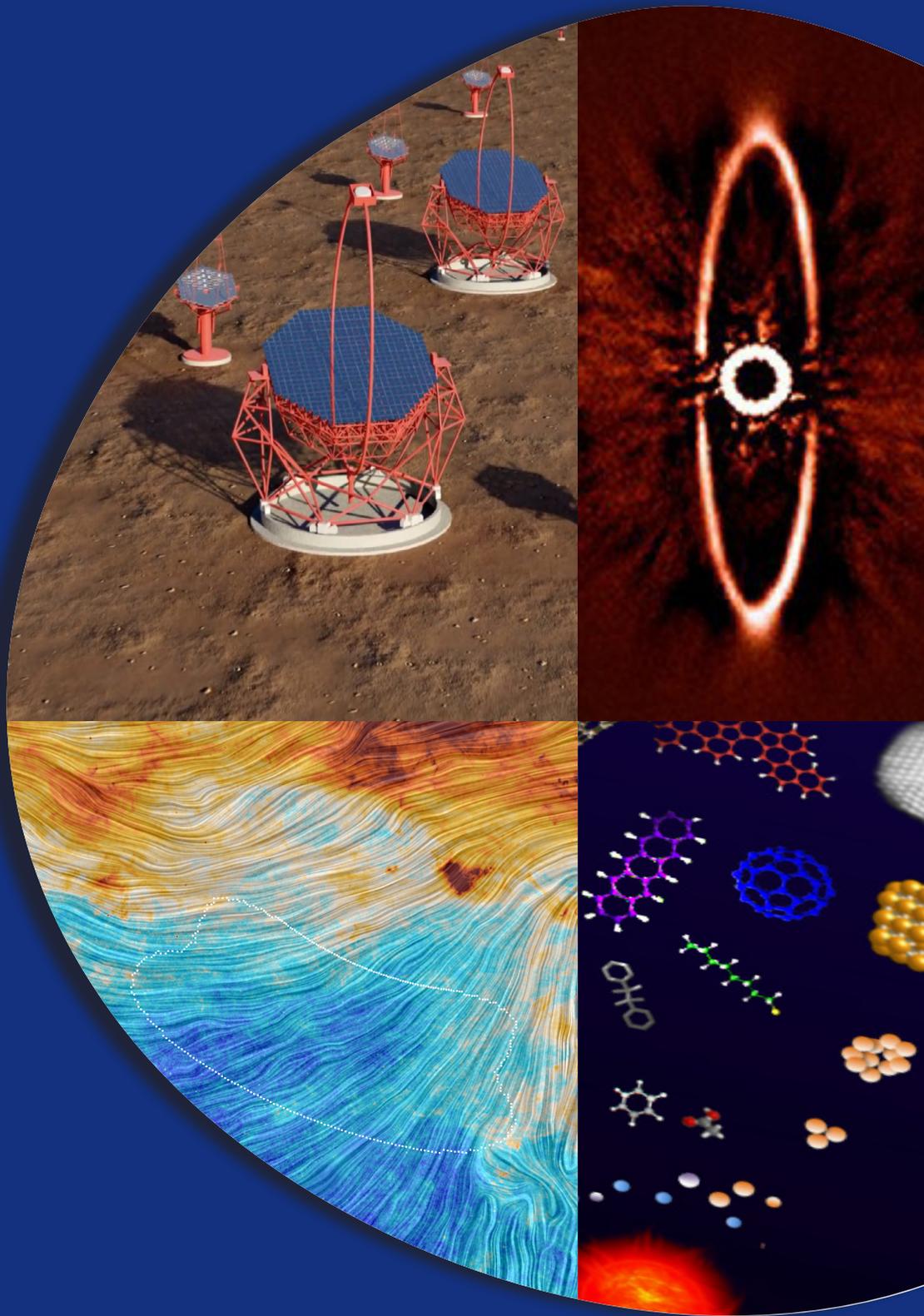


Prospective

Institut National des Sciences de l'Univers



**Astronomie et Astrophysique
2015-2020**
Synthèse et Résumés exécutifs

Prospective 2015-2020

Synthèse et Résumés exécutifs

Commission Spécialisée Astronomie/Astrophysique
Programmes Nationaux et Actions spécifiques
de l'Institut national des sciences de l'Univers

Section 17 du CNRS

Synthèse des ateliers et forums préparatoires
et du colloque de la presqu'île de Giens
13 - 16 octobre 2014

Sous la coordination de Bruno Bézard, président de la CS-AA
et Denis Mourard, directeur adjoint scientifique du domaine AA - INSU

Document complet : www.insu.cnrs.fr/prospective-AA-2015
avec les compte-rendus d'ateliers complets

Ont participé à la rédaction de la synthèse des ateliers et des documents des groupes de travail

Nabila Aghanim, Marie-Christine Angonin, Frédéric Arenou, Jean-Luc Atteia, Dominique Aubert, Caroline Barban, Stéphane Basa, Bruno Bézard, Jérémy Blaizot, Michel Blay, Catherine Boisson, Loïc Bommersbach, Thierry Botti, François Bouchy, Nathalie Brouillet, Éric Buchlin, Denis Burgarella, Sylviane Chaintreuil, Corinne Charbonnel, Stéphane Charlot, Thierry Corbard, François Costard, Jean-Baptiste Daban, Emmanuel Dartois, Franck Delahaye, Michel Dennefeld, François De Oliveira, Guillaume Dubus, Cecilia Ceccarelli, François-Xavier Désert, Thierry Dudok de Wit, Daniel Egret, Cécile Engrand, Chiara Ferrari, Marc Ferrari, Jonathan Ferreira, Raphaël Garcia, Maryvonne Gerin, Yannick Giraud-Héraud, Bruno Guiderdoni, Christian Guillaume, Jean-Claude Guillemin, Stéphane Guilloteau, Jean-Marie Hameury, Fabrice Herpin, Pascale Jablonka, Pascal Jagourel, Christine Joblin, Karl-Ludwig Klein, Pierre Kern, Pierre Kervella, Sylvestre Lacour, Guilaine Lagache, Pierre-Olivier Lagage, Anne-Marie Lagrange, Ariane Lançon, Julien Lavalley, Agnès Lèbre, Yann Lecoq, Emmanuel Lellouch, David Le Mignant, Martin Lemoine, Christophe Le Poncin Lafitte, François Leblanc, Olivier Le Fèvre, François Lignières, Arturo Lopez-Ariste, Alain Maestrini, Catherine Nary Man, Michel Marcelin, Christian Marinoni, Frantz Martinache, Sylvestre Maurice, Anne-Laure Melchior, Gilles Métris, Nadège Meunier, Claire Michaut, Franck Montmessin, Alessandro Morbidelli, Raphaël Moreno, Denis Mourard, Marc Ollivier, Olivier Parisel, Thierry Passot, Karine Perraut, Michel Piat, Thomas Pino, Étienne Pointecouteau, Mathieu Puech, Nicolas Regnault, Matthieu Renaud, Anne Renault, Céline Reylé, Serge Reynaud, Johan Richard, Jean-Pierre Rivet, Françoise Roques, Daniel Rouan, Fouad Sahraoui, Caroline Soubiran, Geneviève Soucaïl, Philippe Stee, Chantal Stehlé, Michel Tagger, Vincent Tatischeff, Éric Thiébaud, William Thuillot, Stephen Torchinsky, Gabriel Tobie, Philip Tuckey, Laurent Verstraete, Laurent Vigroux, Bernd Vollmer, Valentine Wakelam, Peter Wolf, Hervé Wozniak.

Secrétariat de rédaction

Anthony Teston

Sommaire

Introduction.....	p. 6
-------------------	------

SYNTHÈSE DES DÉBATS

Contexte

Un exercice vraiment contraint.....	p. 9
Que sont nos priorités devenues ?	p. 10
Les atouts de la communauté	p. 11

Thématiques et interdisciplinarité

Thématiques	p. 12
Programmes nationaux	
Actions spécifiques	
Interdisciplinarité	p. 13

Les moyens

Les moyens lourds existants	p. 14
Sur le territoire national	
En sociétés internationales	
Autres moyens et tickets d'entrée	
Les moyens lourds du futur.....	p. 15
Participation à des infrastructures multilatérales	p. 15
Accompagnement sol des moyens spatiaux.....	p. 15
Moyens de calcul	p. 15
Astrophysique de laboratoire	p. 16
R&D amont	p. 16

Organisation

Organisation de la communauté.....	p. 17
Services d'observation.....	p. 17
Pôles thématiques et plateformes	p. 18
Pôles thématiques	
Plateformes	
Métiers et RH	
Enseignement.....	p. 18
Relations industrielles.....	p. 19
Rôle de l'INSU	p. 19

Conclusion : plusieurs défis	p. 20
------------------------------------	-------

Le défi budgétaire	
Le défi du mille-feuille	
Le défi du « big data »	
Le défi de l'astronomie sans télescopes	
Le défi des ressources humaines	
Le défi de la parité homme/femme	
Le défi de la formation des jeunes chercheurs	

RÉSUMÉS EXÉCUTIFS

Thématiques et interdisciplinarité

Évolution des thématiques - Michel Marcelin	p. 25
Interfaces interdisciplinaires - Cécile Engrand	p. 26

Moyens

Évolution des moyens actuels et analyse des nouveaux moyens à 5-10 ans.....	p. 28
Moyens d'observation lourds - Bruno Bézard	
Grands moyens en astrophysique de laboratoire - Emmanuel Dartois	
Moyens de calculs nationaux et européens - Jérémy Blaizot	
Centres de données nationaux - Bernd Vollmer	
Lien avec la prospective spatiale 2015-2020 – Cécilia Ceccarelli	p. 30
Moyens du futur et R&D amont – Karine Perraut.....	p. 31

Organisation

Plateformes régionales et stratégies territoriales des observatoires – Daniel Egret.....	p. 33
Organisation de la discipline – Marc Ferrari.....	p. 34
Enseignement et diffusion des connaissances – Geneviève Soucail.....	p. 35

Introduction

Cela fait près de trente ans maintenant que la communauté Astronomie/Astrophysique de l'INSU se réunit, à intervalles d'environ cinq ans, afin de réfléchir sur l'évolution de l'Astrophysique, sur la feuille de route des moyens et sur l'organisation générale de la discipline. Cet exercice est préparé en amont par des groupes de travail issus de la Commission Spécialisée Astronomie/Astrophysique, de la Section 17 du CNRS et de la communauté en général. Ces groupes ont mobilisé plus d'une centaine de personnes entre l'été 2013 et l'été 2014 ; ils ont aussi sollicité les directions des laboratoires et des Observatoires des Sciences de l'Univers ainsi que la communauté au sens large pour des questionnaires sur divers aspects de notre discipline. Le colloque de restitution qui s'est tenu du 13 au 16 octobre 2014 à la presqu'île de Giens a réuni près de 150 personnes (CSAA, Section 17, CNAP/AA, direction et direction technique des laboratoires et des OSUs, représentants des programmes nationaux et actions spécifiques, responsables des groupes de travail, nos invités du CNES, de l'IN2P3, du CEA/IRFU, de l'INSU et du MENER, des représentants des grandes infrastructures de recherche). Ce colloque a laissé une large place aux débats initiés par les présentations de synthèse des groupes de travail, ce qui a permis d'enrichir encore l'analyse.

Nous avons souhaité orienter cette prospective 2015-2020 autour de trois grands axes qui sont : i. l'évolution de notre discipline, ses interfaces interdisciplinaires, son enseignement et la diffusion des connaissances, ii. l'évolution des moyens (moyens d'observation, centres de données, centres de calcul, astrophysique de laboratoire) complétée par une analyse de la synergie sol-espace et une vision long terme au-delà de 10 ans, et enfin iii. l'organisation de notre discipline, et notamment l'articulation entre la stratégie territoriale des laboratoires et des observatoires et la stratégie nationale, européenne et internationale. Notre réflexion a été menée en parallèle de l'exercice de prospective du CNES (18-20 mars 2014 à La Rochelle) de manière à lier ces deux exercices par l'étude de l'accompagnement des missions spatiales (observations sol complémentaires, centres de données, centres de calcul, astrophysique de laboratoire, R&D). Nous avons tenu aussi, et ce pour la première fois dans nos exercices de prospective, à inviter nos partenaires de l'IN2P3 et du CEA/IRFU. Cela s'est fait en amont par des sollicitations dans les groupes de travail et dans les enquêtes ainsi que par la participation au colloque de restitution, montrant ainsi des approches complémentaires enrichissantes pour l'astrophysique ainsi que de nombreuses convergences sur les grandes priorités de la discipline.

L'ancrage européen de l'astronomie est indéniable et cette prospective s'appuie et enrichit le travail mené dans le cadre de l'ERA-NET européen Astronet, notamment avec ses documents de Science Vision et d'Infrastructure Roadmap qui nous ont été présentés lors de la première journée du colloque de restitution. Comme nous le verrons dans les résumés des groupes de travail présentés ci-après et la synthèse coordonnée par Daniel Rouan et rédigée à partir des conclusions des ateliers tenus à la presqu'île de Giens, de nombreux défis nous attendent. Il est donc d'autant plus important de s'appuyer sur ce travail collectif dans nos choix stratégiques, qu'ils soient au niveau local ou au niveau national. C'est cette feuille de route que nous présentons dans les pages qui suivent.

Bruno Bézard et Denis Mourard



Synthèse des débats

Daniel Rouan

Et les animateurs des ateliers : Nabila Aghanim, Jean-Luc Atteia, Guilaine Lagache,
Pierre-Olivier Lagage, Agnès Lèbre, Marc Ollivier, Céline Reylé, Hervé Wozniak.

Contexte

■ Un exercice vraiment contraint

Il ne fait guère de doutes que l'exercice de prospective mené en 2014 aura été nettement plus contraint que les précédents et ce sur plusieurs plans : celui des structures, du financement, des ressources humaines, des politiques locales, des décisions européennes de sélections de projets, mais aussi en raison des temps de maturation qui croissent avec l'ampleur des projets et leur internationalisation.

L'évolution des structures de recherche ou plutôt du cadre économique et institutionnel dans lequel elles évoluent, a été particulièrement marquante durant les cinq années écoulées depuis le précédent exercice de prospective de notre communauté. Ce qu'il est convenu d'appeler le mille-feuille administratif est devenu une réalité, souvent lourde, à laquelle tous les niveaux de la recherche se trouvent confrontés. Idex, Equipex, Labex, PRES, COMUE, pôles de compétitivité, ANR, ERC, H2020, régions, GIS, OSUs, instituts du CNRS, réseaux, programmes nationaux, actions spécifiques, alliances, agences spatiales (CNES, ESA), agence européenne (ESO), autant de guichets auxquels le chercheur ou les équipes doivent frapper pour tenter de réunir les moyens de mener leur recherche, avec un coût en temps très significatif, d'autant que beaucoup de ces guichets exigent des co-financements et/ou des collaborations extérieures.

Dans cette évolution, c'est un fait, les pouvoirs locaux se sont accrus avec : le passage à la LRU des universités qui cherchent de façon accrue à mener des politiques scientifiques plus resserrées sur leur périmètre, l'achèvement du pavage du territoire par les OSUs, les pôles de compétitivité et les programmes de soutien à la recherche mis en place par certaines régions. Dans cette ligne, on peut également mentionner les sélections de projet par l'ANR ou l'ERC qui, parce qu'ils évaluent des projets d'équipes, peuvent parfois prendre des décisions à angle droit d'une politique nationale définie par la prospective, la CSAA ou les programmes nationaux, voire les politiques d'établissement.

Sur le plan du financement et des ressources humaines, la période a été marquée par la forte diminution du soutien de base des laboratoires par le CNRS, qui s'est accompagnée d'une réduction forte du nombre de postes CNRS (10%) – en particulier ITA – avec, à la clef, l'inévitable et spectaculaire augmentation des CDD et des postdocs à la fin de la décennie précédente, un phénomène qui commence juste à atteindre un palier. On note cependant que la stabilité du corps du CNAP et des enseignants chercheurs dans les universités a permis d'atténuer ce choc pour ce qui est des chercheurs et de limiter la baisse globale de leur nombre à 5% entre 2009 et 2014.

Concernant la contrainte programmatique, il est remarquable que durant cette période, beaucoup de décisions lourdes du point de vue programmatique, ont été prises à un niveau européen sur des choix de démarrage de projets au sol ou dans l'espace, que ce soit dans le cadre complémentaire des plans Astronet/ESFRI, ESA/Cosmic Vision ou de l'ESO.

Même si ce ne sont pas à proprement parler des contraintes mais plus des éléments influant sur la structuration de la communauté, on peut noter du point de vue des thématiques et des méthodes deux évolutions notables. D'une part, le pavage thématique par les programmes nationaux, qui s'est complété par l'AS GRAM, est désormais dense, sans lacune notable et, d'autre part, l'emprise de ce qu'il devient coutumier d'appeler le « big data » qui, associé au calcul intensif et au traitement des grands volumes de données observationnelles, s'est accrue considérablement : on assiste à une explosion de la masse de données produites par les grandes simulations numériques et les grands relevés actuels ou programmés dans un futur très proche (e.g. Gaia) ; sans négliger l'extension à pratiquement toutes les thématiques de l'Observatoire Virtuel et sa consolidation et les besoins croissants de suivi ou de préparation au sol de projets spatiaux par des programmes de grande ampleur (Gaia, Euclid, PLATO).

■ Que sont nos priorités devenues ?

Depuis les recommandations de 2008-2009, en particulier celles d'Astronet et de La Londe Les Maures, le paysage des grands projets en cours s'est grandement précisé avec pour l'essentiel des succès, des confirmations ou des décisions définitives de démarrage, toutes dans la continuité des perspectives, qu'elles soient nationales (La Londe les Maures, CNES) ou européennes (Astronet, Cosmic Vision). L'évolution majeure qu'on doit cependant relever est l'apparition de coupes budgétaires partout en Europe, surtout sur le fonctionnement et sur les ressources humaines, conséquence de la crise.

Dans l'espace : les quatre grandes missions lancées par l'ESA, Herschel, Planck, Gaia, Rosetta doivent toutes être considérées comme des succès, soit complets quand elles sont achevées (Herschel et Planck) ou accomplis en grande partie (Rosetta), soit des succès en puissance, s'agissant de Gaia dont le tir a été parfaitement réussi et les observations démarrées. Les deux premiers projets ont vu les équipes françaises particulièrement en pointe et conduisant plus que leur part des programmes sélectionnés. Rosetta a fait vibrer une bonne partie de l'humanité, bien au-delà de la seule communauté astronomique, en particulier lorsque la sonde Philae s'est posée sur la comète Churyumov-Gerasimenko. L'instrument ChemCam à bord du rover Curiosity de la mission Mars Science Laboratory est un autre exemple de succès scientifique et médiatique.

Le programme long terme Cosmic Vision de l'agence spatiale européenne a vu la sélection d'une bonne partie des missions qui le composent : Solar Orbiter (M1), JUICE (L1), Euclid (M2), PLATO (M3), CHEOPS (S1). Dans toutes ces missions la communauté française est très impliquée via les instruments qu'elle développe et/ou par le PI-ship qu'elle assure (Euclid). Concernant les deux « large missions » L2 et L3 les thématiques ont également été sélectionnées : le domaine des hautes énergies (X) pour la première et « gravitational Universe » pour la seconde. La communauté française sera très présente dans les deux missions. Il ne reste plus dans le paysage que la mission moyenne M4 qu'il reste à sélectionner.

Projets au sol : ALMA est désormais complet à 60 % et surtout est entré dans une phase de production scientifique qui a confirmé les performances remarquables de cet observatoire millimétrique international d'une ampleur inégalée et objet d'une très forte pression des demandes d'observation.

Concernant le VLT, son instrumentation a été complétée dans la période par la mise sur le ciel de plusieurs instruments qui tous présentent des performances nominales : KMOS, X-shooter, MUSE, SPHERE, avec dans les deux derniers cas un leadership (PI) des équipes françaises et pour X-Shooter une participation très significative. Le VLTI n'est pas en reste et les deux instruments nouveaux GRAVITY et MATISSE sont en phase d'achèvement pour des premières lumières en 2015 et 2017 respectivement

Les deux télescopes dédiés aux grands relevés que sont VST (infrarouge) et VISTA (visible) ont été mis en service respectivement en 2009 et 2011.

Les priorités européennes définies par Astronet en 2008 n'ont vu, lors de leur remise à jour en 2014, aucune évolution notable hormis l'inclusion du projet CTA dans la feuille de route et une progressive perte de priorité pour KM3NeT. Pour le reste l'E-ELT, SKA dont l'organisation a été établie en 2011, l'instrumentation en spectroscopie Multi-objets des grands télescopes de 4/8 m (projets MOONS sur le VLT, 4MOST sur VISTA ou WEAVE sur le WHT) et l'European Solar Telescope se sont vus confirmés comme des priorités. Cette stabilité dans des choix qui s'appuient sur les deux grandes agences que sont l'ESA et l'ESO constitue l'une des grandes forces de l'Europe.

Au niveau national, on constate que les recommandations de la prospective de La Londe les Maures ont été largement suivies sans déviation ni loupé : les services d'observation ont été restructurés, le GDR PCHE a été promu en programme national (PNHE) et l'Action Spécifique GRAM créée. De même, la liste des priorités est toujours actuelle, ce qui témoigne aussi de constantes de temps qui augmentent, probablement en proportion de l'ampleur des projets : l'E-ELT, CTA et SKA étaient prioritaires comme infrastructures lourdes, NOEMA et LSST comme infrastructures moyennes, SPIRou et MOS Gaia comme moyens instrumentaux.

■ Les atouts de la communauté

Sans tomber dans l'autosatisfaction, on peut mentionner un certain nombre de points forts de la communauté A&A :

- Un pavage quasi-complet de la discipline par des programmes nationaux ou des actions spécifiques.
- Une forte tradition de collaboration inter-équipes.
- Une interdisciplinarité solide, liée à l'approche plurielle de l'astrophysique qui a besoin de s'appuyer sur des champs divers : chimie, physique, exobiologie, mathématiques, informatique.
- Le bénéfice de l'accès à des méso-équipements extérieurs à la communauté (e.g. laser de puissance, synchrotron).
- L'habitude et souvent la nécessité d'être à cheval sur plusieurs techniques (liées par exemple aux longueurs d'onde) et plusieurs thèmes : en moyenne un chercheur relève de plus de trois Programmes Nationaux ou Actions Spécifiques, avec en corollaire des communautés distinctes qui ont des échanges forts (e.g. exoplanètes et physique stellaire, milieu interstellaire et cosmologie, Soleil et Hautes Energies).
- Des services d'observation rendus plus lisibles et structurés (e.g. pôles thématiques) et des réseaux inter-OSU qui fonctionnent bien.
- L'existence du CNAP comme corps assurant un rôle majeur dans notre communauté.
- Une position internationale solide, qui par exemple place la communauté A&A au deuxième rang après celle des mathématiques en pourcentage mondial de publications et au premier rang français pour le nombre de citations.
- Des moyens de calcul désormais à niveau après les efforts récents importants.
- Des créneaux où une position internationale de tout premier plan est tenue : on citera par exemple les projets Planck, Gaia et NOEMA, le domaine des exoplanètes, la Haute Résolution Angulaire, l'instrumentation, l'astérosismologie, la planétologie, la métrologie, etc.
- De correspondre à un champ du savoir très médiatique comme l'ont démontré par exemple l'impact grand public de Planck, de Rosetta, des découvertes d'exoplanètes ainsi qu'une présence régulière au premier rang dans les synthèses de presse quotidiennes du CNRS. Cette reconnaissance permet en particulier d'attirer des étudiants de très bon niveau, et en nombre, vers la discipline.

Thématiques et interdisciplinarité

■ Thématiques

• Programmes nationaux

La discipline Astronomie et Astrophysique est, depuis longtemps, pavée et structurée par des programmes nationaux (PN) regroupant la communauté autour de grandes thématiques. La prospective 2014 a réaffirmé l'adéquation de cette organisation avec les modes de fonctionnement de la discipline ainsi que sa pertinence vis à vis des défis posés par les prospectives européennes sol et spatiale. La prospective 2014 n'a pas exprimé le besoin de redéfinir les contours des PN ni d'en créer de nouveaux.

Les programmes nationaux assurent l'animation scientifique de la communauté Astronomie et Astrophysique et peuvent faire émerger des projets et des besoins, notamment dans le domaine des services d'observation. Les PN gèrent l'organisation de la recherche dans leurs thématiques et autour de celles-ci en assurant une certaine interdisciplinarité avec les autres disciplines de l'INSU, e.g. Terre Solide pour le PNP, ainsi qu'avec les autres Instituts du CNRS, e.g. Chimie pour le PCMI ou Physique et IN2P3 pour le PNCG.

• Actions spécifiques

Le pavage de la discipline Astronomie et Astrophysique est complété par les actions spécifiques (AS). Elles permettent de faire émerger des thématiques nouvelles (e.g. AS GRAM), d'assurer le dynamisme scientifique en faisant évoluer les frontières, ou d'amener à maturité un domaine.

Les actions scientifiques peuvent être transversales notamment sur les méthodologies, comme le

sont les AS Observatoire Virtuel (AS OV) ou Haute résolution angulaire (AS HRA). Elles peuvent être ciblées sur des projets notamment avec pour but de fédérer la communauté et de la préparer au mieux à l'exploitation de projets majeurs, comme par exemple AS Gaia.

Dans tous les cas, les actions spécifiques doivent être mises en place avec un mandat clair (révisable) et pour une durée limitée notamment si elles sont ciblées sur des projets. Dans la majorité des cas, les AS doivent rejoindre les PN une fois les communautés structurées et le mandat rempli.

La communauté a profité de la prospective Astronomie et Astrophysique pour passer en revue ses AS. Elle a jugé que les AS GRAM, HRA et OV remplissaient parfaitement leur mandat, avec pour la dernière une évolution prévisible vers un forum pour le réseau des centres de données de l'INSU-AA. Ceci nécessitera, à terme, une redéfinition du mandat et une possible modification du nom. L'AS SKA-LOFAR devra poursuivre l'effort de structuration de la communauté en lien avec les PN et continuer d'élargir son périmètre thématique en particulier dans le contexte de la priorité exprimée sur SKA. Les actions spécifiques AS ALMA et AS Gaia nécessiteront une évaluation, dans les deux ans, de leurs résultats pour en redéfinir les mandats notamment dans le cas de Gaia pour préparer la communauté à l'exploitation optimale des données.

Par ailleurs, aucune recommandation sur la mise en place d'une nouvelle AS n'a été faite, en particulier pour le domaine émergent des exoplanètes, pour lequel l'augmentation de la concertation et des discussions entre le PNP et le PNPS, e.g. sur la gestion des réponses aux AO, devrait suffire.

■ Interdisciplinarité

Les besoins en interdisciplinarité en Astronomie et Astrophysique (A&A) sont assez clairement identifiés. Il s'agit essentiellement :

- de structurer une communauté aux approches multiples et parfois interdisciplinaires, autour d'une thématique commune : exobiologie, physico-chimie du milieu interstellaire, systèmes de référence...
- de pérenniser des activités variées thématiquement le plus souvent sous forme de projets à plus ou moins long terme. Pour cette démarche, une logique « bottom up » de programmes avec appels d'offres compétitifs et financements relativement récurrents a fait ses preuves et semble la mieux adaptée. Si l'INSU fonctionne avec des programmes, ce n'est pas le cas de tous les autres instituts partenaires et de ce fait, les programmes interdisciplinaires incluent dans leur grande majorité une ou des composantes INSU.

De plus la démarche en cours au CNRS via la Mission pour l'Interdisciplinarité (MI) est orthogonale à cette approche par programmes. Il s'agit plutôt d'une logique « top down » avec des activités identifiées ab initio et des « grands défis » ainsi que quelques actions d'émergence avec relai par des financements type ANR ou ERC. Il faudrait permettre à la MI d'aller au-delà de la simple émergence, et remettre en place des actions de type « programmes interdisciplinaires » récurrents, plus adaptés aux besoins de notre communauté.

Dans le même temps, et pour favoriser l'entrée dans des thématiques interdisciplinaires des chercheurs, deux propositions peuvent être faites :

- rétablir les Commissions Inter Disciplinaires (CID) même si la conjoncture n'est pas favorable en termes de postes.
- réserver de l'ordre de 1 poste / an / institut, non fléché, pour des thématiques interdisciplinaires. La procédure d'évaluation serait cependant complexe car devant prendre en compte les compétences interdisciplinaires de chacun des candidat(e)s dans des domaines nombreux et variés.

Les moyens

■ Les moyens lourds existants

• Sur le territoire national

Le RTN à Nançay bénéficie d'un message positif grâce à ses niches scientifiques (comme le monitoring des pulsars) et à son positionnement essentiel dans un réseau européen. Avec l'arrivée des précurseurs de SKA, l'avenir à long terme du NRT demande une réflexion. La question de la jouvence doit en particulier être réévaluée si la France participe à la première phase de SKA.

Le NRH et ORFEES ont un rôle important pour Solar Orbiter et permettent d'avoir une continuité de mesurures sur une très longue base de temps, importante pour suivre l'activité solaire et pour la météorologie de l'espace, par exemple. Il est cependant apparu nécessaire de clarifier son coût. Il est également recommandé que toute demande d'investissement soit accompagnée d'une évaluation scientifique.

Plus globalement, il est apparu souhaitable d'entamer une réflexion plus générale sur l'avenir du site de Nançay.

Pour le TBL et l'OHP, leurs niches scientifiques sont très appréciées par la communauté et leur permettent de rester compétitifs. Des retours d'expériences sont attendus sur le passage de leur gestion aux OSUs. Pour l'OHP et son instrument prioritaire SOPHIE, il faut rester vigilant sur le nombre d'opérateurs de nuit, qui limite le nombre d'heures d'observation. Pour le TBL, conserver la fenêtre du visible en spectro-polarimétrie apparaît davantage prioritaire (avec Neo-Narval) qu'ouvrir le site à la spectro-polarimétrie IR (avec SPIP complémentaire de SPIRou).

Les communautés temps-fréquence et VLBI sont invitées à se rapprocher, sous l'égide de l'AS GRAM. Pour le projet d'antenne à Tahiti, il faut que l'INSU-AA

se coordonne avec le domaine de la Terre Solide, de même que pour les activités télémétrie-laser/projet Méo qui auraient aussi des implications relevant d'autres instituts (INP, INSIS).

• En sociétés internationales

Les discussions en atelier ont validé les recommandations sur LOFAR (et NenuFAR en priorité P1), le CFHT, THEMIS, les sites de Paranal (fort intérêt pour MOONS sur le VLT dont la construction vient d'être décidée, et priorité P2 pour 4MOST sur VISTA) et de La Silla, ainsi qu'ALMA à l'ESO, et les radars ionosphériques.

Pour NOEMA, un soutien très fort est ré-exprimé (pour les phases I et II). La nécessité de l'archivage et de la mise à disposition des données IRAM, au moins dans un premier temps pour les membres contributeurs, a été soulignée, NOEMA ne pouvant se faire sans ces outils.

Pour le VLTI, les participants aux ateliers ont souhaité réaffirmer l'objectif d'imagerie et que soit mise en place, avec l'ESO, une feuille de route sur cet objectif (ATs supplémentaires), en s'appuyant sur le retour d'expérience de GRAVITY et MATISSE et conformément aux récentes recommandations de la feuille de route des infrastructures par Astronet.

• Autres moyens et tickets d'entrée

Les ateliers ont validé la proposition de mettre en première priorité (P0) la participation à WEAVE au WHT. La politique des tickets d'entrée sur diverses infrastructures a suscité beaucoup de discussions, sans dégager de consensus. La communauté s'en remet à la CSAA, qui doit évaluer au cas par cas la pertinence et l'impact du financement de tickets d'entrée tout en se plaçant dans une vision pluriannuelle. La communauté souhaite cependant favoriser les contributions en nature dans la mesure du possible.

■ Les moyens lourds du futur

La première priorité de la communauté envers l'E-ELT, aux performances annoncées et à échéance suffisamment proche, est réaffirmée. L'organisation de la communauté autour du développement des instruments est remarquable, et l'engagement au niveau PI sur un instrument MOS doit être fortement encouragé. La priorité sur les instruments de première lumière, MICADO et HARMONI, suivis de près par METIS, est réaffirmée. Noter qu'aujourd'hui, le plan d'instrumentation peut être rediscuté en fonction de la participation du Brésil au projet et les options choisies pour l'optique adaptative.

MSE, projet d'évolution du CFHT, offre des perspectives scientifiques intéressantes pour la communauté française, y compris en termes de suivi des sources faibles Gaia et Euclid. Le projet MSE n'est pas un nouveau TGIR ; il doit évoluer dans le cadre du Project Office. Les caractéristiques techniques doivent être bien définies (en particulier la résolution spectrale) pour les adapter aux besoins scientifiques des différentes communautés à l'horizon 2025.

SKA est un projet ambitieux qui représente un changement d'échelle majeur dans la radioastronomie centimétrique. Il est souhaitable que la France puisse entrer dans le « board » pour peser dans les choix techniques (et donc scientifiques), surtout dans un contexte de réduction de coût pour la phase I du projet. Les efforts de communication doivent être poursuivis pour mobiliser une communauté française plus large, et assoir un positionnement au-delà d'une manifestation d'intérêt. Actuellement, l'engagement scientifique paraît un peu faible. Il apparaît prématuré de s'engager dès aujourd'hui dans la phase II de SKA d'un point de vue programmatique, compte tenu des fortes incertitudes sur son coût et ses capacités.

Le soutien à l'instrument CTA a été réaffirmé. Il devra continuer à être fort pour pousser à la prise de décision. La communauté européenne doit passer maintenant à une stratégie d'observatoire et non plus d'expérience.

La participation de l'INSU dans le projet KM3NeT dont les perspectives pour l'astronomie des neutrinos semblent pour le moins incertaines est jugée non prioritaire.

L'EST doit être inscrit sur la ligne ESFRI. Le faible intérêt affiché dans la prospective par la communauté concernée amène vers la recommandation d'aller vers une position d'opportuniste.

■ Participation à des infrastructures multilatérales

Une clarification semblait nécessaire au sujet de l'accès au LSST pour des chercheurs de l'INSU à travers les droits ouverts par la contribution IN2P3 : elle a eu lieu et ces droits devraient s'étendre au-delà de la collaboration Euclid à des programmes de type stellaire ou petits corps du système solaire, l'IN2P3 ayant manifesté une ouverture claire.

Le projet CCAT a un réel intérêt scientifique, mais le contexte politique ayant changé mi-2014, il doit mûrir dans une phase post-prospective. Mi-2015 sera installée au 30 m de l'IRAM une caméra, NIKA2. On peut envisager, qu'une telle caméra, ayant fait ses preuves sur un autre télescope, puisse être utilisée pour le commissioning de CCAT, et donner ainsi une voie d'entrée au projet.

■ Accompagnement sol des moyens spatiaux

La communauté a exprimé une très forte inquiétude par rapport au suivi sol, très gourmand et pas toujours gratifiant, des missions spatiales comme Gaia, Euclid, SVOM, PLATO, car le suivi incontournable d'une mission va devoir monopoliser une fraction importante du temps des grands télescopes.

Pour ces missions d'un nouveau type qui sont conçues comme des projets intégrés sol/espace, il conviendra de veiller à ce que les besoins en suivi sol soient estimés en détail et que l'engagement des agences concernées (INSU, ESO) soit plus qu'un simple visa de faisabilité. Les stratégies sol/espace devraient être validées très en amont, au niveau des comités inter organismes.

■ Moyens de calculs

La pyramide HPC (High Performance Computing) offre des moyens de calcul extraordinaires, structurés, et financés de manière pérenne. Cependant, le groupe de travail a trouvé qu'il lui manquait un socle, le Tier-3, nécessairement thématique, qui permette de

Les moyens

stocker et d'analyser les données simulées. Le groupe a demandé à la communauté INSU-AA de réfléchir à la meilleure manière de développer les moyens en matériels, logiciels et ressources humaines pour répondre à la crise du Tier-3. Les discussions lors du séminaire ont montré que le Tier-3 était très dispersé, au niveau des laboratoires, des régions, ou encore des Idex, et qu'un effort de mutualisation devait être fait. Pour cela, il est recommandé que les astronomes soient fortement présents dans le Tier-2 (les mésocentres), et qu'ils s'assurent que les mésocentres évoluent pour prendre en compte le Tier-3. Il est également recommandé de préserver le rôle important des OSUs dans la structuration et l'évolution des mésocentres.

■ Astrophysique de laboratoire

Le financement de l'astrophysique de laboratoire est aujourd'hui assuré par les programmes nationaux, la CSAA, les projets (e.g., ANR, ERC) et le soutien de base. Bien que faible, le soutien de base est absolument indispensable pour assurer le fonctionnement, la maintenance et l'achat de petit matériel. La communauté n'est pas en faveur d'un prélèvement systématique comme recommandé par l'ETFLA dans la feuille de route Astronet (2% des financements des observatoires dédiés au support de laboratoire). Cependant, dans le cas où un observatoire ou une mission spatiale a spécifiquement besoin d'expériences de laboratoire, il faut anticiper les moyens, et financer ces expériences comme moyens sol accompagnants.

■ R&D amont

Sur la R&D, la communauté arrive en général à trouver des financements (INSU, CNES, Labex, etc). Le véritable problème concerne les ressources humaines. Il est essentiel que l'INSU conserve son soutien aux activités instrumentales sol et spatiales (R&D projet et R&D amont). Les R&D doivent être encadrées par du personnel permanent et il faut donc que le CNRS et le CNAP arrivent à maintenir une réelle capacité à en recruter. Il faut également trouver un moyen de valoriser la prise de risque, plus à même d'être développée dans les laboratoires que par les industriels. Les chercheurs et ingénieurs des laboratoires doivent essayer de travailler avec les industriels le plus en amont possible afin de valoriser et optimiser les R&D. Les activités de R&D sont reconnues pour être extrêmement valorisantes.

Pour les instruments futurs, il faut définir quelques axes R&D prioritaires de l'INSU, sur des savoir-faire uniques et spécifiques des équipes. Lors des discussions, il n'est apparu qu'assez peu de thèmes qui bénéficieraient d'une structuration nationale en concertation avec les autres instituts et tutelles : il s'agit du traitement du signal, du « Big data » et du développement de matrices de détecteurs sub-millimétriques.

Enfin, sur la question récurrente du recrutement des instrumentalistes, il serait intéressant de connaître le pourcentage d'instrumentalistes recrutés par rapport au pourcentage de thèses en instrumentation dans les laboratoires d'astronomie.

Organisation

■ Organisation de la communauté

Le laboratoire, généralement UMR, reste la brique de base opérationnelle, qu'il faudra veiller à toujours privilégier. Mais la multiplication des guichets (ANR, ERC, Labex, Régions) peut nuire à la cohérence de la discipline par le financement d'opérations hors prospective nationale INSU ou hors politique du laboratoire ou de l'établissement. Afin d'assurer une cohérence d'ensemble, il est recommandé de mettre en place un chargé de mission INSU à plein temps, en charge de veiller activement aux effets du Programme des Investissements d'Avenir, d'Horizon2020, des programmes ANR et CPER, et tout autre forme de financement conséquent (par exemple via les pôles de compétitivité).

Il est reconnu que les Labex, malgré leur caractère chronophage, ont apporté des moyens et ont souvent permis une structuration locale ainsi qu'une meilleure communication. Toutefois se pose la question de la pérennisation de leur action après 2019. Il est important de faire un bilan et pouvoir anticiper l'impact de leur éventuelle disparition afin de ne pas revenir totalement à la situation antérieure.

Le déploiement d'Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU) pluridisciplinaires, par création, élargissement ou regroupement, est jugé comme globalement positif. Il a permis en particulier l'émergence de plateformes, de bureaux d'étude ou de salles blanches mutualisés, a facilité la gestion des enseignements ou des moyens de calcul au niveau régional, renforçant significativement leur visibilité par les collectivités ou les universités locales. En revanche, on peut regretter que ces OSUs pluridisciplinaires n'aient pas encore joué pleinement leur rôle fédérateur en facilitant les recherches transverses, là où l'on s'attendrait à voir émerger des collaborations entre différents domaines de l'INSU. Il est également attendu qu'ils organisent les moyens au bénéfice des différents domaines, en gérant la compétition sur ces moyens.

Parmi les nouveautés depuis la précédente prospective, les IDEX, portés par des regroupements régionaux comme des PRES ou plus récemment des COMUE, sont apparus comme des outils de structuration et de financement importants, au service des opérateurs régionaux. Il est vital que les OSUs, qui sont par essence une structure fédérative à vocation régionale, et représentent les Sciences de l'Univers, soient en mesure de renforcer leur poids dans la gouvernance des IDEX et des COMUE. Un des leviers possibles est d'être une force de proposition pour des projets interdisciplinaires, impliquant éventuellement des industriels. Corollairement, le rôle de la discipline A&A dans les mésocentres de calcul est à préserver.

Hors des IDEX, les financements régionaux sont tout autant conséquents dans certaines régions (Île de France et PACA par exemple). Mais on relève une hétérogénéité forte d'une région à l'autre. Le nouveau découpage des régions pourrait être l'occasion de réexaminer la question du soutien des Régions aux OSUs. Les pôles de compétitivité, en général fortement soutenus par les Régions en raison de leur impact sur le bassin d'emploi, pourraient être avantageusement utilisés par la discipline.

■ Services d'observation

La réorganisation des Services d'Observation (SO) effective depuis l'été 2014 semble ne pas avoir été accompagnée d'une procédure lisible et de règles suffisamment transparentes en matière de labellisation et de dé-labellisation. Un effort de clarification est indispensable et urgent afin que la communauté s'approprie les SO dans leur nouveau format, en particulier ceux qui ont subi de fortes mutations ces dernières années, comme le SO-5. L'explicitation de la nouvelle structuration en centres d'expertise régionaux et pôles thématiques lèverait de nombreuses interrogations et simplifierait le travail de la commission en charge du SO-5.

La pénétration de la simulation numérique comme outil de compréhension des phénomènes naturels mais également comme outil de prédiction pour les grands relevés (SO-4) et de préparation des instruments (SO-2) pose la question de sa reconnaissance comme SO à part entière. Une réflexion au sein d'un groupe piloté par la CSAA devrait être lancée afin de mesurer la pertinence de définir un nouveau SO ou de mieux intégrer ces activités dans les SO existants.

L'effort de cadrage par l'INSU des Services d'Observation au travers de la préparation d'une charte des « Services Nationaux d'Observation » qui devrait s'appliquer à tous les domaines de l'Institut, doit faire l'objet d'une vigilance afin de s'assurer que son éventuelle mise en œuvre n'impacte pas le fonctionnement actuel des SO du domaine Astronomie & Astrophysique. En particulier, le rôle des Observatoires des Sciences de l'Univers, garants du fonctionnement des SO, et celui de la CSAA et de la section AA du CNAP pour leur évaluation, doivent être réaffirmés.

L'articulation OSUs <--> SO <--> postes CNAP constitue un outil remarquable en appui à la communauté dans l'accomplissement de ses missions. L'INSU doit mettre tout en œuvre pour maintenir le bénéfice de cet outil dans le paysage changeant de la recherche.

■ Pôles thématiques et plateformes

• Pôles thématiques

La restructuration du SO-5 a fait émerger la notion de Pôles Thématiques. Leur mise en place, dont dépend étroitement l'efficacité du SO-5, doit être accélérée. L'implication des Programmes Nationaux dans ces pôles doit être confortée afin d'éviter des redondances et d'améliorer les synergies scientifiques.

• Plateformes

L'apparition de plateformes au niveau de l'INSU a rapidement posé la question de leur périmètre et de leurs responsabilités. Face à une importance croissante prévisible, la mise en place d'un portail des plateformes disponibles et d'un mécanisme de labellisation pluriannuelle, à la façon de celui des

services d'observation, permettrait de leur donner une meilleure visibilité et faciliterait la mise en valeur de leurs métiers et compétences. La création d'un réseau des plateformes mutualisées permettrait un partage de savoir-faire au niveau national.

• Métiers et RH

La raréfaction des postes de chercheurs et d'ITAs doit rendre l'INSU particulièrement vigilant sur les recrutements. Il faut veiller à conserver une diversité du recrutement des chercheurs, en particulier en direction des femmes, mais aussi des chercheurs instrumentalistes ou des chercheurs avec des profils rares (systèmes d'information, traitement du signal...). Pour les ITA, la mise en place de postes mutualisés ne doit pas être la solution de facilité, mais doit résulter d'une étude approfondie des besoins en concertation avec les UMR concernées, et du fonctionnement de cette mutualisation dans le contexte local.

■ Enseignement

Plusieurs défis se posent à la communauté en terme de formation par et pour la recherche.

- Comment former des scientifiques qui doivent être de plus en plus pointus dans un domaine étroit de méthodes ou de thématiques : cela passe peut-être par des formations pluri-thématiques, et une spécialisation plus précoce (avant le M2 ?). Cela pose la question d'anticiper suffisamment tôt les besoins de la communauté pour mettre en place les formations ad-hoc.
- Comment préserver les formations spécifiques en A&A (Masters, ED) alors que la politique des COMUE et des universités autonomes tend à lamener les « petites disciplines » ? Les ED thématiques peuvent être une solution mais difficile à mettre en place en province compte tenu du peu de doctorants potentiels. Une réflexion est à mener pour trouver un fonctionnement qui permette de faire le lien entre une politique nationale de la thématique (Observatoires, INSU) et un contexte universitaire local pour la formation. Dans le même temps, les astronomes ont parfois du mal à faire reconnaître un référentiel CNAP commun pour ce qui concerne les enseignements. Les OSUs et l'INSU doivent servir de relai dans les COMUE pour imposer un référentiel commun à la discipline.

- Comment maintenir un équilibre national pour le recrutement des doctorant(e)s ? Une possibilité serait d'étendre aux thèses ce qui existe déjà pour les stages de M2 et qui est unanimement apprécié, à savoir un serveur national qui recenserait toutes les propositions transmises par les Ecoles Doctorales, en mentionnant les sources possibles de financement. Cette action est une vraie demande de la communauté et des étudiants de Master. Il faudrait éventuellement un support de l'INSU pour maintenir techniquement ce serveur et le pérenniser.

Comment former les enseignants à gérer les événements astronomiques (éclipses, passage de comètes, événements liés aux sondes spatiales et observatoires...) ? Un serveur en ligne avec des modules d'auto-formation peut être une solution, s'il bénéficie d'un accompagnement de professionnels. Une personne affectée à cette tâche au niveau INSU serait également un atout.

■ Relations industrielles

La communauté est satisfaite de la position des frontières entre les laboratoires INSU et les industriels. Les laboratoires sont présents en amont (définition des spécifications) et en aval (caractérisation en laboratoire, sur le ciel, ...) et les réalisations sont en majorité faites dans l'industrie. Toutefois il est important de conserver dans les laboratoires des capacités de réalisation de prototypes ou dans certains domaines spécifiques, la réalisation d'optiques, de détecteurs, composants trop risqués pour des industriels. Il est également important que l'INSU maintienne et conforte l'accès de ses laboratoires à des moyens de réalisations technologiques (centrales de production, plateformes de type recherche).

Les pôles de compétitivité et les SATTs jouent un rôle de plus en plus important pour faire le lien avec l'industrie. La mise en place d'un accord de partenariat, ainsi qu'une réunion annuelle, entre l'INSU et les SATTs les plus impliquées, visant à la valorisation des développements menés dans les laboratoires de la discipline est à envisager.

■ Rôle de l'INSU

Le rôle structurant de l'INSU-AA au niveau national et international a été réaffirmé de façon unanime.

Avec le développement du « mille-feuille » pour les sources de financement, il est de plus en plus difficile pour l'INSU d'avoir une vision exhaustive du paysage de l'Astronomie-Astrophysique. La mise en place d'un chargé de mission dédié permettrait un tel suivi. Il pourrait s'appuyer sur la politique de site qu'a développée l'INSU à travers la mise en place des OSUs.

La thématique AA s'étend de plus en plus au-delà de l'INSU (que ce soit en termes techniques ou scientifiques). L'INSU-AA doit pouvoir jouer pleinement son rôle national d'organisation scientifique et programmatique en Astronomie & Astrophysique. La création d'un Comité Inter-Instituts CNRS et organismes (CEA, CNES,...) permettrait de coordonner les efforts dans l'ensemble des domaines de la discipline et de s'assurer de leur cohérence.

Conclusion : plusieurs défis

Au-delà de l'action-phare de ces journées qu'aura été la mise en priorité des projets, les discussions approfondies menées dans les différents ateliers ont permis d'identifier plusieurs défis auxquels se trouve confrontée notre communauté.

• Le défi budgétaire

C'est sûrement l'un des plus difficiles : la projection à dix ans des TGIR en A&A montre qu'une bosse majeure apparaît entre 2018 et 2023 quant à la masse budgétaire nécessaire pour assurer les engagements, en particulier ceux liés à SKA (dans sa version actuelle) et à l'E-ELT.

• Le défi du mille-feuille

Confrontée à l'impressionnant éventail des structures d'organisation et de financement de la recherche, extrêmement chronophage et source potentielle de déviations par rapport aux objectifs et priorités décidés en commun, la communauté A&A a tenu à réaffirmer que l'INSU apparaît bien comme la structure de référence, la plus stable, unanimement plébiscitée : c'est l'interface la plus solide représentant et défendant la communauté tant au niveau national qu'international. La nomination d'un chargé de mission INSU qui pourrait être une interface avec toutes les structures et aurait pour tâche de maintenir une vision la plus complète possible des projets et de leurs sources de financement, apparaît très souhaitable.

• Le défi du « big data »

Avec une puissance de calcul multipliée par 100 tous les 7 ans, un volume de données qui en prend le chemin et l'Observatoire Virtuel qui ouvre grandes les portes à l'empilement des données multi-longueur d'onde, la dimension numérique est devenue critique dans tous les domaines de notre recherche. Se pose donc plusieurs questions relatives à cet emballement : ce qui a été nommé la crise du Tier-3 sera sûrement résolu, mais que sera la suivante ? Faut-il des chercheurs spécialisés, purement attachés à résoudre les questions liées aux

grandes masses de données et aux grands codes ? Quelle doit être l'implication des OSUs dans les mésocentres ? Il apparaît nécessaire de lancer une réflexion inter-organismes sur ce défi.

• Le défi de l'astronomie sans télescopes

La R&D, la recherche interdisciplinaire, l'astrophysique de laboratoire, sont trois facettes de cette astronomie, jugées indispensables par tous. Pourtant, il y a clairement un malaise quant à la reconnaissance de ces activités, tant au niveau du financement que du recrutement. Des évolutions qui devraient aller dans le bon sens doivent être encouragées : les Programmes Nationaux n'auront plus à gérer le ticket modérateur et disposeront d'un peu plus de crédits pour ces actions, les missions spatiales demandeuses devraient contribuer plus directement, l'inflexion souhaitée de la politique de la Mission de l'interdisciplinarité du CNRS (afin qu'elle devienne plus *bottom-up* que *top-down*), sans oublier au niveau local les nouvelles structures COMUE, IDEX, PRES, OSU/Universités, pôles de compétitivité, où ce type de recherche devrait pouvoir être mieux pris en compte.

• Le défi des ressources humaines

Si on juxtapose plusieurs évolutions comme l'augmentation de 150 % des postdocs et doctorants, l'augmentation de 80 % des CDD, la diminution de 13 % des chercheurs et de 10 % des Ingénieurs Techniciens au CNRS entre 2004 et 2013, la loi Sauvadet qui impose des contrats CDD de durée inférieure à 3 ans et donc à la fois une perte de savoir et de savoir-faire, et une activité chronophage de formation, on a bien les éléments d'un défi majeur. Certes les laboratoires ont déjà commencé à attaquer le problème en généralisant une structure matricielle projet/métier, en mutualisant des moyens via les UMS, les GIS ou les mésocentres, en généralisant la collaboration, ou en faisant appel à la DT de l'INSU, mais cela ne suffira pas. La piste de la création de CDI en mettant à profit la surface suffisante des COMUE pour maintenir sur des projets successifs des métiers génériques doit être explorée.

• Le défi de la parité homme/femme

On doit encore déplorer de constater que le déficit de femmes dans le recrutement, loin de se réduire, a même empiré. C'est une inégalité majeure, toujours dénoncée, qui ne trouve aucune justification. La seule lueur d'espoir aura été l'identification d'une piste : la rapide décroissance après thèse + 3 ans de la fraction féminine parmi les candidats aux postes de recherche, suggérant qu'une politique de recrutement volontariste à thèse + 3 ans pourrait enfin renverser la tendance. Mener une telle politique radicale est-il un choix que les comités de recrutement feront ? La question demeure.

• Le défi de la formation des jeunes chercheurs

C'est le problème de la discipline *orchidée*, ou comment préserver au maximum une formation (master, ED) transcendant les repliements sur les COMUE, universités autonomes etc. qui laminent les petites disciplines ? L'INSU devrait coordonner une réflexion inter-OSU qui pourrait diffuser dans les universités.

En conclusion

La communauté AA a renouvelé avec succès son effort de réflexion et de projection, une action dont l'importance et le sérieux ont été jusqu'ici l'objet d'une vraie reconnaissance à l'extérieur de la discipline.

Bien que les constantes de temps des grands projets deviennent de plus en plus grandes, le paysage dans lequel évolue la recherche en A&A évolue rapidement, que ce soit celui des structures administratives et des organismes financeurs ou celui des frontières interdisciplinaires ou même celui de la démultiplication des capacités et des besoins du numérique. Cet exercice de prospective reste donc toujours essentiel pour que notre communauté maintienne sa place de choix dans le concert international.

On doit noter la très grande qualité du travail préparatoire qui a permis d'aborder les questions débattues par les participants avec des éléments d'information très complets. Il faut saluer l'effort de toutes les personnes qui ont conduit ce travail préparatoire et remercier les personnels de l'INSU qui ont permis que le déroulement de l'exercice se fasse dans d'excellentes conditions matérielles.

Bien entendu, comme c'est la règle pour ces exercices, la mise en priorité des moyens demeure une des sorties les plus attendues de la communauté, et sera examinée à la loupe. Cette priorisation ne doit cependant pas cacher la richesse des débats où d'autres questions majeures ont été abordées et des directions clairement indiquées.

La cohésion et la cohérence de la communauté sortent renforcées à l'issue de cette belle mobilisation des esprits et des énergies.



Résumés exécutifs

Michel Marcelin, Cécile Engrand, Bruno Bézard, Emmanuel Dartois, Jérémy Blaizot, Bernd Vollmer, Cecilia Ceccarelli, Karine Perraut, Daniel Egret, Marc Ferrari, Geneviève Soucail.

Thématiques et interdisciplinarité

■ Évolution des thématiques

Michel Marcelin

Depuis le colloque de prospective de La Londe les Maures (octobre 2009) plusieurs faits marquants sont apparus dans notre discipline. On peut citer notamment les résultats de Planck et Herschel (satellites qui venaient tout juste d'être lancés lors de la précédente prospective), la mise en service d'ALMA et, enfin, le lancement de Gaia et le démarrage du chantier de l'E-ELT, sans oublier l'autre grand projet sol européen CTA ainsi que le radiotélescope SKA. Par ailleurs on voit se mettre en place les missions sélectionnées par l'ESA dans le cadre de Cosmic Vision pour la décennie à venir et vers lesquelles nos efforts devront porter : Solar Orbiter, CHEOPS, Euclid, JUICE, PLATO et eLISA. Pour compléter ce paysage, il faut souligner l'augmentation constante du nombre d'exoplanètes découvertes qui ouvre de nouveaux champs d'investigation et amène en particulier au développement de la recherche de bio-signatures, en lien avec d'autres disciplines.

Le pavage thématique de notre discipline s'appuie sur les Programmes Nationaux (PNCG, PNHE, PCMI, PNPS, PNP, PNST) auxquels l'Action Spécifique GRAM a été ajoutée pour cet exercice de prospective. Le document émis par ce groupe « Thématiques » rassemble les travaux de réflexion sur la prospective propre à chacun des 6 Programmes Nationaux et à l'AS GRAM, menés en lien avec la Section 17 du Comité National de la Recherche Scientifique. Les 6 PNs et l'AS GRAM ont été invités à faire apparaître les éléments suivants dans leur document : Faits saillants, Grandes questions, Evolutions thématiques, Interdisciplinarité et Interfaces, Forces et faiblesses de la communauté nationale, Moyens (en observations, expérimentations et simulations numériques, y compris à long terme) et priorités, Recommandations.

Lors de sa session de printemps 2014, la Section 17 a pu débattre avec les représentants des PNs et de l'AS GRAM afin d'émettre des recommandations concernant plus particulièrement l'évolution des thématiques. Ces recommandations ont pu être rediscutées avec la CSAA au début du mois de juillet 2014 et, enfin, lors du colloque de prospective, à Giens, en octobre 2014. Il en ressort que le pavage actuel de la discipline est satisfaisant et qu'il n'y a pas de nécessité de modifier les frontières des PNs. La Section 17 est favorable à l'évolution de l'AS GRAM en PN GRAM mais les responsables de cette Action Spécifique jugent cette évolution prématurée et ne souhaitent pas de changement dans l'immédiat.

L'AS GRAM, de par son caractère thématique, est la seule des Actions Spécifiques qui a vocation à évoluer en Programme National. L'exercice de prospective est l'occasion de faire le point sur l'ensemble de ces actions et sur leur articulation avec les PNs.

Certaines Actions Spécifiques ont été très peu discutées, comme l'ASHRA et l'ASOV, ou encore l'AS SKA-LOFAR, car elles donnent entière satisfaction et aucune évolution ne semble nécessaire.

En revanche, ALMA étant bientôt pleinement opérationnel, la question de l'évolution de l'AS ALMA se pose avec actualité. Cette AS ne s'intéresse pas uniquement à ALMA, mais à l'ensemble des instruments mm et sub-mm auxquels la communauté française a accès et notamment NOEMA (qui apparaît comme une priorité dans les rapports de plusieurs groupes). L'AS ALMA ne doit donc pas disparaître mais seulement évoluer et, peut-être, changer de nom.

Le lancement réussi de Gaia en décembre 2013 amène aussi à se poser la question de l'évolution de l'AS Gaia dont le mandat court jusqu'en 2015. Un soutien et une organisation de la communauté semblent nécessaires pour l'optimisation de l'exploitation des données Gaia.

La question de la réactivation de l'ASSNA (Action Spécifique pour les Simulations Numériques en Astrophysique) a été posée car le besoin en simulations numériques revient dans la quasi-totalité des besoins exprimés par les PN. Une solution plus facile à mettre en œuvre qu'une AS pourrait être l'organisation d'écoles ou d'ateliers récurrents, mis en place par la CSAA par exemple. Il existe aussi des structures sur lesquelles on peut s'appuyer comme « La Maison de la simulation », USR créée par le CEA et le CNRS pour « favoriser l'utilisation efficace par la communauté scientifique du parc de supercalculateurs ainsi que la recherche dans le domaine du HPC : Calcul Haute Performance ».

La réactivation de l'AS exoplanètes ne semble pas nécessaire car la science faite à ce sujet est correctement traitée au sein des PN concernés (PNP, PNPS et PCMI). Cet avis rejoint les conclusions émises à l'issue de la tenue de l'atelier « exoplanètes » lors du séminaire de prospective du CNES à La Rochelle en mars 2014.

Il s'agit là d'un exemple typique de sujet à l'interface de plusieurs PN. En l'occurrence ce cas semble bien traité mais la question générale des interfaces entre programmes doit être étudiée, en favorisant les échanges entre PN et en organisant cela de manière plus structurée si nécessaire. A titre d'exemple, les demandes de financement pour un projet faisant appel à plusieurs PN pourraient en être simplifiées.

Le problème des interfaces est très important pour notre discipline, notamment à l'interface avec la physique des particules mais aussi avec la physique théorique (la détection des ondes gravitationnelles en est une bonne illustration) sans oublier la chimie.

Dans le domaine de l'interdisciplinarité, notre communauté se trouve confrontée, lors des recrutements de chercheurs, à des cas difficiles à traiter de candidats interdisciplinaires de valeur qu'il n'est pas facile de recruter dans le contexte actuel. De tels cas particuliers pourraient être traités en lien avec l'INSU et la Mission Interdisciplinarité du CNRS. Celle-ci a pour but de favoriser l'émergence de nouvelles thématiques interdisciplinaires, mais son mode de fonctionnement est mal connu des chercheurs qui ne font pas suffisamment appel à elle.

■ Interfaces interdisciplinaires

Cécile Engrand

Les interfaces interdisciplinaires peuvent généralement se présenter sous deux formes : autour d'une thématique fédératrice mobilisant plusieurs outils scientifiques (techniques expérimentales, modélisations,...), ou sous la forme de plusieurs thèmes scientifiques développés autour d'un outil spécifique. Ces deux aspects de l'interdisciplinarité sont habituellement couplés dans les thématiques aux interfaces de l'astronomie et de l'astrophysique. Nous avons donc choisi une présentation de ce document principalement par thématique scientifique, chacune comprenant une partie bilan et une section prospective, puis des recommandations issues d'une consultation de la communauté par le biais d'un questionnaire en ligne.

L'étude des systèmes stellaires incluant notre système solaire est une discipline interdisciplinaire par essence. Elle fait appel à un grand nombre de compétences relevant des sciences de la Terre, de l'astronomie, et de la physique-chimie, voire la biologie (exobiologie). Les thématiques en planétologie sont actuellement largement influencées par le grand nombre de missions spatiales de planétologie en activité ou dans le paysage spatial. L'expérimentation, l'étude des échantillons extraterrestres et des analogues de laboratoire restent indispensables pour apporter des informations complémentaires aux résultats issus de ces missions spatiales. L'exobiologie commence à faire son entrée dans le domaine des exoplanètes, et questionne la définition de la notion d'habitabilité de ces systèmes exoplanétaires.

La thématique d'Astrophysique et Univers primordial regroupe la physico-chimie du milieu interstellaire, les astroparticules et la cosmologie, énergie noire, matière noire, qui sont des domaines naturellement à l'interface entre l'INSU, l'INP et l'IN2P3. L'étude de la physique et de la chimie du MIS concerne la dynamique et la structure du MIS aux grandes échelles, la formation des étoiles et des systèmes planétaires, et les propriétés de la matière cosmique et sa complexification. L'interprétation des observations astronomiques requiert une interaction forte entre observateurs, modélisateurs

et physico-chimistes, pour l'étude des processus par des modélisations et des expériences de laboratoire (analogues spectroscopiques, réactions gaz-grains...). Les astroparticules ont largement été portées par l'astronomie gamma, activité qui se poursuivra activement dans les prochaines années (CTA, LHAASO). L'astronomie X, l'exploration du domaine d'énergie au-delà du MeV, la recherche d'ondes gravitationnelles (advanced VIRGO) et de matière noire (EDELWEISS III, XENON-1T) seront également des thématiques importantes pour les astroparticules, ainsi que la compréhension des émissions galactiques diffuses. En ce qui concerne la cosmologie, deux approches sont envisagées : i) une approche pluridisciplinaire centrée autour de la théorie/modélisation, concernant la matière noire et la formation des structures, la théorie de l'inflation, et l'énergie noire; ii) des activités interdisciplinaires rapprochant théoriciens et expérimentateurs autour de grandes expériences. Elles concernent l'étude du fond cosmologique (après Planck), les grands sondages et sondages profonds (DES, eBoss, puis Euclid, DESI, LSST...).

Les systèmes de référence, la mécanique spatiale et céleste recouvrent les domaines de géodésie spatiale, de systèmes de référence spatio-temporels, de mécanique céleste et spatiale, et de physique fondamentale, notamment gravitationnelle. Ces études impliquent des interactions entre chercheurs de l'INP, INSU, INSIS, IN2P3 et INSMI. Les prochaines années seront riches en évolution et innovations, par la miniaturisation des horloges atomiques, l'intégration des techniques de géodésie spatiale et de métrologie du temps, la surveillance de l'environnement via des senseurs inertiels atomiques, des tests de la relativité générale en champ fort (LISA-Pathfinder, eLISA, MIGA, GRAVITY/VLTI) et en champ faible (Gaia, MICROSCOPE, ACES).

Les liens des sciences humaines avec l'astronomie et astrophysique se concrétisent en particulier dans un programme transversal d'histoire des sciences regroupant historiens et physiciens autour du rôle de la précision de la mesure et de l'instrumentation dans le développement des sciences, en particulier en astronomie. Se pose également le problème de la pérennisation des archives des observatoires.

Les moyens nécessaires à ces études interdisciplinaires sont extrêmement variés. Ils vont de l'analyse ou de l'expérience de laboratoire à l'utilisation des plateformes technologiques RENATECH et de grands instruments (synchrotron, accélérateurs...), en passant par des outils de modélisation et de simulation numérique sophistiqués.

En terme d'organisation et de financement de l'interdisciplinarité, l'enquête réalisée auprès de la communauté a permis de mettre en relief plusieurs points durs pour lesquels nous proposons des recommandations. Les plus marquants sont : i) le manque de visibilité de l'interdisciplinarité (et de la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS) – nous proposons de renforcer la visibilité de l'interdisciplinarité entre les instituts du CNRS, par exemple en formalisant leurs liens sur des dossiers interdisciplinaires ; ii) le ressenti négatif (récurrent) de l'interdisciplinarité en ce qui concerne l'évaluation et le recrutement – nous recommandons la reconnaissance et la dépenalisation de l'interdisciplinarité, en particulier au sein des sections « monothématiques » du comité national ; iii) le rôle prépondérant du soutien de base pour permettre le démarrage d'une activité interdisciplinaire – nous demandons qu'il retrouve un niveau significatif ; iv) le rôle structurant des programmes nationaux (toutefois insuffisants en terme de financement) – nous recommandons la poursuite du soutien de ces programmes, en étendant si possible les possibilités de financement pour permettre par exemple l'embauche d'un doctorant ou postdoctorant ; v) la lourdeur du système administratif (multiplicité des guichets et manque de coordination) – nous demandons la simplification de la gestion administrative des projets interdisciplinaires (qu'ils soient d'ailleurs interdisciplinaires ou non).

Moyens

■ Évolution des moyens actuels et analyse des nouveaux moyens à 5-10 ans

La recherche astrophysique en France s'appuie naturellement sur l'observation à l'aide de grands instruments au sein d'observatoires nationaux et internationaux, mais fait aussi appel aux grands instruments de la physique en laboratoire, aux moyens de calcul nationaux et européens ainsi qu'à des centres de traitement, d'archivage et de diffusion de données.

• Moyens d'observation lourds

Bruno Bézard

Les moyens d'observation de l'INSU gérés en agences ou sociétés internationales (principalement ESO, CFHT, IRAM) sont des outils incontournables pour la communauté astrophysique française. Les évolutions et développements instrumentaux en cours offrent une excellente visibilité à court et moyen terme et permettront à la communauté de rester à la pointe de l'astronomie mondiale, avec notamment l'arrivée de SPIROU en 2017 au CFHT, la construction d'une caméra millimétrique (NIKA2) pour le 30 m de l'IRAM, l'achèvement de NOEMA sur le Plateau de Bure, les premières lumières de MUSE et SPHERE au VLT, l'arrivée prochaine de MATISSE et GRAVITY au VLTI, et la montée en puissance de ALMA. Dans le domaine des astroparticules, l'observatoire Pierre Auger, pour les rayons cosmiques d'énergie extrême, et H.E.S.S., pour les photons de très haute énergie, restent des instruments uniques, tandis que le projet Advanced Virgo devrait conduire, à l'horizon 2018, aux premières détections d'ondes gravitationnelles d'objets astrophysiques.

Sur le territoire national, les stations d'observation exploitent des créneaux scientifiques plus spécifiques et les évolutions instrumentales prévues assurent la

visibilité et la compétitivité des équipes françaises à l'échelle d'une dizaine d'années. On citera SOPHIE à l'OHP dans le domaine des exoplanètes, le spectropolarimètre Narval, avec des caractéristiques améliorées (NeoNarval), au TBL, et, à Nançay, la station LOFAR en voie d'extension (NenuFAR). Par ailleurs, le réseau temps-fréquence, moyen national de l'INSU, reste un domaine d'excellence français en pleine évolution.

Pour la prochaine décennie, la construction de l'E-ELT, télescope de 39 m, demeure la toute première priorité et doit se faire dans un délai compatible avec la compétition internationale. Le plan de financement actuel prévoit les instruments de première lumière MICADO et HARMONI, puis le spectrographe / imageur METIS. Parmi les instruments suivants, la priorité de notre communauté est le spectrographe multi-objets (MOS) pour lequel les équipes françaises, regroupées dans le consortium MOSAIC, sont prêtes à jouer un rôle majeur. Avec une moindre priorité, la communauté est aussi fortement intéressée par le spectrographe à haute résolution HIRES, et à plus long terme, par la possibilité de participer à haut niveau à l'instrument PCS d'imagerie directe des exoplanètes.

Dans la catégorie des nouvelles infrastructures de type TGIR, deux fortes priorités sont ressorties de cet exercice : l'observatoire des photons de très haute énergie CTA, qui a un potentiel de découvertes considérable, et l'entrée au « board » de l'interféromètre radio SKA, qui permettra des avancées majeures dans des domaines extrêmement variés. Le paiement du ticket d'entrée permettra à la France de participer pleinement à la phase de définition de la première phase du projet (SKA1). Par ailleurs, le projet NOEMA d'extension de l'interféromètre millimétrique de l'IRAM, engagé suite aux recommandations de l'exercice précédent, reste bien sûr une forte priorité et doit donc être mené à son terme.

La participation à deux projets majeurs de l'astronomie américaine est recommandée. En premier lieu, le LSST, qui imagera le ciel profond de façon répétée pendant 10 ans, est une opportunité sérieuse. L'IN2P3 du CNRS contribue fortement au projet et il est recommandé que cette contribution permette à des chercheurs INSU d'accéder au LSST. Une participation française au projet CCAT, télescope submillimétrique avec des capacités uniques en imagerie grand champ et spectroscopie à haute résolution, constituerait une excellente opportunité scientifique si un financement peut être trouvé.

Priorités pour de nouveaux moyens d'observation

Instrumentation E-ELT	L'E-ELT demeure la première priorité de la communauté. La participation au niveau co-I aux instruments de première lumière CAM et IFU, au niveau PI à l'instrument MOS, ainsi que la participation à l'instrument suivant METIS, sont une priorité. Priorité P0 : MOS (niveau PI) Priorité P1 : HIRES Projet à murir : PCS
Infrastructures de type TGIR	NOEMA reste un projet prioritaire de la communauté dans la catégorie des méso-équipements Priorité P0 : CTA Priorité P0 : ticket d'entrée dans SKA
Participation à des infrastructures multilatérales	Priorité P1 : LSST Priorité P1 : CCAT
Nouvelle instrumentation sur infrastructures existantes	Priorité P0 : WEAVE Priorité P1 : NenuFAR Priorité P2 : 4MOST
Projets à plus long terme dont il faut soutenir la préparation	Priorité P0 : MSE Priorité P1 : EST

En ce qui concerne l'instrumentation sur des infrastructures existantes, le spectrographe multi-objets WEAVE sur le WHT aux Canaries a émergé en première priorité. Il permettra, entre autres, l'accompagnement sol de la mission Gaia dans l'hémisphère nord. La priorité suivante est NenuFAR, un projet d'extension de la station française de LOFAR sur le site de Nançay, qui sera important dans le cadre du projet international LOFAR et de la préparation

de notre communauté à SKA. L'instrument 4MOST pour le télescope VISTA de l'ESO est enfin ressorti comme un projet ambitieux qui permettra le suivi sol de sources Gaia dans l'hémisphère sud, de façon complémentaire à MOONS en construction pour le VLT, et mérite d'être soutenu.

Par ailleurs, pour préparer le long terme, il convient de soutenir en priorité la phase d'étude actuelle de MSE, projet d'évolution du CFHT qui offre des perspectives scientifiques très intéressantes, et de tout mettre en œuvre pour que EST, le grand projet de télescope solaire européen, intègre au plus vite la liste ESFRI qui conditionne le financement d'études préparatoires.

• Grands moyens en astrophysique de laboratoire

Emmanuel Dartois

L'astrophysique de laboratoire constitue l'un des grands moyens indispensable pour assurer l'avenir d'un retour scientifique pertinent sur les quantités croissantes de données astronomiques. Elle requiert des instruments engagés dans la mesure, la synchronisation et la compréhension des phénomènes observés, des dispositifs de simulation expérimentale de la diversité physique et chimique spécifique aux environnements astrophysiques, et s'étend jusqu'à l'analyse de matière extraterrestre collectée. Les activités d'astrophysique de laboratoire, pour s'inscrire dans la durée, appellent à une véritable politique incitative sur les développements d'expériences en laboratoire au travers d'un financement récurrent du fonctionnement et du développement des dispositifs expérimentaux, et au couplage d'expériences ambitieuses sur les très grands équipements de la physique. L'INSU fournit un support de coordination en particulier par l'intermédiaire des programmes nationaux. Cette discipline nécessite un soutien lui permettant d'animer une interface interdisciplinaire forte avec d'autres communautés spécialistes, l'intégration de chercheurs à profil interdisciplinaire et de personnels techniques permanents spécialisés. L'INSU doit mener une politique inter Instituts active et en parallèle mener des actions structurantes tant au niveau national qu'europpéen.

• Moyens de calcul nationaux et européens

Jérémy Blaizot

Le calcul intensif est un outil essentiel de tous les champs de l'astrophysique. Ces cinq dernières années, le financement soutenu de GENCI, les investissements d'avenir, et la contribution des régions, ont permis à la France de mettre en place une infrastructure claire et robuste du HPC. Les moyens du HPC sont organisés sous la forme d'une pyramide, avec au centre GENCI et les trois centres nationaux (CINES, IDRIS, TGCC), en haut les centres européens PRACE, et à la base les mésocentres (notamment Equip@meso). Globalement, les chercheurs de la communauté INSU-AA sont extrêmement satisfaits de ces moyens qui répondent à la diversité de leurs besoins et de leurs pratiques. Certains points durs apparaissent néanmoins de manière récurrente, qui posent des questions de fond en termes de prospective. D'abord, nous constatons ce que l'on peut appeler la « crise du Tier-3 » : si la pyramide du HPC met en place avec succès les trois Tiers (0, 1, 2) qui permettent de réaliser les calculs, et donc de produire les données, elle n'inclut pas le dernier niveau où sont analysées et valorisées ces données. Les infrastructures locales qui ont été mises en œuvre pour répondre à ce problème atteignent déjà souvent le point de rupture et ne paraissent pas pouvoir tenir dans les années qui viennent avec le passage à l'ExaScale. Ensuite, l'évolution extrêmement rapide du HPC a entraîné une professionnalisation des activités du calcul, et il est de plus en plus difficile pour un chercheur d'être spécialiste et acteur de l'ensemble des éléments constituant la chaîne de production et de valorisation des données simulées. Nous proposons trois recommandations principales : (1) La constitution d'un groupe de réflexion qui devra proposer et évaluer des solutions coordonnées à la crise du Tier-3, (2) la création d'un comité *ad hoc* qui devra réfléchir à un soutien possible au calcul intensif en termes de Services d'Observation, et (3) mener des actions qui structurent la communauté autour des simulations numériques de manière pérenne.

• Centres de données nationaux

Bernd Vollmer

Les services de référence des centres de traitement, d'archivage et de diffusion de données sont le cœur du Service d'Observation SO5. Ces services doivent être pérennes sur le moyen et long terme (au minimum 10 ans) et doivent évoluer selon les besoins des utilisateurs. Recommandée par la dernière prospective INSU-AA, la structuration des services d'observation SO5 a été depuis menée à bien. Un élément central de cette structuration est la mise en place de centres d'expertise régionaux et de pôles thématiques nationaux, aux côtés du CDS, infrastructure de recherche, et pilier incontournable des bases de données françaises. Un centre d'expertise régional ou un pôle thématique national est labellisé par l'INSU avec une liste des services associés. Au cours d'une première campagne, cinq centres et quatre pôles ont été labellisés. La nouvelle structuration représente un grand changement et un effort important pour la communauté. Il est désormais nécessaire de pérenniser et consolider cette nouvelle structuration qui devra assurer le bon fonctionnement des services SO5. Déjà bien avancé, le processus de mise en place de centres d'expertise régionaux doit continuer sans relâche. La constitution des pôles thématiques nationaux représente une étape clé du processus de structuration. Leur mise en place opérationnelle doit être effectuée le plus tôt possible.

■ Lien avec la prospective spatiale

Cecilia Ceccarelli

L'astronomie a, dès le début de l'ère spatiale, grandement bénéficié des missions spatiales pour progresser. En parallèle, la synergie entre les missions spatiales et les activités de préparation et d'accompagnement au sol ont un rôle primordial dans l'optimisation de l'exploitation des données spatiales. En bref, l'astronomie spatiale est alimentée par l'astronomie au sol et *vice versa*.

S'appuyant sur les conclusions du séminaire de prospective 2014 du CNES, ce document fait l'état des lieux des activités spatiales françaises et

européennes à court et long termes, puis décrit les actions nécessaires pour préparer et accompagner l'exploitation optimale des missions spatiales prévues : observations au sol, mais aussi centres de données, expériences de laboratoire, moyens de calcul, développement de théories et de modèles, et mise en place de structures fédératrices et d'expertise comme les pôles thématiques.

Les laboratoires français de l'INSU Astronomie-Astrophysique (AA) sont impliqués dans de nombreuses missions spatiales, souvent avec des rôles majeurs, couvrant un vaste éventail de thématiques : Astronomie et Astrophysique (Gaia, CHEOPS, JWST, Euclid, SVOM, PLATO, ATHENA), Soleil-Héliosphère-Magnétosphère (TARANIS, Solar Orbiter, Solar Probe Plus), Système Solaire (Rosetta, MAVEN, BepiColombo, InSight, ExoMars, Mars2020, JUICE) et Physique Fondamentale (Microscope, ACES, eLISA). La majorité de ces missions fait partie du programme obligatoire ou d'exploration de l'ESA, les autres sont effectuées en partenariat avec la NASA et d'autres agences nationales (Allemagne et Chine) à une exception près.

Notre première recommandation est de maintenir et renforcer le lien sol-espace, en tenant compte de la diversité des communautés scientifiques impliquées. En particulier, le soutien de l'INSU aux activités de laboratoire, à la modélisation et au calcul liés aux missions spatiales est essentiel pour leur préparation et leur exploitation scientifique optimale.

On note que plusieurs missions spatiales dans le domaine de l'astrophysique (Gaia, Euclid, SVOM et PLATO) sont, dès leur origine, conçues pour être complétées par des observations au sol très consommatrices en termes de temps de télescope. L'INSU a un rôle clé à jouer pour assurer la partie sol à travers la mise en place de nouveaux moyens et/ou la sécurisation de l'accès à des moyens existants.

Par ailleurs, il est important d'assurer une force travail adaptée aux besoins des missions spatiales, tant en ce qui concerne la réalisation des instruments que les activités liées à leur préparation et leur accompagnement, en coordination avec le CNES.

En première priorité, le groupe a souligné la nécessité d'assurer le suivi sol des missions : (i) Euclid, avec MegaCam au CFHT pour l'imagerie multi-bandes de l'hémisphère nord et avec l'ensemble des sondages spectroscopiques ; (ii) Gaia, avec la participation aux relevés spectroscopiques pour l'archéologie galactique, en soutenant le projet WEAVE au WHT et MOONS au VLT, et, à plus long terme (2020-2025), MSE au CFHT ; (iii) SVOM, avec l'accès à au moins un télescope robotique à action rapide de la classe du mètre équipé d'une caméra panchromatique ; (iv) PLATO, pour lequel la communauté française devrait dégager rapidement une feuille de route pour le suivi sol nécessaire pour caractériser les planètes candidates.

En seconde priorité, le groupe recommande : (i) la mise en place d'un groupe de coordination autour du JWST dans le but d'assurer un rôle significatif des équipes françaises dans la constitution de « large programmes » ; (ii) l'accompagnement de TARANIS par des campagnes d'observations coordonnées sol/ballon/espace ; (iii) une action de structuration de la communauté française autour des exoplanètes qui seront découvertes par Gaia ; (iv) le soutien et le renforcement des pôles thématiques en accompagnement des missions du domaine Soleil-Héliosphère-Magnétosphère.

Enfin, il est recommandé que les communautés françaises se mobilisent autour de la préparation des missions ATHENA et eLISA.

■ Moyens du futur et R&D amont

Karine Perraut

Le mandat du groupe concerne la prospective des moyens d'observation sur la période 2025-2035 ainsi que les développements de R&D amont correspondants. Comme la prospective spatiale européenne est clairement structurée par le programme Cosmic Vision de l'ESA et des opportunités de vol sur des missions internationales et qu'au niveau français, la déclinaison de ces grands axes est pilotée par le CNES, il n'est pas dans les prérogatives de ce groupe de travail de discuter les recommandations issues du colloque de prospective du CNES tenu au printemps 2014. Les domaines d'observation accessibles uniquement depuis l'espace ne sont donc présentés que du point de vue R&D.

Moyens

Au sol, plusieurs instrumentations sont envisagées ou en discussion dans la communauté, avec des niveaux de choix qui diffèrent selon les domaines parce que la maturité de la réflexion ou de la technique diffère. Ainsi, certains projets correspondent à une étape aboutie, venant à la suite de démonstrateurs opérationnels dans lesquels la communauté française a eu un rôle majeur : c'est le cas de SKA phase 2 et des projets de distribution d'horloges. Dans le domaine des spectrographes multi-objets (MOS), une feuille de route est établie pour les premières phases de l'E-ELT. Celle-ci se base sur l'expertise en conception, implantation et exploitation d'instruments comme MUSE par la communauté française. Celle-ci doit continuer à coordonner ses efforts autour d'une telle instrumentation pour l'E-ELT. Pour la haute dynamique sur l'E-ELT et pour la résolution angulaire optique sub-milliseconde d'arc, le retour d'expérience des instruments récemment opérationnels (SPHERE) ou bientôt installés (GRAVITY, MATISSE) sera essentiel pour définir une feuille de route réaliste incluant des démonstrateurs en laboratoire et sur le ciel. Compte tenu de son engagement historique dans ces techniques de Haute Résolution Angulaire, la communauté française doit contribuer très activement à la définition de ces feuilles de route. Enfin, une réflexion est à mener autour de l'instrument MSE pour dégager les synergies possibles avec les autres MOS ou le domaine de niche d'une telle instrumentation.

Les laboratoires français de l'INSU en Astronomie et Astrophysique possèdent un fort potentiel de recherche technologique préparatoire aux futures grandes missions de la discipline, d'appui aux instruments en cours de réalisation et d'analyse de concepts nouveaux. Le paysage de la discipline en termes de R&D est assez marqué par plusieurs axes forts historiques, coordonnés au sein de communautés formellement organisées (AS-GRAM,

AS-HRA par exemple) ; ce pavage mérite d'être complété par une structuration large pour des technologies critiques. La communauté est très dynamique, dans des domaines très variés incluant toutes les facettes de l'optique, l'instrumentation plasma, les circuits électroniques dédiés, ou encore les lasers ultra-stables pour la métrologie de distance ou pour les horloges utilisées en temps-fréquence. Les développements sur les détecteurs apparaissent comme critiques pour nos contributions aux futures réalisations instrumentales de la discipline, sur l'ensemble des thématiques de l'astrophysique. Les grands axes de développement au sein des laboratoires concernent la plupart des domaines de longueur d'onde, des X- γ jusqu'au centimétrique voire au-delà (pour SKA), en passant par l'infrarouge et le millimétrique et sub-millimétrique (pour ALMA, NOEMA). Ils concernent également les mesures in situ, en particulier pour la physique spatiale (magnétosphère terrestre, vent solaire et planétologie). Dans ce contexte, l'accès à des centrales technologiques du type de celles du réseau RENATECH est essentiel pour les phases amont tandis que l'accès à des centrales technologiques dédiées assurant une production dans la durée est primordial pour l'implémentation de ces technologies dans des instruments livrables, que ce soit pour le spatial ou des grands instruments au sol.

Enfin, les laboratoires français occupent une place prépondérante dans le paysage international pour le développement instrumental, apparaissant souvent comme premiers investigateurs d'instruments novateurs. Cette particularité est aussi un moteur puissant de R&D et permet de fédérer des moyens dédiés qui peuvent être importants avec des supports du CNES, de l'ESA, de l'ESO ou des programmes cadres de l'union européenne.

Organisation

■ Plateformes régionales et stratégies territoriales des observatoires

Daniel Egret

Le groupe de travail a examiné la question des plateformes régionales et des stratégies territoriales des observatoires. Il a effectué un recensement des plateformes et équipements mutualisés, esquissé un bilan des financements obtenus dans le cadre des programmes d'investissement d'avenir (PIA), et étudié le positionnement stratégique des observatoires dans le cadre de leur région, ainsi que dans leur contexte inter-régional et européen. Le matériau principal de la réflexion a été le questionnaire élaboré collectivement par le groupe de travail, puis soumis aux directeurs d'unité et aux directeurs d'observatoire. Ce questionnaire a suscité 23 réponses, en provenance de 18 laboratoires et 11 OSUs.

Dans une première partie, le questionnaire a permis une remontée d'information sur les montants de financements régionaux et de site pour les quatre années 2010-2013. Les Labex, en particulier, apparaissent actuellement une source de financement régulier non négligeable pour la plupart des laboratoires, à l'exception de l'OCA. Il importe d'anticiper l'échéance 2019 des actions actuelles du PIA. Cela impliquera de tirer le bilan des Labex en cours et d'identifier les besoins de pérenniser ou non les structures de recherche mises en place. En région Ile-de-France on note le rôle positif du DIM ACAV qui fédère l'ensemble des laboratoires AA de la région parisienne.

Le questionnaire a permis ensuite d'effectuer le recensement des plateformes régionales et des équipements mutualisés, qu'il s'agisse de plateformes développées par nos laboratoires et ouverts à d'autres, ou qu'il s'agisse d'équipements lourds développés sur le site dont relève l'observatoire et auxquels nos laboratoires peuvent accéder.

A côté de la mise en évidence des stratégies autour de pôles instrumentaux forts dans le domaine spatial et dans le domaine de l'instrumentation Sol, les débats ont porté sur les évolutions nécessaires, mais difficiles, de la mutualisation et de la mise en place d'une organisation matricielle métiers/projets.

Il est recommandé à l'INSU AA de mettre en œuvre un portail des plateformes fournissant une cartographie et une visibilité accrue des ressources existantes.

Pour les moyens d'observation, les télescopes non nationaux remplissent des objectifs de niche et sont financés principalement par des moyens régionaux souvent adossés à des missions d'enseignement et de formation.

Le paysage actuel des moyens de calcul donne une forte place au dispositif des méso-centres, avec un rôle qui a été jugé bénéfique de l'Equipex Equip@Meso. Il est impératif que les OSUs continuent à être partie prenante de ces méso-centres et contribuent également à la valorisation de l'activité de calcul haute performance.

Dans le domaine des ressources documentaires, le portail BiblioPlanets est perçu comme un outil indispensable qu'il convient de préserver et d'ouvrir aux laboratoires interdisciplinaires. Les enjeux d'accès ouvert aux publications s'étendent désormais au partage des données de la recherche.

Le groupe a examiné l'implication régionale des observatoires dans la structuration des Services d'Observation (cf. la section suivante pour les recommandations générales sur l'organisation des SO). Globalement, il est recommandé une meilleure implication des OSUs (et aussi du CNAP) dans la structuration des Services d'Observation.

En ce qui concerne le positionnement des OSUs dans leur région et leur site, le retour apparaît très inégal, avec une grande diversité de situation. Des progrès significatifs sont à attendre dans ce

domaine : globalement, le poids des OSUs dans la politique régionale est encore trop faible, et leur positionnement au sein des universités, dans le cadre de l'autonomie accrue et des nouvelles politiques de site, reste à clarifier.

Pour élargir aux axes prioritaires des sites universitaires, l'AA devra accepter de privilégier les actions croisées avec d'autres disciplines et de développer ses relations industrielles.

Pratiquement tous les laboratoires disposant d'une composante instrumentale ont des relations avec des entreprises, majoritairement centrées sur les besoins en technologie des unités de recherche. Il conviendra d'amplifier le soutien national et local aux démarches de valorisation.

Les actions de diffusion de la culture et le lien science-société sont des points forts de notre communauté qui se révèle extrêmement active sur ce sujet. Ces actions rencontrent le soutien des partenaires institutionnels (collectivités locales, agences) et contribuent à asseoir la légitimité et la visibilité des OSUs dans leur environnement régional.

Il est encore prématuré de vouloir tirer un bilan complet des évolutions récentes vers des OSUs plus larges et plus structurés. Il semble toutefois que l'impact régional des OSUs ne soit pas encore à la hauteur des attentes, la situation étant toutefois assez contrastée d'une université ou d'une région à l'autre.

■ Organisation de la discipline

Marc Ferrari

Lors de ces 10 dernières années la discipline a vu son paysage fortement évoluer, tant au niveau de son mode de financement, qu'au niveau de son fonctionnement et de son organisation. Ces modifications importantes ont initié des premiers changements et restructurations au niveau de la discipline, tels que la mise en place de plateformes nationales ou la création des Services Nationaux d'Observation. Ces restructurations soulèvent également un certain nombre de questions d'organisation et requièrent une réflexion globale pour une meilleure organisation de la discipline dans le contexte de ces évolutions récentes. Cette réflexion concerne aussi bien la gestion des

ressources humaines scientifiques et techniques, sur les aspects Personnels et Métiers, que le rôle des Plateformes Technologiques et des Services d'Observation.

Suite aux recommandations de 2009, les Services d'Observation ont commencé à être réorganisés. Cette évolution doit être poursuivie, avec la mise en place de comités de coordination nationale, tout en veillant à prendre en compte les modalités de participation à leur gouvernance des OSUs et laboratoires concernés. Dans le même ordre d'idée, la mise en place de la charte des SNO, au niveau de AA, demande à être précisée en lien avec la communauté. Il est également apparu un déficit en termes de communication sur le rôle et l'importance des SOs pour la discipline et sur leur mode de fonctionnement, qui demandera à être corrigé par la mise en valeur des SOs et la rédaction d'un document de cadrage. Enfin, le lien entre la section AA du CNAP et la direction AA de l'INSU demanderait à être resserré sur le modèle de celui existant entre l'INSU et la section 17.

Au niveau des personnels et des RH, une bonne partie des recommandations de 2009 ont pu être mises en place. Le recours croissant à du personnel temporaire, déjà noté comme préoccupant lors de l'exercice précédent, est aujourd'hui très inquiétant notamment pour la pérennisation des savoir-faire et des métiers clés de la discipline. Cette situation conjoncturelle (baisse des emplois de la recherche et multiplication des programmes de type ANR), ne pourra être inversée qu'au niveau de la politique nationale de la recherche. Il est apparu, cette année encore, particulièrement important de considérer avec attention le recrutement des métiers en lien avec l'instrumentation, indispensables pour notre discipline, et de tendre vers la parité des recrutements dans les années qui viennent.

Dans un contexte très difficile pour l'organisation de la recherche, le rôle national de l'INSU pour notre discipline doit absolument être rappelé et renforcé. La nomination d'un chargé de mission dédié aux interactions avec les PIA, Horizon2020 (incluant les fonds FEDER et INTERREG), ANR, ainsi que les Universités, Régions et CPER semble essentielle au maintien d'une cohérence nationale. La mise en place d'un Comité Inter Instituts, sur le même modèle que le Comité Inter Organismes déjà

existant, permettrait d'aller dans le même sens et de coordonner les efforts dans l'ensemble des domaines de la discipline. Le renforcement du rôle national de l'INSU passe aussi par un suivi régulier, en dehors des exercices de prospective, des engagements pluriannuels, notamment pour les projets qui trouvent leur financement hors INSU. Ce suivi régulier des engagements, en lien avec les priorités scientifiques, demandera, à l'issue des exercices de prospective, l'établissement d'une analyse de trajectoire à 5 ans au niveau des ressources humaines et financières disponibles.

La mutualisation de ressources humaines ou techniques, bien que délicate car elle pose la question des métiers clés au cœur de l'activité technique des unités, semble être appréciée si celle-ci est faite en coordination avec les laboratoires et les OSUs concernés. Cette coordination pourrait passer, notamment pour la mise en place de plateformes, par une labellisation nationale qui définirait le périmètre et les responsabilités attendus pour une telle mutualisation. La mise en place d'un réseau de plateformes et le renforcement des liens avec la DT INSU sont également des pistes importantes pour la coordination des moyens technologiques de la discipline qu'il faudra suivre.

■ Enseignement et diffusion des connaissances

Geneviève Soucail

Bien qu'elle soit enseignée à tous niveaux, l'astronomie représente une discipline « rare » au sens ministériel, attirant un nombre limité d'étudiants et qui a parfois du mal à maintenir une place visible et pérenne dans les enseignements universitaires. Des regroupements de formations au niveau Master sont inévitables pour maintenir l'ouverture de certaines formations. Le bilan global des effectifs en Master et en Doctorat montre une bonne stabilité et une offre adéquate vis à vis des capacités d'accueil des laboratoires. Un des succès acquis depuis 2009 est la mise en place d'une coordination nationale entre les responsables de M2 en astronomie-astrophysique qui s'est concrétisée par la réalisation d'un serveur pour les propositions de stage ouvert à l'ensemble de la communauté. Cette coordination devra aussi s'étendre à la formation doctorale, même si les difficultés structurelles des

écoles doctorales rendent l'exercice plus complexe. La formation doctorale s'est alourdie et complexifiée sur les dernières années, à cause de la multiplication des financements disponibles et d'une perte de visibilité des recrutements de doctorants par les écoles doctorales. Pourtant les écoles doctorales représentent la structure adéquate pour accueillir et encadrer les doctorants dans leur formation et pour préparer leur insertion au-delà. L'avenir des docteurs dans la discipline reste néanmoins une source de préoccupation majeure qui doit être affrontée par tous les acteurs (doctorants, encadrants, directeurs de laboratoires et d'écoles doctorales). Le développement des formations numériques a fait un bond spectaculaire ces dernières années avec la mise en place des MOOCs (Massive On-line Open Courses) au niveau mondial. Ce type d'approche avait déjà été anticipé par le développement de formations à distance en particulier à l'Observatoire de Paris, mais l'engouement récent des universités pour les cours en ligne oblige la communauté astronomique à s'impliquer et à proposer de nouvelles initiatives. Depuis peu, des projets pédagogiques collaboratifs autour des nanosatellites ont été mis en place, fortement soutenus par le CNES. Le succès de ces projets pédagogiques, très formateurs pour les étudiants, peut s'étendre au-delà du milieu universitaire avec des possibilités techniques qui ouvrent des portes à une exploitation scientifique des nanosatellites.

L'enseignement de l'astronomie s'est très fortement intégré dans les programmes scolaires, de l'école au lycée. Il nécessite une formation de qualité des enseignants eux-mêmes afin qu'ils apportent une initiation solide à leurs élèves. C'est surtout auprès des rectorats que les initiatives de formation doivent se développer afin d'obtenir la meilleure visibilité, même si de nombreuses autres activités émergent un peu partout. De nombreuses activités sont aussi proposées par les chercheurs afin d'intervenir directement dans les classes ou en proposant aux classes des activités sur des instruments d'observation dédiés aux scolaires. Le rôle de la communauté est important pour éveiller les élèves vers nos disciplines et leurs questionnements, et le rôle de l'INSU pourrait être d'assurer une meilleure coordination en mettant en place un espace dédié

aux outils pédagogiques afin de mieux faire circuler les informations auprès des différents acteurs.

La diffusion de la science dans la société peut être abordée sous plusieurs angles. Tout d'abord, la communication « institutionnelle » permet de toucher le grand public à travers des professionnels de la communication. La plupart des structures de la recherche ont maintenant des chargés de communication. Dans notre discipline s'est mis en place depuis quelques années un réseau des chargés de communication ou des correspondants des laboratoires et des OSUs. Ce réseau est maintenant opérationnel, même s'il est encore très hétérogène et que les contours de la communication dans les OSUs dépassent souvent le cadre unique de l'astronomie. La question de l'organisation de la communication à destination de la presse reste un problème complexe dans lequel les OSUs ont des difficultés à être reconnus. Au niveau national, la nécessité d'un chargé de communication à temps

plein pour le seul domaine de l'astronomie apparaît comme une priorité essentielle. Enfin, les actions de diffusion des connaissances à destination du grand public et le lien science-société sont un point fort de notre communauté. Avec la montée en puissance des actions de diffusion de la science au sein des grands projets, notre discipline est extrêmement visible, elle peut s'appuyer sur le réseau des chargés de communication des OSUs pour valoriser les actions de diffusion liées à ces projets. Les grands centres d'observation astronomiques nationaux possèdent tous une structure d'accueil du public qui permet de toucher un nombre important de visiteurs. Ce couplage particulièrement réussi offre une diffusion de la science de grande qualité. Pour terminer, la communauté astronomique est très redevable à la SF2A, qui en tant que société savante, a joué un rôle croissant dans le support et la valorisation des activités de diffusion des connaissances et d'enseignement. Il est souhaitable que son rôle fédérateur soit maintenu.



Colloque de prospective Astronomie et Astrophysique de l'INSU (du 13 au 10 octobre 2014 à la presqu'île de Giens). ©CNRS/A.Teston

Coordination éditoriale

Anthony Teston

Impression

CNRS

Conception

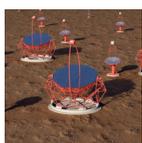
Trait de caractère(s)

Maquette

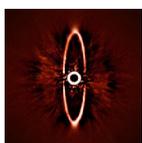
Anthony Teston

Mars 2015

■ Légendes de la mosaïque de couverture



Vue d'artiste du projet CTA qui a pour objectif la construction d'un observatoire des rayons gamma de haute énergie, ouvert à une communauté large afin de sonder l'univers non thermique à haute énergie. © CTA/G. Pérez, IAC (SMG)



Disque de poussière entourant l'étoile proche HR 4796A dans la constellation australe du Centaure. Cette image témoigne de la formidable capacité de SPHERE à réduire l'éclat de l'étoile très brillante – un atout essentiel pour détecter et étudier des exoplanètes dans un proche avenir. © CNRS/J.-L. Beuzit

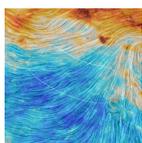


Image de la zone du ciel proche du pôle Sud galactique (observations à 353 GHz de Planck-HFI). Elle informe sur l'émission de la poussière galactique et l'orientation du champ magnétique galactique (via la polarisation de la lumière). La région en pointillés est celle observée par les expériences Keck array et BICEP2. © ESA/collaboration Planck



Formation des molécules et des (nano)grains de poussière dans les enveloppes d'étoiles évoluées de type géantes rouges. Échelles de température et de densité dans les différentes zones correspondant à la nucléation et à la croissance des grains. © NANOCOSMOS

Prospective

Institut National des Sciences de l'Univers



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES DE L'UNIVERS

Centre National de la Recherche Scientifique

3, rue Michel-Ange

75794 Paris Cedex 16

<http://www.insu.cnrs.fr>