-2021)
- Membres nommés par l'[INP](#)
 - Philippe Brax – IPhT – CEA (2017-2021)
 - Christos Charmousis – LPT Orsay (2017-2021)
- Deux membres nommés par l'[IN2P3](#)
 - Nicolas Regnault – LPNHE (2017-2021)
 - Matthieu Tristram – LAL (2017-2021)

Les directeur/directrice et le président/présidente du CS représentent le PNCG dans divers comités, en particulier à la Commission Spécialisée Astronomie-Astrophysique (CSAA) de l'INSU ; mais aussi dans certaines discussions avec le CNES.

Le PNCG nomme ou propose des représentants, issus du CS, ou bien de sa communauté pour contribuer à de nombreux comités (demande de temps, suivi d'instrumentation), ceci afin d'apporter son expertise thématique, et d'avoir une vision complète des développements actuels. En particulier, à la date de rédaction de ce document, nous pouvons noter (personne du conseil en gras, sortante en rouge):

- TAC NRT: Frédérique Boone proposé
- Station de Nançay, Comité Stratégique de direction: **Philippe Salomé**
- Astronet: **Matthieu Tristram** dans le panel "Origin and Evolution of the Universe"
- ASOV : **Annie Robin**
- CS de l'OHP: Vanessa Hill (à remplacer après le renouvellement)
- TAC T2m : **Rodrigo Ibata**
- Comité de suivi des instruments ELT:
 - MICADO + MAORY: Nicolas Martin
 - HARMONI: Emanuele DADDI
 - METIS: Vanessa Hill + Marta Volonteri
 - MOSAIC: David Elbaz + **Johan Richard**

- GDR Ondes Gravitationnelles: Philippe Brax
- Autres comités de suivi :
 - o MOONS : Hervé Aussel
 - o GRAVITY+ : **Benoît Famaey**

1.3 Communauté française

Différents instituts en France contribuent à la recherche dans les thématiques du PNCG, et la communauté PNCG est donc répartie sur ces instituts. Il n'est pas très aisé de comptabiliser la taille de la communauté, d'autant que nous avons procédé au printemps 2016 à la remise à plat de la liste de diffusion du Programme, sur action volontaire de ses inscrits. Au début de la période, l'ancienne liste PNCG contenait près de 600 inscrits, mais dont un nombre important d'emails étaient retournés en erreur, reflétant soit simplement des changements d'adresse courriel, soit des départs (par exemple de doctorants ou post-doctorants). La nouvelle liste comprend 345 inscrits qui ont donc confirmé leur désir de s'inscrire au PNCG au printemps 2021. La Figure 1.1 montre la répartition de ces inscrits en 195 membres de laboratoires INSU, 80 de laboratoires de l'IN2P3, 34 du CEA ; les autres sont des personnels INP, CNES, des post-doctorants étrangers, et quelques affiliations diverses. Un autre indicateur de la communauté PNCG est donné par les personnels répertoriés dans l'annuaire SF2A et se déclarant affiliés au PNCG : 267 parmi les 1498 personnes de l'annuaire (en janvier 2021) se déclarent affiliés au PNCG, soit 18% de l'effectif total et font du PNCG un des "gros" programmes nationaux. On notera que la fraction des personnels IN2P3 ou INP est très réduite sur cet annuaire, ce qui pourrait expliquer la différence avec le nombre des inscrits sur la liste de diffusion du PNCG. En revanche, un croisement direct des listes nous apprend que la réalité est plus complexe, et cache sans doute une communauté PNCG plus étendue (sans doute supérieure à 500 personnes).

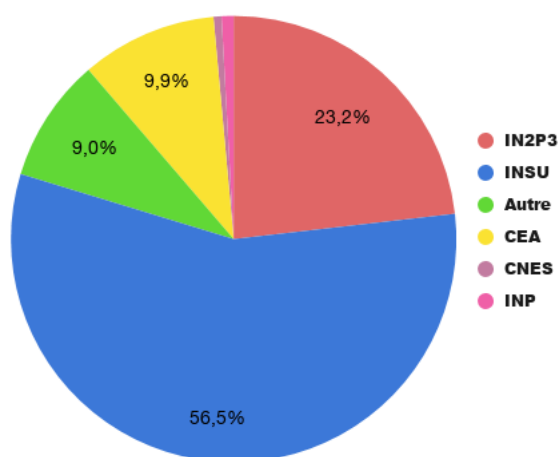


Figure 1.1 : répartition des inscrits à la liste de diffusion du PNCG par appartenance aux instituts du CNRS et CEA (mars 2021).

1.4 Interdisciplinarité et Interfaces

Le PNCG est un programme inter-organisme fortement interdisciplinaire. Il a donc naturellement des interfaces avec plusieurs autres programmes de l'INSU (PNPS, PCMI, PNHE essentiellement), d'autres instituts du CNRS (IN2P3/INP), il concerne plusieurs sections du CNRS (sections 1, 2, 4, 17) et le CEA.

Dans le domaine de la cosmologie, des thématiques, mais aussi des projets structurants pour la communauté sont à cheval entre plusieurs instituts (**INSU/INP/IN2P3**). Le PNCG a accompagné et soutenu les initiatives d'animation scientifique dans ces domaines (comme l'action Dark Energy ou la roadmap CMB). La dernière prospective INSU/AA a d'ailleurs souligné le rôle particulier du PNCG pour cette interface, avec des propositions pour essayer de les améliorer (voir section 3.4).

Le PNCG et le **Programme National des Hautes Énergies** ont de nombreux points d'interface (le PNHE est d'ailleurs lui aussi soutenu par l'IN2P3 et l'INP). Dans l'univers "proche", les phénomènes de rétroaction induits par les trous noirs supermassifs et l'évolution de la galaxie hôte, scrutés notamment en rayons X, mais également étudiés dans toujours plus de détail dans les simulations de l'évolution des galaxies, sont un domaine d'étude à l'interface particulièrement actif. A plus grande échelle, les traceurs transitoires de l'Univers lointain (quasars, sursauts gamma), la première génération d'étoiles, l'époque de réionisation, et les fonds cosmiques (EBL, neutrinos, GW) sont étudiés par les deux communautés. L'étude de la matière noire est aussi une thématique à l'interface des deux communautés car les observables en rayons X, en rayons gamma mais également grâce aux messagers non photoniques (neutrinos, rayons cosmiques) pourraient permettre de déterminer sa nature. Dans les prochaines années tous ces sujets vont grandement bénéficier du lancement du satellite en rayons X ATHENA (lancement prévu pour 2033 avec une "Mission Acceptation Review" à l'ESA en 2022, mission L2, ESA) qui fédère une grande partie des membres du PNCG et du PNHE, ainsi que l'observatoire en rayons gamma CTA qui devrait être opérationnel en 2022 et atteindre sa configuration complète en 2025.

Les études de formation d'étoiles dans les galaxies et de l'évolution des populations stellaires font intervenir directement les propriétés physiques des étoiles ; l'étude de l'évolution chimique des galaxies nécessite une connaissance approfondie des mécanismes de production des éléments chimiques. Ces interfaces avec le **Programme National de Physique Stellaire** ont été très visibles lors de l'exploitation des données du satellite Gaia, ainsi qu'autour des nouvelles possibilités d'études de populations stellaires galactiques ouvertes par l'astéro-sismologie des étoiles géantes (missions CoRoT, Kepler, et bientôt Plato).

Les études du cycle de la matière et des processus de régulation de la formation stellaire dans les galaxies à différents redshifts nécessitent la description des propriétés physiques du gaz et de la poussière interstellaires, une interface qui s'est trouvée renforcée à la fois par l'observatoire infrarouge Herschel, l'exploitation scientifique d'ALMA et la montée en puissance de NOEMA. Ces sujets constituent une forte interface avec le **Programme National Physique Chimie du Milieu Interstellaire**, avec lequel une école commune est organisée en 2021.

Des interfaces ont commencé à se développer avec le **Programme National Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie** sur la gravitation, autour des ondes gravitationnelles et de matière et énergie noire.

Le PNCG est aussi en pointe sur la **science des données**, plus particulièrement le traitement massif de données, nécessité par des jeux de données toujours plus grands (ex: Plank, Gaia ou LOFAR aujourd'hui, et à venir, Euclid, LSST, SKA, ...), mais aussi les méthodologies type deep-learning, qui sont amenées à se développer, potentiellement avec des chercheurs d'autres disciplines. Le PNCG a d'ailleurs proposé en 2020 (reporté à 2021) la tenue d'un atelier sur la thématique du Machine Learning lors des journées SF2A.

Enfin, le PNCG soutient, en collaboration étroite avec les autres programmes nationaux, le développement d'instrumentation pour l'astronomie. En pratique, il nomme des membres du conseil ou des personnalités de la discipline dans les comités de suivi des instruments, soutien de l'organisation autour d'ANOs (e.g. JWST) ou des rencontres autour de projets (e.g. MSE), ou bien encore co-organise des ateliers en commun avec les autres PN pendant les journées de la SF2A (en particulier les ateliers récurrents ELT).

2 Bilan 2017-2021

2.1 Faits Saillants

Le PNCG a participé à l'exercice de prospective de l'INSU AA en 2019. Les faits saillants ci-dessous sont basés sur ceux qui avaient été identifiés à cette occasion (avec une mise à jour).

- La collaboration **Planck** a publié en 2018 ses résultats définitifs. Planck a fourni la cosmologie de référence avec les cartes du CMB mais aussi la première carte du champ de gravitation, un catalogue sur tout le ciel de plus de 1500 amas, et des cartes des émissions galactiques. Planck a assis nos connaissances sur la physique de l'Univers primordial et l'origine des grandes structures en montrant la cohérence des données avec le scénario d'inflation i.e. que les grandes structures proviennent des premières perturbations de la métrique. Ce sont des résultats à forte contribution française, non seulement sur la cosmologie mais aussi sur la science dite ancillaire des avants plans.
- Dans le domaine de l'évolution des galaxies, la mise en place du spectrographe intégral de champ **MUSE** sur le VLT a été une avancée considérable à tous les redshifts. MUSE a permis par exemple la découverte d'un très grand nombre de galaxies de faibles masse @ $z > 3$ dans les champs profonds de Hubble, qui sont très faibles mais facilement détectées par MUSE grâce à leur émission Ly-alpha, mais aussi la détection de l'émission Ly-alpha diffuse dans le milieu circum-galactique et jusque dans les filaments cosmiques, en accord avec les prédictions des modèles. L'apport de MUSE a également été significatif pour l'observation des galaxies proches avec notamment une grande synergie avec ALMA et NOEMA.
- L'interféromètre **ALMA** est un outil majeur pour la connaissance du gaz et de la poussière dans les galaxies proches et lointaines. Dans les galaxies proches, on peut mesurer la distribution du gaz moléculaire avec une très grande résolution spatiale. Dans l'univers lointain, on peut noter le "Large Program" Alpine (PI français) qui a produit ses premiers résultats en 2020. La communauté française est largement impliquée dans d'autres Large Program ALMA, mais aussi dans des programmes impliquant l'interféromètre complémentaire dans l'hémisphère Nord : **NOEMA**. (NIKA2, NIKA2SZ, Z-GAL; IMEGIN).
- Les données **Gaia** (DR2 en avril 2018 puis early DR3 en décembre 2020) ont fourni des résultats marquants sur la Voie Lactée grâce à ce catalogue de plus d'1 milliard d'étoiles avec photométrie, parallaxes et mouvements propres, entièrement à accès public (sans temps propriétaire pour le consortium). Cela a permis dès les publications des catalogues de mettre en lumière par exemple la dernière grande accretion sur la Voie Lactée (Gaia Enceladus), la non-stationnarité du disque galactique, et de nombreux autres résultats (gradients chimiques et cinématiques dans la Voie Lactée, découverte de nouveaux amas, de nouveaux courants stellaires... résultats dans lesquels la communauté française PNCG a été particulièrement impliquée).

- On a pu noter au cours de ces dernières années de grandes **campagnes de simulations cosmologiques de formation des structures et des galaxies** reposant notamment sur des codes à raffinement adaptatif de maille dans lesquels le PNCG est fortement investi. Ces simulations cosmologiques ont franchi des étapes majeures : large statistique (>100 000 galaxies) avec les projets Horizon-AGN et Extreme-Horizon, et résolution des principales structures du MIS (~10pc, NewHorizon). Les développements clés ont été réalisés par des équipes soutenues par le PNCG, notamment l'inclusion du transfert radiatif dans RAMSES-RT, permettant les premières simulations capables d'étudier les effets de la ré-ionisation sur la formation des galaxies (SPHINX). L'apport de nouveaux modèles de feedback dans Horizon-AGN a eu un fort impact sur les liens entre l'évolution des galaxies, leur morphologie et leur position dans la toile cosmique. L'utilisation des tout derniers moyens de calcul a permis de réaliser des simulations d'envergure pour l'étude de la réionisation en lien avec SKA (CODA II, LICORICE).
- En parallèle, la grande richesse de l'arsenal **de codes de simulation et d'analyse** développés dans les laboratoires, a fourni des résultats de premier plan : modélisation de la dynamique de la matière noire directement dans l'espace des phases, modélisation du rayonnement Lyman-alpha et de l'émission CO dans les galaxies de l'Univers à haut redshift, croissance des trous noirs supermassifs, modélisation du gaz filamentaire froid des amas, rôle des rayons cosmiques dans la propulsion des vents galactiques, simulations fines de l'évolution morphologique des galaxies et de leurs populations stellaires, etc. Ces simulations sont de plus en plus souvent un soutien crucial pour l'obtention de données observationnelles.

2.2 Bilan des actions

2.2.1 Soutien aux projets

Tous les projets soutenus sur les AO 2018 à 2021, examinés pendant le mandat, sont donnés en annexe A. Le type des projets soutenus est discuté ci dessous:

- La préparation des grands projets prioritaires de la discipline, en particulier les missions spatiales (e.g. Euclid, JWST). Dans les phases précoces, ces réunions permettent la préparation de la communauté à leur exploitation scientifique. Le conseil est aussi attaché à veiller à la complémentarité des moyens sols et espace (e.g. les grands sondages sols préparant et accompagnant la mission Euclid ont été soutenus sans hésitation). Ce point est développé dans la section 3.3.2.
- L'utilisation des grands moyens spatiaux (Gaia, XMM-Newton) et des TGIR/IR. La communauté utilise largement les missions spatiales en cours (e.g. Gaia, HST) ou les données archivées pour les missions dans lesquelles elle a été impliquée par le passé (e.g. Herschel, Planck). Elle utilise aussi très intensément les IR/TGIR (e.g. ALMA, les différents instruments ESO dont VLT, CFHT, les moyens de l'IRAM). Le soutien du PNCG permet souvent de valoriser ces données. En 2021, avec l'introduction des nouveaux "outils" dans les AO de l'INSU, l'outil "IR/TGIR" avait été peu sélectionné

(au profit de l'outil "collaboratif", sachant que dans nos thématiques, de très larges équipes dispersées entre plusieurs laboratoires sont souvent regroupées pour l'exploitation de grands sondages). Lors d'un exercice effectué par le conseil, le PNCG a cependant constaté que plus de la moitié des demandes auraient pu relever de la catégorie TGIR.

- Le soutien du PNCG est parfois nécessaire à des équipes françaises impliquées dans une collaboration internationale, afin de pouvoir par exemple participer aux réunions de consortia de ces projets. Si le PNCG ne veut pas financer des équipes étrangères sans réciprocité, permettre à une équipe française de maintenir son rang et sa présence dans ce type de consortia est stratégiquement important, en particulier quand des données de grande visibilité sont en jeu, avec une forte valeur ajoutée en terme de publications de la collaboration.
- Le PNCG soutient aussi des projets de moindre ampleur, pour lesquels des montants relativement modestes permettent à des chercheurs de se rencontrer ou de s'équiper, au-dessus des moyens que peut mettre à disposition un laboratoire, mais en deçà des ambitions nécessaires pour un dossier ANR ou ERC.
- Le PNCG soutient la coordination d'équipes utilisant les très grands moyens de calcul en particulier dans le cadre de simulations de la Voie Lactée (en lien avec GAIA), ou bien les grandes simulations cosmologiques. Le conseil a soutenu une demande en 2020 et 2021 visant à préparer la communauté à "l'exascale".
- Finalement, le conseil du PNCG est très attaché à maintenir de l'animation scientifique au sein de sa très grande communauté. Nous reviendrons sur ce point dans la section suivante.

2.2.2 Structuration et animation scientifique de la communauté

Dès l'AO 2020, le PNCG a décidé de réserver une partie de son financement pour des actions d'animation, anticipant l'outil proposé par l'INSU pour l'AO 2021, et augmentant la partie du budget dédié à celles-ci, afin qu'elles soient véritablement structurantes. Le conseil a aussi directement organisé certaines écoles, en particulier une école PCMI/PNCG, en essayant d'analyser chaque année suite à la réponse à l'AO les thématiques qui resteraient à animer.

En particulier, on peut noter:

- Un montant significatif en 2020 destiné à l'animation de la communauté "CMB"
- Une contribution récurrente sur le mandat destiné à l'animation de la communauté autour de la thématique "Dark Energy".
- de l'animation (Rencontres/écoles/ateliers) autour des projets (e.g. Euclid, Gaia, Weave, LSST).
- Le soutien à des actions autour du calcul numérique, et la préparation à l'exascale.
- Chaque année, quelques ateliers thématiques (e.g. préparation SKA, galaxies poussiéreuses),
- Soutien à des écoles (e.g. statistiques4astro, PCMI/PNCG)

- En 2018, le conseil a organisé des journées qui ont été très largement dédiées à la prospective de nos disciplines en préparation à la prospective de l'INSU.

Par ailleurs, le PNCG est toujours présent lors des journées de la SF2A. Au cours de ce mandat, le PNCG y a organisé les ateliers suivant (seul ou en collaboration avec d'autres PNs):

- Relevés photométriques grand champ. SF2A 2018
- Demain l'ELT ! Quelle science avec ses 1ers instruments ? SF2A 2019 (avec PNPS, PNP, PCMI, PNHE)
- Matière noire à toutes les échelles. SF2A 2019
- Machine Learning for the study of galaxies and cosmology. SF2A 2020 puis 2021
- Demain l'ELT ! Quelle science dans quel contexte dans les années 2030 ? SF2A 2020 puis 2021 (avec PNPS, PCMI, PNP, PNHE)

Et nos orateurs en session plénières ont été:

- Matthieu Tristram : CMB in (relative) tensions (2020 puis 2021)
- Mathieu Bethermin : Explorer l'Univers à grand redshift avec ALMA (2019)
- David Katz: La Voie Lactée et au-delà, avec le second catalogue Gaia (2018)

2.3 Bilan Financier

La Figure 2.1 montre l'évolution des ressources du PNCG qui ont été à peu près stables au cours de ce mandat et proches de 200 keuros. Il serait difficile pour le programme de fonctionner avec un budget plus faible au vue des demandes (autour de 70 demandes pour un montant total voisin de 400 keuros), si on met de côté l'année 2021 où le nombre de demandes a été particulièrement faible, en suite à la situation sanitaire et aux incertitudes des projets en particulier en terme de missions.

Comme on peut le voir sur les figures 2.2 à 2.4, les demandes sont relativement bien partagées entre les 4 axes même si l'axe "formation et évolution des galaxies" concerne un plus grand nombre de demandes et un plus grand montant financier. Depuis l'AO, le cinquième "axe" concernant l'animation scientifique est passé aux alentours de 20%.

Les figures 2.5 à 2.8 montrent la distribution du nombre de demandes, montant demandé, financé et le pourcentage de réussite par laboratoire. Les laboratoires les plus impliqués dans les thématiques PNCG (en termes de réponse à l'AO) sont le LAM, le CRAL, Lagrange, l'IRAP, AIM, l'IAP (avec des taux de réussite variant entre 50 et 80%). Il y a cependant d'excellentes équipes dans d'autres laboratoires, moins "globalement" tournés vers les thématiques PNCG, ou moins peuplés, et 24 laboratoires ont bénéficié de l'aide du PNCG au cours du mandat.

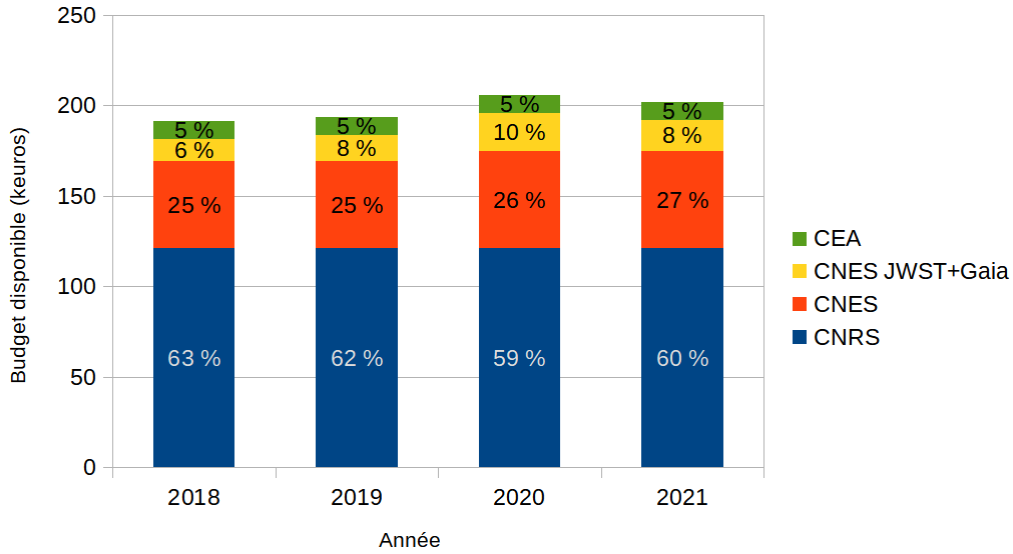


Figure 2.1: Évolution du budget disponible pour le PNCG et répartition des sources (CNRS : INSU, IN2P3, INP, CNES, CNES JWST+Gaia, CEA).

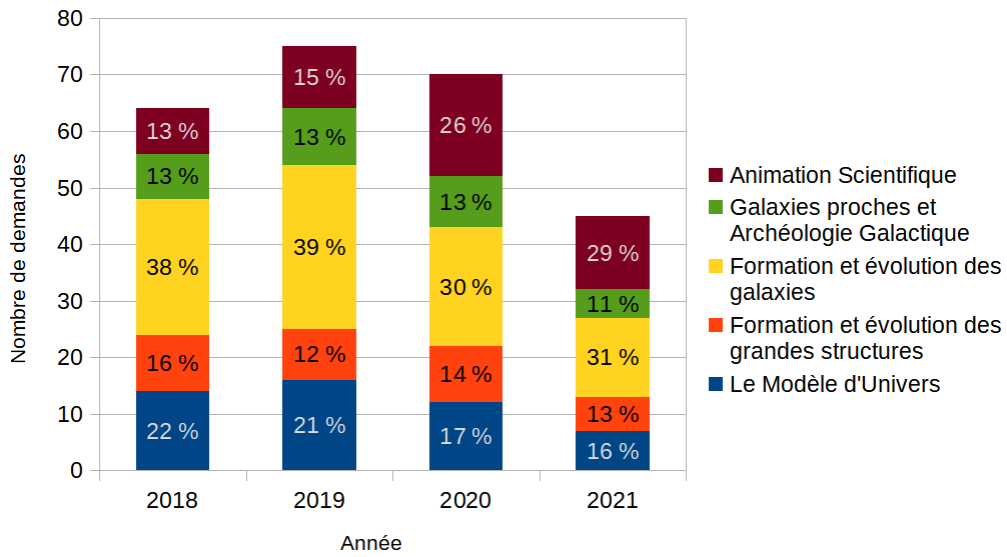


Figure 2.2: Évolution du nombre de réponses reçues aux AO 2018 à 2021 avec distribution thématique.

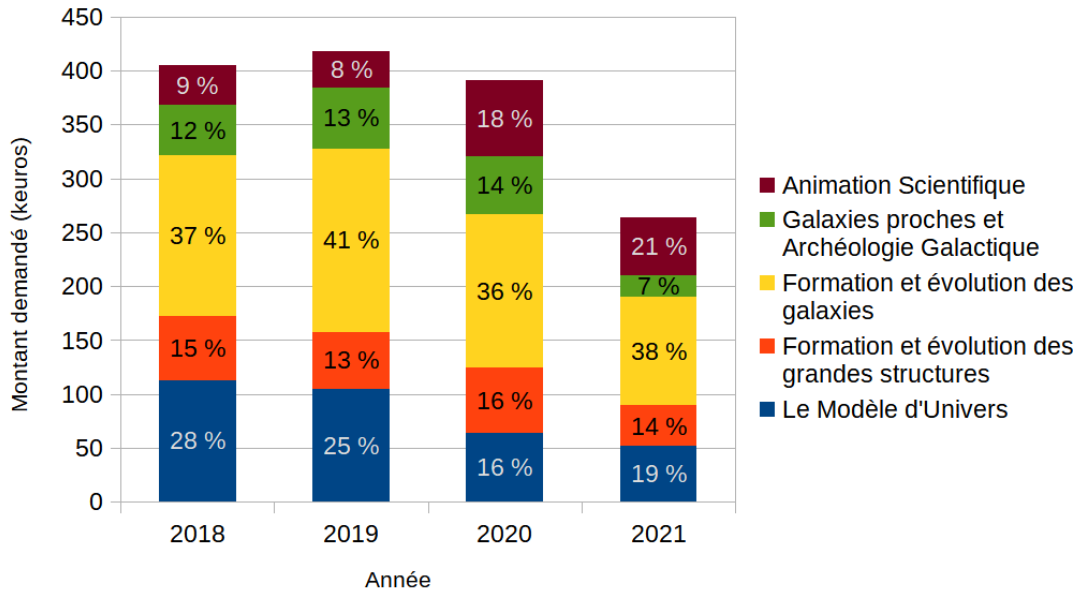


Figure 2.3: Evolution des montants demandés aux AO 2018 à 2021 avec distribution thématique

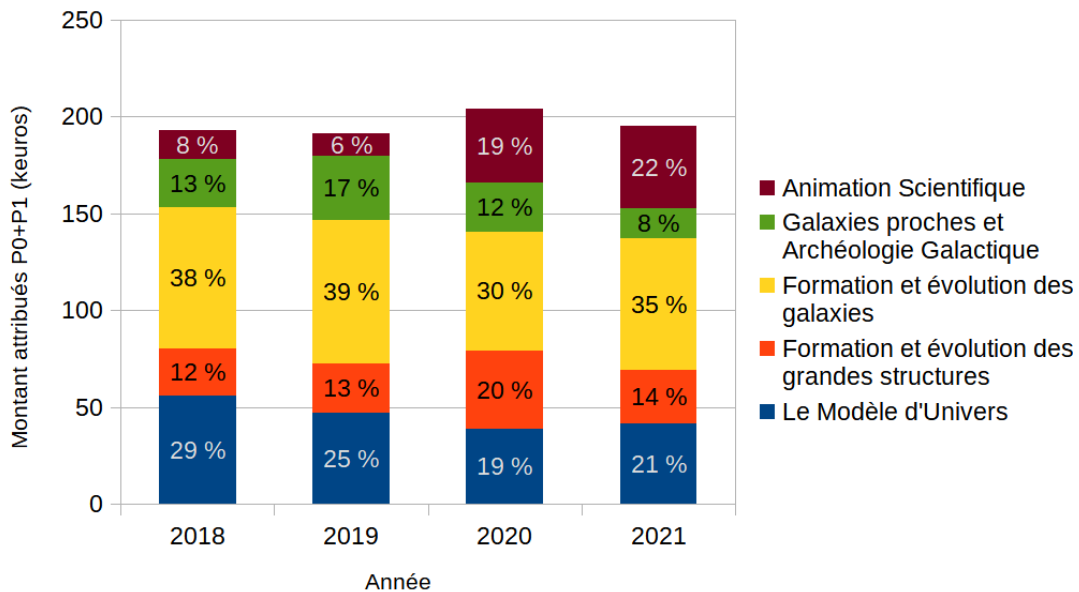


Figure 2.4: Evolution des montants attribués (en P0+P1) aux AO 2018 à 2021 avec distribution thématique

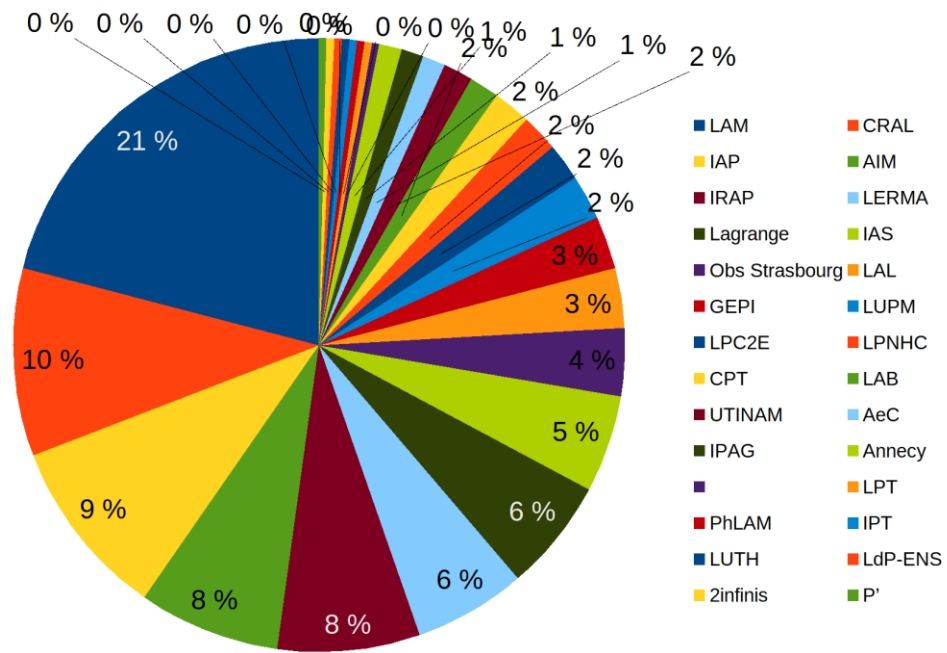


Figure 2.5: pourcentage du nombre de demandes aux AO 2018 à 2021 par laboratoire.

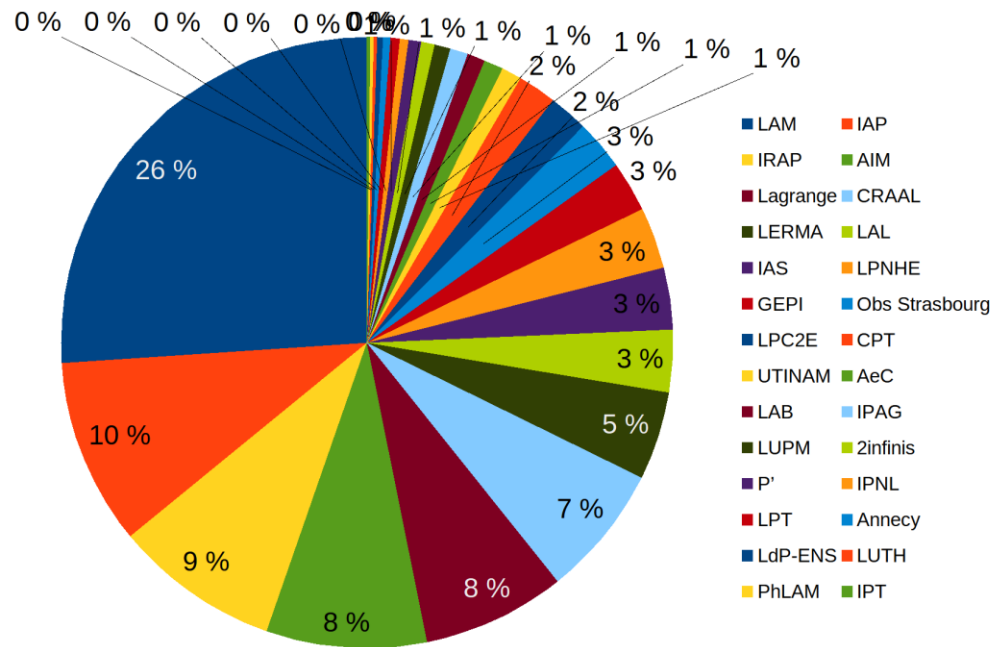


Figure 2.6: Pourcentages des montants demandés aux AO 2018 à 2021 par laboratoire.

3. Perspectives

3.1 Evolution thématiques

Le domaine de l'étude de l'évolution des galaxies et de la cosmologie est encore très actif, comme le montre le volume de publications dans le domaine (Fig. 3.1). Nous détaillons ci-dessous l'actualité de quelques grands thèmes nous concernant.

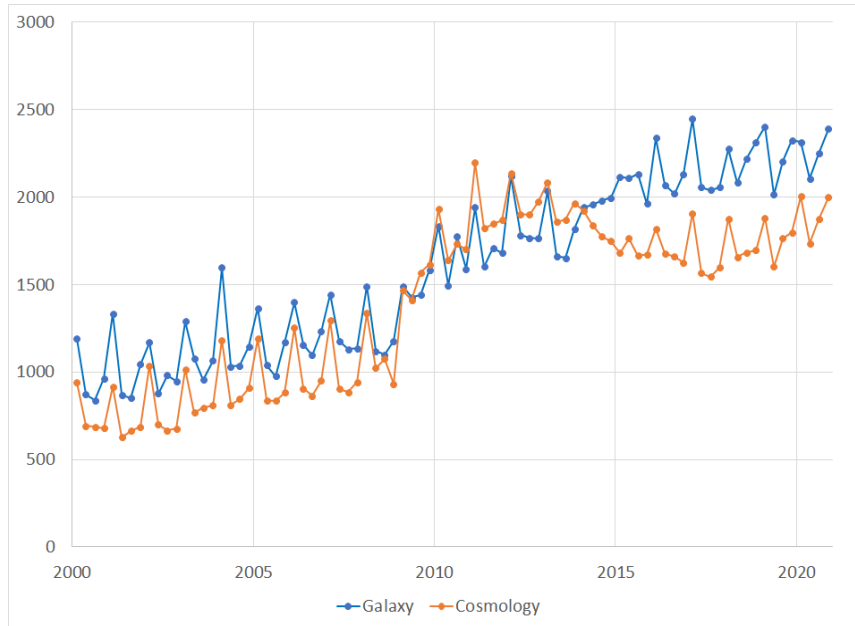


Figure 3.1 :
Publications avec
rapporteur ayant pour
mots-clefs "galaxy" et
"cosmology" (Courtesy
Denis Burgarella)

Cosmologie : deux grandes évolutions thématiques sont en cours. D'un côté, une fenêtre sur l'inflation est ouverte par la mesure du CMB en polarisation (modes B et E), qui a le potentiel de fournir, d'une part, une validation du paradigme de l'inflation et la détermination de son niveau d'énergie absolu, et, d'autre part la forme du potentiel d'inflation. D'un autre côté, la quête de l'énergie noire mobilise une partie importante de la communauté, et nécessite deux approches simultanées : (1) mesurer précisément l'histoire de l'expansion cosmique (2) contraindre l'histoire de la formation des structures (Euclid, LSST). Les travaux théoriques, sur la nature de la matière noire et les théories de la gravitation accompagnent et orientent ces évolutions, et sont communes à de nombreux thèmes du PNCG. La multiplication des sondes cosmologiques révèle des tensions entre sondes, qui mettront en lumière des effets qui n'étaient pas anticipés. L'un des développements notables pour une cosmologie de précision passe par la compréhension de l'effet des baryons sur la toile cosmique, la masse des halos et l'utilisation des amas comme sonde cosmologique.

Réionisation : de multiples sondes permettent aujourd'hui pour la première fois de sonder la réionisation sous des angles très divers et complémentaires : non seulement le milieu intergalactique, ou quelques galaxies à très haut z , mais aussi la fonction de luminosité des galaxies dans les amas à haut z , les distorsions spectrales du CMB, CII comme traceur du gaz ionisé. Ces angles d'approche permettent de contraindre l'époque, les responsables, et les processus de la réionisation. Un recensement complet des galaxies à très haut z permettra de comprendre quelles sont les propriétés des galaxies responsables de la réionisation,

quelle fraction des photons ionisants s'échappe, et la croissance des bulles ionisantes autour des galaxies à grand z .

Formation et évolution des grandes structures : les grandes structures dans l'Univers donnent accès à la distribution de la matière noire aux grandes échelles, l'assemblage de la masse dans l'Univers, la connexion entre matière noire, gaz et galaxies, mais aussi les mécanismes physiques de l'assemblage des grands halos de matière (mouvement d'ensemble, turbulence, champs magnétiques, micro-physique du plasma, rayons cosmiques), les propriétés physiques du milieu intergalactique aux grandes échelles et leur évolution, et jusqu'au milieu intergalactique chaud à la périphérie des amas jusqu'aux filaments. La recherche et la caractérisation des proto-amas participent de ces recherches en émergence.

Évolution des galaxies : rôle des baryons: où sont les baryons, quels processus dominent leur physique et la formation stellaire, et comment cela évolue-t-il avec le temps ? Ces questions se déclinent désormais dans trois contextes distincts : (i) la co-évolution des baryons et de la matière noire dans les galaxies, l'histoire de la formation stellaire dans les galaxies dans les amas/proto-amas vs. celles de champ, la matière noire dans les galaxies ultra-diffuses récemment découvertes. (ii) Le cycle des baryons dans les galaxies, qui met en jeu des mécanismes physiques complexes, et sa variation au cours du temps, sont fondamentaux également. Comment les galaxies se forment-elles, comment acquièrent-elles leur gaz ? Existe-t-il des courants cosmiques froids ? Quel est l'impact de la rétroaction des AGN sur les galaxies et quel est leur mode d'évolution (co-évolution) ? Quelle est l'histoire cosmique de la formation d'étoiles ? Quels sont les mécanismes dominants dans la formation stellaire et sa régulation ? Des avancées significatives sont attendues dans les galaxies distantes, où la formation stellaire, le rapport gaz-poussière, l'excitation du gaz peuvent être étudiées. La formation stellaire résolue (à petite échelle) apporte également des contraintes fortes. (iii) Finalement, la quantification des processus internes/externes de la transformation morphologique des galaxies est également une question ouverte : quelle est l'époque des premiers disques stables ? Quelle relation existe-t-il entre moment angulaire et propriétés globales des galaxies ? Comment évoluent les bulbes et disques, avec quelle influence sur la formation stellaire ? Des avancées importantes viendront également de l'Univers très proche : d'une part, les vues détaillées du gaz et la dynamique (à l'échelle sub-GMC, dans les observations comme dans les simulations numériques), efficacité de la formation stellaire et rôle de la densité de gaz, feedback aux petites échelles ; d'autre part, la détection de reliques d'accrétions passées autour d'un grand nombre de galaxies grâce aux techniques d'imagerie à faible brillance de surface .

Évolution Galactique aux petites échelles : prolongeant les recherches sur les galaxies en général, la Voie Lactée reste une fenêtre unique pour comprendre les mécanismes d'évolution des galaxies dans le détail, ainsi que les propriétés de la matière noire aux échelles galactiques et sub-galactiques. Un grand nombre de questions restent ouvertes après les premières remises de données de Gaia, dont des questions fondamentales sur la structure de notre Galaxie (forme du potentiel galactique, distributions de la masse et de la matière noire, adéquation des modèles alternatifs de gravité) et des galaxies naines qui l'entourent (profil de densité de la matière noire au centre core/cusp ?), sur l'origine des sous-structures observées (dans le disque et le halo), la part du halo formé in situ et par

quels processus. La modélisation chémo-dynamique de la Voie Lactée dans son ensemble devra s'appuyer sur des simulations numériques réalistes, à très haute résolution spatiale et incluant l'évolution chimique de manière auto-consistante pour permettre l'interprétation des données combinées de Gaia et des grands relevés spectroscopiques au sol. Avec JWST, puis l'ELT, l'archéologie extra-galactique permettra de sonder des galaxies de types et d'histoire d'accrétion différents de ceux de la Voie Lactée. Des comparaisons détaillées sont déjà d'actualité grâce à des grands sondages avec des IFUs (MUSE, SITELLE...).

3.2 Evolution méthodologiques

3.2.1 Calcul et données

Les simulations numériques (HPC-simulations), thématique très active, contribuent aux avancées dans quasiment toutes les thématiques du PNCG. Les besoins de calcul haute performance en analyse de données s'accroissent (CMB, Euclid, LSST 20 To/nuit, SKA). Finalement, la taille et la nature des données (observationnelles ou simulées) manipulées par la communauté PNCG nécessitent le recours aux techniques d'intelligence artificielle (sciences des données, data mining, machine learning).

3.2.2 Nouvelles fenêtres d'observation

Grâce à ses nouveaux détecteurs à base de KIDs développés en un temps record sous la direction de l'institut Néel, la caméra NIKA2 au télescope de 30m de l'IRAM a permis des progrès considérables en rapidité de cartographie millimétrique et en détection d'amas de galaxies par effet Sunyaev-Zel'dovich. Aux basses fréquences, LOFAR combiné aux nouveaux algorithmes d'étalonnage et d'imagerie très performants, ouvre une nouvelle fenêtre pour l'étude de l'émission non-thermique dans les amas de galaxies, les différentes classes de noyaux galactiques actifs, ainsi que la possible première détection de raies de recombinaison à des distances cosmologiques. LoTSS (LOFAR Two-meter Sky Survey), couvrira à terme tout l'hémisphère nord.

Le 4 février 2021, la France s'est engagée dans le processus pour devenir membre de SKA Observatory. SKA va révolutionner notre vision du ciel basse fréquence, et apporter des contraintes uniques ou complémentaires à d'autres longueurs d'ondes pour les thématiques PNCG. Le livre blanc de SKA-France démontre l'intérêt de SKA pour la communauté PNCG, que ce soit pour l'univers primordial (la réionisation), le taux de formation stellaire et la quantité de gaz HI dans les galaxies lointaines, les grandes structures, et la physique fondamentale (tests de la gravitation au travers des objets compacts).

La détection des ondes gravitationnelles, puis de leur association avec des contreparties électromagnétiques ouvrent de nouvelles perspectives qui là aussi concernent PNCG, que ce soit avec les sources Galactiques et dans les galaxies proches (étoiles binaires), les trous noirs supermassifs au centre des galaxies, ou bien la mesure de la constante de Hubble en utilisant les ondes gravitationnelles comme des "sirènes standard". Plus généralement, l'astronomie multi-messager prend son envol et concerne pleinement les thématiques PNCG, souvent au niveau d'interfaces (comme avec le PNHE, ou avec les autres instituts du CNRS) auxquelles le conseil sera attentif.

3.3 Contexte programmatique pour les projets à fort intérêt du PNCG

3.3.1 Richesse des données à venir

Au cours du mandat à venir, de nombreux projets vont alimenter les thématiques du PNCG, qui continuera à avoir un rôle à jouer dans l'animation de la communauté autour de ces projets. Explorons ci-dessous les cas les plus évidents.

Avec la livraison en 2020 des deux instruments VIS et NISP d'Euclid, c'est une mission majeure de l'ESA, principalement sur les thématiques du PNCG (énergie noire, structure à grande échelle), qui sera lancée et dont l'exploitation scientifique commencera au cours du mandat à venir. Dans le même temps, de nombreux projets, en particulier au sol, vont contribuer aux mêmes thématiques, avec des observations qui ont commencé ou qui commenceront très prochainement (DESI, LSST, CFIS).

Dans le domaine de l'archéologie galactique, le DR3 de Gaïa aura lieu en 2022, et des sondages complémentaires sont en cours (en particulier WEAVE, pour lequel un MOU est en cours avec la mission PLATO). L'asteroseismologie peut apporter des contraintes aussi utiles pour l'archéologie galactique, ce thème sera abondé par LSST, TESS, ARIEL

L'exploitation de MUSE et ALMA/NOEMA en particulier (et parfois conjointement) a démontré leur très grand potentiel dans le domaine de l'évolution des galaxies. Dans ce domaine, cette exploitation se poursuivra, et sera renforcée par d'autres projets dont la préparation et le début de l'exploitation d'instruments VLT de nouvelle génération (e.g. BlueMUSE) et des premiers instruments ELT (HARMONI, MOSAIC).

3.3.2 Complémentarité Sol-Espace

De nombreuses thématiques scientifiques du PNCG se situent à l'interface entre les projets spatiaux et l'observation au sol, en particulier dans le domaine des grands sondages. Dans de nombreux cas, le sol et l'espace offrent une complémentarité entre les échelles spatiales, les fréquences observables et le suivi des objets. En particulier:

- Euclid effectuera un relevé d'une très grande partie du ciel qui apportera une moisson de données de très grande résolution spatiale pour la cosmologie et pour l'évolution des galaxies. Il a rapidement été réalisé que des relevés de la même partie du ciel à des longueurs d'ondes complémentaires joueront un rôle crucial (e.g. pour déterminer les redshifts photométriques). En France, le PNCG a soutenu en ce sens en particulier le sondage CFIS. D'autres synergies sont évidentes, comme avec Rubin-LSST.
- Les résultats de la mission Gaïa continueront à abonder, et sont très largement complémentaires des efforts fait au sol avec WEAVE. Par ailleurs la complémentarité sol-espace se poursuivra avec les projets spatiaux et sol qui apporteront des contraintes supplémentaires sur l'asteroseismologie (voir 3.2.1).
- Dans le domaine du CMB, les futurs observatoires au sol (comme Simons-Observatory ou le South-Pole Observatory) permettront des relevés profonds aux petites échelles angulaires, alors que les futurs projets spatiaux (e.g. LiteBIRD) donneront accès à l'ensemble du ciel sur toute la gamme de longueurs d'onde

millimétriques. L'ensemble de ces mesures sera nécessaire pour détecter et confirmer la présence d'ondes gravitationnelles primordiales.

Le PNCG joue un rôle important dans cette complémentarité. En effet, alors que le CNES finance largement l'animation scientifique autour des projets spatiaux, les projets sol font appel à plusieurs sources de financement distinctes qui ne comportent pas toujours les aspects d'animation scientifique et la vision globale des thématiques scientifiques communes. Le PNCG a un rôle déterminant de ce point de vue-là, et pour favoriser les liens entre ces différents projets.

3.3.3 Importance des grands consortia dans les thématiques du PNCG

Une évolution qui s'est accélérée lors du mandat 2017-2021 dans les thématiques PNCG est l'émergence de grands et très grands consortia autour en particulier de missions spatiales ou de très grands équipements. Pour les missions spatiales passées, on peut mentionner Planck qui a rencontré un grand succès avec des articles "consortium" qui sont devenus des références absolues. Pour Gaïa, le consortium DPAC rassemble les efforts de centaines de chercheurs et ingénieurs. Le consortium Euclid rassemble plus d'un millier de personnes dans une centaine de laboratoires. Les grands projets à venir (Athena, LISA, JWST, SKA) ne seront pas en reste.

Dans ce cadre, le PNCG joue plusieurs rôles:

- Favoriser la participation d'équipes françaises dans des consortias qui peuvent garantir un fort retour scientifique (e.g. JWST),
- Aider à l'organisation de l'animation scientifique de ces (très) grands groupes et favoriser la formation de jeunes chercheurs aux disciplines qu'ils couvrent (par exemple au travers d'écoles),
- Accompagner notre communauté dans la compréhension et la reconnaissance du travail effectué en particulier par les doctorants et post-doctorants au sein de ces grandes équipes, dans lesquelles ils pourraient "tous se ressembler" vu de l'extérieur mais dont ils sont des rouages essentiels.

3.4 Evolution du rôle du PNCG, organisation et fonctionnement proposé pour le prochain mandat

Les thématiques du PNCG se déclinent en 4 axes interconnectés. Une scission du PNCG briserait les synergies et interactions intrinsèques existantes entre ses axes (illustrées sur la figure 3.2). Le conseil du PNCG est attaché à conserver une approche collégiale qui permet de bénéficier de la richesse de ces interactions.

Le PNCG est clairement à l'interface d'autres PN sur certains sujets, comme en témoignent en particulier certaines demandes en réponse à l'AO annuel adressées simultanément à plusieurs PN, dont le PNCG. Les liens avec PCMI, PNHE, PNPS, PNGRAM ont été discutés dans la section 1.4.

La prospective INSU a fait surgir la nécessité d'une structuration interne pour faciliter l'interdisciplinarité et les relations entre instituts sur certaines thématiques, en particulier celles concernant la cosmologie. Le CS du PNCG insiste sur le fait que le PN est déjà un lieu d'interdisciplinarité, et possède par construction une nature inter-institut. Afin que cette interdisciplinarité soit plus visible, le PNCG propose lors de son prochain mandat la mise en place de "Commissions thématiques" plus formelles que la simple déclinaison en "axes" qui existait jusqu'alors, et auxquels elles se substituent. Cela semble au CS la meilleure manière de procéder dans la continuité, en pavant l'ensemble des thématiques scientifiques couvertes par le PNCG (pas seulement celles qui sont aux interfaces, ce qui créerait une asymétrie inélégante), tout en améliorant ses interactions avec les autres PNs, et entre instituts au sein du CNRS.

Les commissions thématiques proposées sont donc:

- CT 1 : Le modèle d'Univers
- CT 2 : Formation et évolution des grandes structures
- CT 3 : Formation et évolution des galaxies
- CT 4 : Galaxies proches, Archéologie et Matière Noire Galactique

Leur périmètre est celui des "axes" définis lors du mandat précédent, avec quelques évolutions mineures reportées sur la figure 3.2. Afin de faciliter la communication avec les autres PN qui s'attachent préférentiellement à l'une ou à l'autre (voir Fig. 3.2), et entre instituts (l'IN2P3 et l'INP ayant des intérêts surtout dans la CT1), des membres du CS seront identifiés comme coordinateurs/coordinatrices d'une CT, et seront des contacts privilégiés le cas échéant. Dans les cas où plusieurs instituts sont particulièrement impliqués sur une thématique, plusieurs coordinateurs/coordinatrices seront nommés, un/e par institut concerné.

Ces coordinateurs pourront s'assurer que l'animation scientifique sur les thématiques de leur CT est bien assurée (ce qui a été fait pendant le mandat précédent de manière collégiale). Ils seront aussi le lien privilégié avec d'autres initiatives d'animation scientifique interdisciplinaires, e.g. comme c'était le cas pour l'Action Dark Energy pour laquelle Philippe Brax a été un contact privilégié au sein du conseil du PNCG² lors du mandat passé, mais cela permettra à ce lien d'être affiché et visible.

La figure 3.2 ci-dessous résume les interactions à l'intérieur du PNCG (entre les commissions thématiques proposées ici), à l'intérieur de l'INSU (avec les autres instituts), ou bien avec d'autres initiatives de la communauté.

² A noter en particulier la mise en place de séminaires virtuels dédiés, initiative que le PNCG pense généraliser à d'autres thématiques, en s'assurant de la complémentarité avec ceux qui existent.

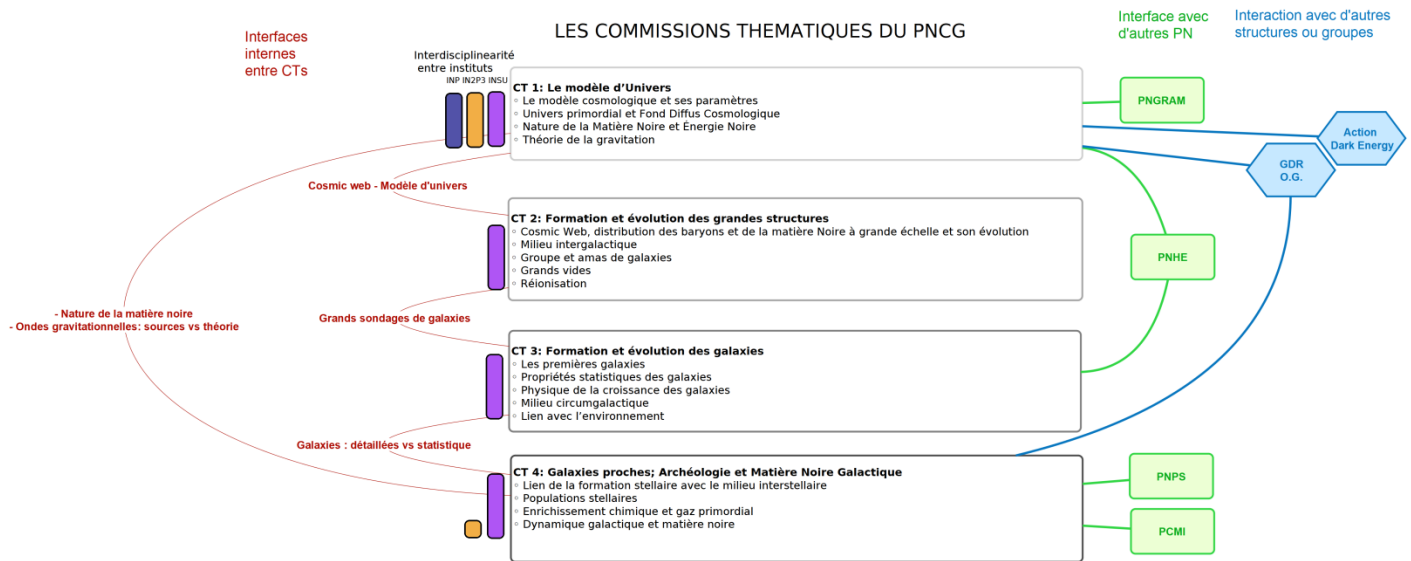


Figure 3.2: Proposition d'organisation du PNCG en 4 commissions thématiques, avec les interfaces entre les commissions thématiques (rouge), interfaces avec d'autres PN-INSU (vert), interfaces avec d'autres initiatives de la communauté (bleu). Un(e) ou plusieurs coordinateurs seront nommés par commission (un ou une par institut particulièrement impliqué).

Annexe A : détail des financements de l'AO PNCG

AO 2018

Porteur	Titre projet	Financement
ANSARI Réza	BAORadio/PAON, Cartographie 3D à 21 cm	3 000
ARNOUITS Stephane	CFHT U band follow-up of the HSC Deep-UltraDeep surveys	6 400
BETOULE Marc	Breaking the photometric calibration barrier for cosmology with type Ia supernovae	6 000
BLAIZOT Jeremy	RASCAS	2 000
BLAIZOT Jeremy	SPHINX	2 000
BLANCHARD Alain	ÉTUDES DE L'ÉNERGIE NOIRE	4 000
BOSELLI Alessandro	VESTIGE : A Virgo Environmental Survey Tracing Ionised Gas Emission	5 000
CHARMOUSIS Christos	L'univers primordial et la physique Fondamentale	5 000
CODIS-DECARA Sandrine	Galaxy clustering in the mildly non-linear regime	3 000
COMBES-BOTTARO Françoise	Molecular tori in Active Galaxy Nuclei	3 000
CUILLANDRE Jean-Charles	Animation scientifique France du relevé communautaire CFIS (Canada-France Imaging Survey)	7 500

DADDI Emanuele	Keck and Magellan observations of galaxy formation in the distant Universe	2 500
DELABROUILLE Jacques	CMB- Probe / CORE, étude d'une mission spatiale CMB de quatrième génération	3 500
DOUSPIS Marian	Vue panchromatique des amas de galaxie	5 000
DUBOIS Yohan	Etude de la diffusion anisotrope des cosmiques et de la chaleur dans le MIS et MIA	1 600
ELBAZ David	Exploitation du sondage cosmologique GOODS-ALMA	4 000
FLORES Hector	Préparation de l'exploitation scientifique de MOONS au VLT	3 500
GUILLARD Pierre	La physique du dihydrogène dans l'espace avec le télescope JWST	4 000
HAYWOOD Misha	International Young Astronomer School on the Scientific Exploitation of the Gaia data	1 000
HILL Vanessa	Relevés spectroscopiques au sol en accompagnement à Gaia: préparation WEAVE et APOGEE2	7 000
KILBINGER Martin	Testing the nature of gravity in cosmology	5 000
LAGACHE Guilaine	Une nouvelle fenêtre d'observation de la fin de l'époque de réionisation: cartographie 3D de la distribution de la raie de [CII]	2 000
LAGACHE Guilaine	Histoire de la formation des étoiles à l'ère des nouveaux grands relevés millimétriques	4 000
LAGARDE Nadège	Reconstructing the Milky Way's History with spectroscopy, asteroseismology and photometry	3 300

LANGER Mathieu	PhyZRe: physique à grand z pour la réionisation	4 000
LAVALLE Julien	Galactic Dark Matter / Matière Sombre Galactique	2 000
LE FEVRE Olivier	Coordination scientifique Euclid-France	4 000
LE FEVRE Olivier	Large Program ALMA-ALPINE: survey CII]-158microns de 122 galaxies à redshifts $4 < z < 6$	5 000
MARTIN Nicolas	Relevé Pristine au CFHT -- Sondage des premières étoiles Galactiques	6 000
MARTINS Fabrice	Vers une compréhension de l'origine des populations multiples dans les amas globulaires	1 500
MAUROGORDATO Sophie	The XXL Survey: Scientific Analysis	5 000
McCRACKEN Henry	UTMOST - UltraVISTA extension mass functions and star-formation	10 000
MONIEZ Marc	Pour une vision synoptique de LSST	2 000
MONTIER Ludovic	Contribution Française à l'instrument LiteBIRD/HFT	6 000
NESVADBA Nicole	Quels processus limitent la formation d'étoiles dans les galaxies ?	2 500
OCVIRK Pierre	Colloque Formation des galaxies pendant l'époque de la reionisation, Strasbourg 2018	1 000
PEIRANI Sebastien	a Mock Local Universe Survey Constructor	3 500

PELLO Roser	Exploitation du relevé EMIR/GOYA : Une vision privilégiée de la formation des galaxies et de la réionisation	5 000
PICHON Christophe	SECULAR: the cosmic fate of self-gravitating systems.	3 000
PIERI Matthew	XIIth edition of the Marseille Cosmology Conference cycle: Intergalactic Interconnections	1 000
PRUGNIEL PHILIPPE	Stellar populations - The X-Shooter spectral library	3 500
REGNAULT Nicolas	Le Subaru Supernova Project (SSP) : un diagramme de Hubble jusqu'à $z \sim 1.5$ avec les télescopes Subaru et HST	6 000
RICHARD Johan	Préparation du sondage cosmologique VISTA/4MOST	3 000
SCHIMD Carlo	CosmoBack - International Workshop on Cosmological Back-reaction and Inhomogeneous Gravity: Theoretical opportunity? Observational evidence?	1 000
SOUBIRAN Caroline	Physical properties of Evolved Open Clusters in the Gaia era	2 000
THEUREAU Gilles	La chronométrie d'un réseau de pulsars millisecondes et le fond d'ondes gravitationnelles	5 000
TRESSE Laurence	Accompagnement de l'ANO4 JWST Extragalactic Deep Legacy Surveys	2 000
VERGANI Susanna Diana	Galaxies hôtes des GRBs: fédération et développement de la communauté française	5 000
VOLONTERI Marta	Massive black holes in evolving galaxies: from quasars to quiescence	1 000

AO 2019

Porteur	Titre Projet	Financement
AMRAM Philippe	Observation à l'aide de SPECTRO-Imageurs GRAnd Champ dans le domaine optique	2000
ANSARI Reza	BAORadio/PAON, Cartographie 3D à 21 cm	2000
ARNOUITS Stéphane	CFHT U band follow-up of the HSC Deep-UltraDeep surveys	6000
Bellazzini Brando	Itzykson meeting on Effective Field Theory in Gravity, Cosmology and Particle	2500
BERTIN Emmanuel	Projet DanceCam	1000
BETHERMIN Matthieu	13ème conference de cosmologie de Marseille -- Lines in the Large Scale	1000
BETOULE Marc	StarDICE: Breaking the photometric calibration barrier for cosmology with type Ia	5000
BLANCHARD Alain	ADE: ÉTUDES DE L'ÉNERGIE NOIRE	5000
BOISSIER Samuel	Organisation de la communauté française dans le domaine des Faibles Brillances	7000
BOSELLI Alessandro	VESTIGE: A Virgo Environmental Survey Tracing Ionised Gas Emission	5000
BRAINE Jonathan	Rotation of molecular clouds throughout the Local Group and just beyond	1500
BURGARELLA Denis	Participation au programme CEERS accepté du JWST	6000
COLOMBI Stephane	Vlasov-Poisson en 6 dimensions: dynamique fine de protohalos	3000
COMBES-BOTTARO Françoise	Angular momentum and AGN fueling	1000
COMBES-BOTTARO Françoise	Atelier "Evolution des galaxies" avec SKA	1000
CUBY Jean-Gabriel	Soutien à la contribution du LAM/OHP au projet DESI	6000
CUILLANDRE Jean-Charles	Animation scientifique France du relevé héritage CFIS (Canada-France Imaging	4000
Daddi Emanuele	The emergence of the first galaxy clusters : the prevalence of cold gas from Keck	2500
DINTRANS Boris	ASTROSIM2019	1000
DOUSPIS Marian	Réionisation par combinaison de sondes: de 21cm à 0.21 cm	3000
DOUSPIS Marian	Vue panchromatique des amas de galaxie	4000
Elbaz David	Exploitation GOODS-ALMA	4000
EPINAT Benoit	New methods to study galaxy kinematics	5500

	evolution	
FLORES Hector	Préparation de l'exploitation scientifique de MOONS au VLTONS	3000
FRAIX-BURNET Didier	Stat4AstrStatistics for Astrophysics: variability and time series analysis2019	1000
GALLI Silvia	CosmoGold IAP 2019: the golden age of Cosmology from Planck to Euclid-	1000
GALLI Silvia	The Paris to Chicago (P2C) connection: joining the South Pole Telescope	3000
GRAIN Julien	Rencontres franciliennes de cosmologie primordiale	1000
GUILLARD Pierre	Galaxy formation and H2 physics with JWST	1000
HILL Vanessa	Relevés spectroscopiques au sol en accompagnement à Gaia: préparation, opérations (SO4-WEAVE) et exploitation scientifique de WEAVE.	6100
HUERTAS Marc	DEEPGAL - Investigating Galaxy Evolution with Deep Learning	1000
Hughes Annie	Physics at High Angular Resolution in Nearby Galaxies (PHANGS): The Cycle of Star Formation and Feedback with ALMA and MUSE/VLT	4100
KILBINGER Martin	Testing the nature of gravity in cosmology	6000
Kordopatis Georges	Suivis spectroscopiques au sol en accompagnement à Gaia	3500
LAGACHE Guilaine	Les grands relevés de galaxies avec NIKA2	5000
LAGARDE Nadege	Reconstructing the History of the Milky Way with asteroseismology, photometry	3000
LANCON Ariane	Spectres intégrés de populations stellaires avec la bibliothèque spectrale XSL	2960
LAVALLE Julien	Galactic Dark Matter	1500
LEFEVRE Olivier	Coordination scientifique Euclid-France	2500
LEFEVRE Olivier	Large Program ALMA-ALPINE: survey CII]-158microns de 122 galaxies à redshifts $4 < z < 6$	5000
LEVRIER Francois	Cosmic turbulence and magnetic fields : Physics of baryonic matter across time	1000
MAMON Gary	Towards resolving the dark matter cusp/core issue with dwarf spheroidal galaxies	4000
MARTINS Fabrice	Vers une compréhension de l'origine des populations multiples dans les amas	1500
MAUROGORDATO Sophie	The XXL survey : scientific analysis	6000
MCCRACKEN Henry	The Cosmic Dawn Survey	4000
MONTIER Ludovic	Contribution Francaise au projet LiteBIRD	5000

PEIRANI Sebastien	MoLUSC2 (a Mock Local Universe Survey Constructor)	4000
PELLO Roser	Exploitation du relevé EMIR/GOYA : Une vision privilégiée de la formation des galaxies et de la réionisation	3500
PERRIN Guy	Étude des coeurs de galaxies super-massifs et de la gravitation en champ fort avec GRAVITY	4200
PICHON Christophe	SECULAR: the cosmic fate of self-gravitating systems.	3000
PITROU Cyril	Nucléosynthèse primordiale de précision	2500
PRATT Gabriel	Witnessing the culmination of structure formation in the Universe - XMM-Heritage	7500
RICHARD Johan	Préparation du sondage cosmologique VISTA/4MOST	3000
RICHARD Johan	BlueMUSE: a blue-optimised large field integral-field spectrograph for the VLT	2000
SCHIMD Carlo	Non-linear Cosmic Flows: modelling the Redshift Space Distortions and peculiar velocities with BOSS, eBOSS, and Cosmicflows-3	3900
SEMELIN Benoit	Preparing for the SKA: modeling the 21-cm from the EoR, and constraining model	1500
SORCE Jenny	Des 'GMO-CLONES' pour atteindre une cosmologie de précision exacte.	1000
SOUBIRAN Caroline	Physical properties of Evolved Open Clusters in the Gaia era	1000
THEUREAU Gilles	La chronométrie d'un réseau de pulsar millisecondes et le fond d'ondes gravitationnelles	1000
TRESSE Laurence	Accompagnement ANO4 JWST Extragalactic Deep Legacy	2000

AO 2020

Porteur	Titre Projet	Financement
AMRAM Philippe	The Star Formation, Ionized Gas, and Nebular Abundances Legacy Survey with the imaging Fourier transform SITELLE	4000
ANSARI Réza	BAORadio/PAON, Cartographie 3D à 21 cm /PAON	1500
ARNOUITS Stephane	CLAUDS: CFHT U band follow-up of the HSC Deep-UltraDeep surveys	6000
AUBERT Dominique	Groupe d'Instrumentation Numérique pour l'Exascale en Astrophysique (GINEA)	3000
BETOULE Marc	Breaking the photometric calibration barrier for cosmology with type Ia	7500
BLAIZOT JEREMY	SPHINX	5000
BLANCHARD Alain	ÉTUDES DE L'ÉNERGIE NOIRE	5000
BOSELLI Alessandro	VESTIGE : A Virgo Environmental Survey Tracing Ionised Gas Emission	4300
BURGARELLA Denis	GECO 2020: The Rise of Metals and Dust in Galaxies through Cosmic Time	2000
BURGARELLA Denis	Participation au programme CEERS accepté du JWST	4000
COMMERCON Benoit	The Physics of Star Formation: From Stellar Cores to Galactic Scales	4000
CORASANITI Pier Stefano	Clusters Together (CLUSTOG) - Conférences, Ateliers, Actions	3000
CUBY Jean Gabriel	Soutien au relevé DESI	7000
DESERT Francois-Xavier	Etude de faisabilité de Détecteurs KIDs à Atacama ou au Pole Sud pour les mesures de polarisation du CMB.	2500
DOUSPIS Marian	Vue panchromatique des amas de galaxie	4000
DOUSPIS Marian	Réionisation par combinaison de sondes: de 21cm à 0.21 cm	4000
DUC Pierre-Alain	Organisation meeting: "Angular momentum build-up of stellar systems"	4000
Elbaz David	Exploitation du sondage cosmologique GOODS-ALMA	5000
EPINAT Benoit	New methods to study galaxy kinematics evolution	5000
FAMAIEY Benoit	Atelier News From The Dark	2500

FENSCH Jérémy	La structure du milieu interstellaire au pic de l'histoire de formation stellaire	5000
FLORES Hector	Préparation de l'exploitation scientifique de MOONS au VLT	6000
Fouvry Jean-Baptiste	Secular Evolution of Galaxies	3000
GRAIN Julien	Rencontres francilienne de cosmologie primordiale	1500
GUILLET Vincent	Organisation de la conférence CAFFE LATTES 11-15 mai 2020 à Lattes	3000
HILL Vanessa	Relevés spectroscopiques au sol en accompagnement à Gaia: préparation, opérations (SO4---WEAVE) et exploitation scientifique de WEAVE.	8000
Hughes Annie	COPILOT: C+ Observations of the ISM with PILOT	1000
Hughes Annie	Physics at High Angular Resolution in Nearby Galaxies (PHANGS): The Cycle of Star Formation and Feedback with ALMA, MUSE/VLT and HST	4000
Kordopatis Georges	Suivis spectroscopiques 4MOST et APOGEE/SDSSV	3000
LAGACHE Guilaine	Histoire de la formation des étoiles à l'ère des grands relevés cosmologiques	7000
Laigle Clotilde	The Cosmic Web in the low-surface brightness regime	5000
LAVALLE Julien	Galactic Dark Matter - last round	1500
MADDEN Suzanne	Interpreting the Millimetre Emission of Galaxies with IRAM and NIKA2 (IMEGIN)	3000
MARIN Frédéric	Conférence AGN & Polarimétrie	2000
Marinoni Christian	Progress on Old and New Themes in cosmology (PONT) 2020	5000
MAUROGORDATO Sophie	The XXL Survey: Scientific Analysis (Projet de Recherches)	10600
Melchior Anne-Laure	Central part of galaxies : feedback and galaxy evolution.	2500
PIERI Matthew	WEAVE-QSO: Le relevé spectroscopiques des quasars	6000
RICHARD Johan	BlueMUSE: a blue-optimised large field integral-field spectrograph for the VLT	3000
RICHARD Johan	Préparation du sondage cosmologique VISTA/4MOST	3000
ROBIN Annie	La dynamique galactique avec Gaia : approche synthétique et auto-cohérence	4700
ROSDAHL Karl Joakim	COsmic Rays Simulations Collaboration Assembly	1300
SCHIMD Carlo	(NLCF-2) Non-linear Cosmic Flows: modelling peculiar velocities with BOSS and Cosmicflows-3.	4100
SEMELIN Benoit	L'Aube Cosmique avec NenuFAR	6000

SOUBIRAN Caroline	Physical properties of Evolved Open Clusters in the Gaia era	2500
THEUREAU Gilles	La chronométrie d'un réseau de pulsars millisecondes et le fond d'ondes gravitationnelles	4000
TRESSE Laurence	ANO4 JWST Extragalactic Deep Legacy Surveys	6000
TRESSE Laurence	Accompagnement de MSE en France	6000
TRIAY Roland	Gravitation	3000

AO 2021

Porteur	Titre Projet	Financement
ARNOUITS Stephane	The CLAUDS/HSC imaging survey and its spectroscopic follow-up with PFS	6 000 €
AUBERT Dominique	Groupe d'Instrumentation Numérique pour l'Exascale en Astrophysique 2021 Titre court : GINEA 2021	3 000 €
BETHERMIN Matthieu	Atelier sur les galaxies poussiéreuses à grand z	4 500 €
BLAIZOT JEREMY	SPHINX	5 000 €
BLANCHARD Alain	ÉTUDES DE L'ÉNERGIE NOIRE	5 000 €
BOILY Christian	Evolution des courants d'étoiles dans le disque de la Voie Lactée	1 000 €
BOSELLI Alessandro	VESTIGE : A Virgo Environmental Survey Tracing Ionised Gas Emission	7 300 €
BURGARELLA Denis	Participation au programme CEERS accepté du JWST	4 000 €
CAMPAGNE Jean-Eric	BAORadio/PAON, Cartographie 3D à 21cm	8 500 €
COMBES-BOTTARO Françoise	AGN Feeding and Feedback	3 000 €
DOUSPIS Marian	Réionisation par combinaison de sondes: de 21cm à 0.21 cm	4 000 €
Elbaz David	Exploitation des sondages cosmologiques GOODS-ALMA & ALPINE	9 300 €
FENSCH Jérémy	La structure du milieu interstellaire au pic de l'histoire de formation stellaire Titre court : Structure des galaxies à z-2	6 000 €
FRAIX-BURNET Didier	Physique des classifications non supervisées de spectres de galaxies	2 000 €

FRAPPAT Luc	A tribute to Pierre Salati's service – Toward a second one! (Pierre Salati's fest)	2 000 €
GRAIN Julien	Rencontres franciliennes de cosmologie primordiale	1 500 €
HILL Vanessa	Relevés spectroscopiques au sol en accompagnement à Gaia: préparation, opérations (SO4---WEAVE) et exploitation scientifique de WEAVE.	4 000 €
Hughes Annie	Physics at High Angular Resolution in Nearby Galaxies (PHANGS): The Cycle of Star Formation and Feedback with ALMA, MUSE/VLT and HST	5 000 €
LAGACHE Guilaine	Histoire de la formation des étoiles à l'ère des grands relevés cosmologiques	4 500 €
LAGARDE Nadege	Le diagramme HR dans tous ses états	1 000 €
Laigle Clotilde	the cosmic web in the low surface-brightness regime	6 000 €
LAVAUX Guilhem	37ème colloque de l'IAP - L'apprentissage automatique et l'astrophysique	3 000 €
LEBRUN Vincent	ConfCosmoMarseille2021	2 000 €
MCCRACKEN Henry	CALET- The Cosmic dawn survey	8 000 €
MONIEZ Marc	Préparer l'exploitation de LSST	5 000 €
MONTIER Ludovic	Coordination Stratégie Scientifique LiteBIRD-France	12 000 €
PEIRANI Sebastien	Galactica, la Voie Lactée dans son environnement cosmologique	5 200 €
PELLO Roser	Accompagnement de MSE en France	6 000 €
PELLO Roser	Exploitation du relevé EMIR/GOYA : Une vision privilégiée de la formation des galaxies et de la réionisation	3 000 €
PETROV Romain	Observation, modélisation et exploitation des AGNs avec le VLTI	6 000 €
PIERI Matthew	EAVE-QSO: Le relevé spectroscopiques des quasars	6 900 €
PUY Denis	Primordial Hydrogen Observations with Nanosatellites Explorers	3 000 €
RACINE Benjamin	HSC transients	10 000 €
RICHARD Johan	Préparation du sondage cosmologique VISTA/4MOST	3 000 €
RICHARD Johan	BlueMUSE: a blue-optimised large field integral-field spectrograph for the VLT	3 000 €

ROSDAHL KarlJoakim	Cosmic Ray Advection Made Perfect	2 200 €
SALATI Pierre	Atelier News From The Dark	2 500 €
SCHIMD Carlo	Non-linear Cosmic Flows: modelling peculiar velocities with BOSS and Cosmicflows	4 000 €
SEMELIN Benoit	Modeling the Cosmic Dawn for the NenuFar Key program.	1 650 €
THEULE Patrice	Chimie de l'Evolution des GALaxies Lointaines	1 000 €
THEUREAU Gilles	La chronométrie d'un réseau de pulsars millisecondes et le fond d'ondes gravitationnelles	5 000 €
TRISTRAM Matthieu	Etudes du fond diffus (CMB)	10 000 €