

ASTRONOMIE
ASTROPHYSIQUE

Rapport de prospective
mi-parcours

2006



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



observa

simulation

céles

réseau

Sommaire

- **Résumé des recommandations** p. 5
- **Introduction : objectif de l'exercice** p. 13
- **Moyens lourds : état des lieux deux ans après le colloque de prospective de la Colle sur Loup** p. 15
- **Proposition de thèmes prioritaires pour le CNRS relatifs à l'astronomie** p. 19
- **Moyens lourds existants** p. 21
- **Projets sol prioritaires à 5 ans** p. 35
- **Recherche spatiale en astronomie : état des lieux et besoins** p. 49
- **R&D en astronomie : état des lieux et besoins** p. 55
- **Simulation numérique** p. 59
- **Observatoire Virtuel** p. 61
- **Les moyens du futur** p. 63
- **Rapports des structures d'évaluation et d'accompagnement** p. 67
- **Interfaces avec les autres disciplines** p. 85
- **L'Europe de l'astronomie** p. 91

smologie

planét

Résumé des recommandations

Deux ans après le colloque de prospective de La Colle sur Loup, la communauté des astronomes français s'est fixé pour objectif un examen à mi-parcours de la discipline, portant plus particulièrement sur l'état des lieux et l'évolution des moyens mi-lourds de l'astronomie au sol, ainsi que sur un nouvel examen des priorités concernant les projets à cinq ans.

Cet exercice a été motivé par une évolution importante du contexte de préparation de certains projets futurs (ELT, SKA, Astronomie en Antarctique), ainsi que des changements structurels profonds dans le domaine de la recherche (mise en place de l'ANR, des PRES et des pôles de compétitivité ; évolution des structures au CNRS ; participation croissante des projets de l'astronomie dans les programmes-cadres de l'Union Européenne).

En juillet 2005, la Commission Spécialisée Astronomie (CSA) de l'INSU a initié un exercice de réflexion concernant l'ensemble des moyens lourds existants et les priorités de la discipline pour les projets futurs à une échelle de cinq ans. Le 22 novembre 2005, une réunion de discussion de la CSA élargie a permis, sur la base de rapports présentés en séance, de définir une première liste de constats et de recommandations qui ont été ensuite étudiés par les programmes nationaux, les actions spécifiques et les

groupes de travail. Ces instances ont présenté l'état de leur réflexion devant la CSA les 1er et 2 février 2006. On trouvera ci-dessous un bref résumé des principales recommandations issues de l'exercice de prospective.

Il faut insister sur le fait que le présent exercice n'est pas un nouveau rapport de prospective complet, comme l'a été celui de La Colle sur Loup. Il s'agit d'un exercice à mi-parcours qui concerne essentiellement les moyens lourds de l'astronomie au sol. De plus, l'accent a été mis sur les évolutions intervenues depuis 2003. Ainsi, la question des priorités thématiques n'a pas été traitée dans son ensemble, mais abordée seulement dans le contexte de l'affichage de priorités scientifiques par la direction du CNRS. Le programme spatial n'a pas été discuté, mais présenté pour information, et les recommandations émises concernent surtout les interfaces CNES-INSU. La question de la modification des structures de la recherche au niveau national et au niveau régional n'a pas été développée, compte tenu du caractère encore évolutif de la situation. Enfin, le problème important de l'évolution des personnels et des métiers a été évoqué dans les discussions, mais ne figure pas dans le présent rapport car il nécessite des compléments d'enquête qui seront menés au cours de l'année qui vient.

Moyens lourds existants

L'examen des moyens lourds existants a montré que dans l'ensemble, les recommandations émises lors du colloque de La Colle sur Loup ont été bien suivies, en particulier en ce qui concerne les points suivants :

- Priorité affichée à l'exploitation du VLT-VLTI ;
- Soutien affiché au T193, au TBL et au RTN pour l'exploitation des instruments programmés (SOPHIE, NARVAL) ou en cours (FORT), mais pas de soutien pour de nouveaux développements instrumentaux sur ces moyens nationaux au-delà de l'exploitation de ces instruments ;
- Arrêt de l'engagement française à EISCAT au terme du contrat d'exploitation (2006).

A l'issue du présent exercice de mi-parcours, les recommandations sont les suivantes :

- La communauté réaffirme la priorité affichée à l'exploitation du VLT-VLTI, de l'IRAM et du CFHT. La participation française au VLT-VLTI s'avère satisfaisante tant pour l'instrumentation que pour l'exploitation. Suite aux recommandations de son comité d'audit et à l'intention exprimée par les instances de renouveler son contrat jusqu'en 2014, l'IRAM voit sa compétitivité assurée jusqu'à cet horizon au moins. Quant au CFHT, les

instruments MEGACAM (associé au programme CFHTLS), WIRCAM et ESPaDOnS assurent sa compétitivité jusqu'à l'horizon 2012.

- En ce qui concerne le T193, le TBL et le RTN, un changement de statut devra intervenir à l'issue des phases d'exploitation programmées (SOPHIE au T193, NARVAL au TBL) ou en cours (FORT au RTN). Ces facilités, qui bénéficient actuellement du statut de moyen national, deviendront des stations d'observation gérées par les établissements dont elles dépendent, toujours sous la tutelle de l'INSU. Cette recommandation s'inscrit dans la continuité des conclusions de La Colle sur Loup en 2003. Elle prend acte de la mise en place progressive des OSU, dont la vocation première est le maintien et l'exploitation des services d'observation, dans le paysage de l'astronomie française au cours des dernières décennies.
- L'exploitation scientifique du T193, du TBL et du RTN, équipés respectivement des instruments SOPHIE, NARVAL et FORT, constitueront une priorité de la discipline pendant toute la phase d'exploitation de ces instruments.

• *Résumé des recommandations*

Réseau National Temps-Fréquence

Le statut de moyen national doit être conservé pour cette activité qui correspond à un pôle d'excellence des équipes françaises. L'examen des besoins devrait s'effectuer sur une base pluriannuelle. La communauté d'astronomie fondamentale est encouragée à préparer la mise en place d'une structure de coordination interdisciplinaire (par exemple de type Action spécifique), dans la perspective d'une évolution éventuelle vers un programme national.

Télescopes ESO

Depuis 2003, on constate une amélioration de la participation française dans l'exploitation des instruments du VLT-VLTI, ainsi qu'une forte implication instrumentale dans le programme VLT-VLTI/2.

La communauté réaffirme l'importance du Conseil scientifique français de l'ESO (ancien Comité français de l'ESO) qui doit assurer une représentation des PNs et de l'ASHRA.

Lors du colloque de La Colle sur Loup, une recommandation avait été faite concernant l'aide aux utilisateurs (allusion à de possibles « Centres d'aide aux utilisateurs », à l'exemple du JMMC ; labellisation de tâches de service...). Une réflexion sur ce thème devrait être menée au sein de ce Comité mais aussi au sein des Programmes nationaux (PN) et Actions spécifiques (AS).

CFHT

La compétitivité du CFHT est assurée jusqu'à la fin de l'exploitation de MegaCAM, WIRCAM et ESPaDOnS, qui devrait se poursuivre jusqu'à l'horizon 2012. Il est donc essentiel de maintenir son potentiel technique pendant toute cette période, de façon à assurer le retour scientifique maximum de cette exploitation.

Il est demandé aux PN de poursuivre l'étude du cas scientifique du projet VASAO, ainsi que des autres instruments qui pourront être envisagés à cette échelle de temps.

La communauté scientifique encourage par ailleurs les instances et la Direction du CFHT à discuter avec les partenaires actuels sur l'avenir du CFHT.

TBL

Avec l'instrument NARVAL, dont la mise en service est prévue en 2006, l'exploitation du TBL va se

focaliser sur des programmes dédiés, centrés sur le magnétisme stellaire. Cette évolution assure la compétitivité du TBL pendant la phase d'exploitation de NARVAL, d'une durée nominale de 5 ans.

Pendant cette phase d'exploitation, le budget du TBL devra être maintenu. L'exploitation par ticket modérateur, qui a donné satisfaction depuis plusieurs années, devra être poursuivie. Le partenariat avec le Canada est à encourager.

A l'issue de la phase d'exploitation de NARVAL, le TBL devra changer de statut, et passer de celui de moyen national à celui de station d'observation gérée par l'OSU OMP.

OHP

Le domaine d'excellence de l'OHP est la spectroscopie stellaire à très haute résolution, comme l'a illustré en 1995 la découverte au T193 de la première exoplanète, 51 Peg. La mise en oeuvre de SOPHIE, prévue pour 2006, assurera la compétitivité du T193 pendant toute la phase d'exploitation de l'instrument, dont la durée nominale attendue est de 5 ans.

Dans la logique des conclusions de La Colle sur Loup, le changement de statut du T193 devra intervenir à l'issue de la phase d'exploitation de SOPHIE, le T193 devenant station d'observation de l'OSU OAMP. Le maintien du ticket modérateur est recommandé pour l'exploitation des télescopes.

Le T152 est nécessaire au programme R&D ELPOA jusqu'à l'horizon 2008. Par ailleurs, les programmes R&D de haute résolution angulaire ont un intérêt à l'accès instrumenté que représente l'OHP.

Un télescope robotisé à l'OHP pourrait trouver une justification scientifique, en particulier pour l'accompagnement de programmes spatiaux mais le site de l'OHP n'apparaît pas le meilleur choix.

Enfin, il est demandé à la direction de l'OHP de chiffrer dès que possible les coûts en matériel et en personnels associés au plan OHP-Avenir.

Activités OA en France

La communauté apporte un fort soutien à la poursuite et au développement des activités de HRA en France qui constituent depuis une vingtaine d'années un domaine d'excellence de la discipline. Elle soutient la mise en place d'un GdR OA, dont les tâches devront être définies précisément par rapport à celles de l'ASHRA, du GT-ELT et des PN. Des

mesures d'incitation (coloriage, affichage) devraient être prises pour favoriser le retour d'un chercheur, si possible senior, et l'accompagnement par un recrutement ITA, notamment pour renforcer la composante OA dans le ELT-DS de l'Union Européenne.

IRAM

L'atelier IRAM de décembre 2003 et la revue du comité d'experts de 2004 ont confirmé l'excellence des programmes scientifiques de l'IRAM, tant à Pico Veleta qu'au Plateau de Bure jusqu'à l'horizon 2014. L'exploitation des télescopes de l'IRAM est assurée jusqu'en 2014 dans la perspective du renouvellement du contrat actuel jusqu'à cette date.

La communauté rappelle aux tutelles qu'il est extrêmement urgent de trouver une solution au problème de l'accès au site. Elle réaffirme son soutien à l'implication effective de l'IRAM dans l'ALMA Regional Center (ARC) européen.

Nançay

En 2003, la communauté avait reconnu la compétitivité du NRT avec les programmes-clé du projet FORT jusqu'à l'issue de leur phase d'exploitation. Suite aux recommandations de La Colle sur Loup, des progrès sensibles ont été enregistrés dans la gestion et l'opération du NRT : ouverture du comité des programmes à des représentants des programmes nationaux ; initiatives visant à une plus grande ouverture extérieure ; automatisation accrue de l'instrument.

Depuis le colloque de La Colle sur Loup, on note également une évolution très positive des activités de la station de Nançay, suite à plusieurs actions : l'atelier R&D radio de novembre 2003, l'insertion dans le Design Study SKA du thème PCRD (avec notamment le développement du prototype d'antenne EMBRACE à Nançay et l'accueil du Project Scientist de SKA). L'expérience CODALEMA a permis l'ouverture de la station à la communauté des astroparticules.

La communauté considère que le changement de statut du RT devra intervenir à l'issue de la phase d'exploitation de FORT, dans la logique des conclusions de La Colle sur Loup, le RTN devenant station d'observation de l'Observatoire de Paris.

La communauté encourage la mise en place d'une réflexion d'un mécanisme de financement des programmes du RT, dans la phase après -FORT, par les PNs via un ticket modérateur, comme dans le cas

des télescopes optiques.

Il est demandé aux PNs d'expertiser la qualité scientifique des programmes-clé qui seront proposés par la Direction du RT. La communauté recommande la tenue d'un workshop international sur l'avenir du RT comme cela a été fait dans le cas de l'IRAM.

A l'avenir, la participation au projet SKA devrait constituer la priorité de la station de Nançay. D'autres participations (FASR, éventuellement LOFAR) ou d'autres projets (par exemple la poursuite de CODALEMA) pourront être envisagés, en fonction de la qualité des projets présentés et des moyens humains et matériels disponibles.

THEMIS

Une évolution positive est à noter depuis le colloque de La Colle sur Loup ; la Direction et les conseils ont été renouvelés, et un certain nombre d'améliorations ont été apportées aux instruments ; le tip-tilt a été mis en place en 2006, et les premières observations l'utilisant ont été réalisées en 2006. Cependant des problèmes demeurent : le facteur de pression reste faible, et le personnel résident est insuffisant.

La communauté scientifique recommande en priorité l'exploitation maximale de THEMIS jusqu'au terme de son contrat d'exploitation (2009). Elle encourage la communauté à une plus grande utilisation de THEMIS et recommande au PNST d'œuvrer dans ce sens. Elle soutient la demande formulée par l'équipe de THEMIS d'un postdoc astronome résident.

Le contrat d'exploitation de THEMIS s'achève en 2009. Toute perspective d'avenir au-delà de cette date nécessitera impérativement une mobilisation plus active de la communauté solaire et un projet qui s'insère dans une perspective européenne.

EISCAT

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la communauté avait souhaité une forte réduction de la participation française à l'issue du contrat en cours qui s'achèvera en 2006.

Suite à cette recommandation, des négociations ont été menées par l'INSU en 2005, sur la base des propositions de la communauté française concernée. Elles ont conduit au retrait de la France de l'association EISCAT à l'échéance du contrat actuel (dec. 2006). A partir de 2007, le temps d'observation EISCAT se fera sur la base de l'achat de temps sur des programmes scientifiques précis, à hauteur maximale de 150 k€/an.

• *Résumé des recommandations*

SuperDARN

Il faut noter une bonne productivité de l'équipe française, pourtant de taille réduite, dans ce moyen lourd international. Depuis 2003, l'équipe concernée a bénéficié d'un recrutement.

Sur le plan instrumental, l'installation de deux radars supplémentaires est en cours au Dôme C, ce qui complètera la couverture en longitude de la région polaire australe.

HESS1

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la participation des astronomes français avait été jugée trop faible.

La situation a évolué de manière positive mais doit encore être améliorée. Les communautés PCHE et PNC sont encouragées à maintenir et accentuer leur participation dans ce projet, notamment dans la perspective de HESS2.

CDS

Le CDS est depuis de nombreuses années un centre de données de référence et de documentation bibliographique pour les astronomes au niveau international ; ce mode de fonctionnement est devenu incontournable pour la recherche contemporaine. Le CDS joue également un rôle majeur dans la mise en place de l'Observatoire Virtuel astronomique, à la fois dans l'International Virtual Observatory Alliance (IVOA) et en tant que support à OV-France.

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la communauté avait déjà manifesté son fort soutien à l'ensemble des activités du CDS ainsi qu'à ses orientations vers l'Observatoire Virtuel. Ce soutien s'est concrétisé par une attribution de postes, et par la mise en place de l'Action Spécifique « OV-France ». Compte tenu de ses responsabilités croissantes au niveau international, et de la montée en puissance des activités liées à l'OV, il importe de maintenir au CDS tous les moyens nécessaires pour qu'il puisse rester présent au meilleur niveau.

Projets sol prioritaires à 5 ans

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la communauté des astronomes avait apporté un très fort soutien à ALMA, ainsi qu'à l'implication française à l'instrumentation VLT-VLTI/2. Ces recommandations se sont traduites par la mise en place de l'Action Spécifique ALMA (ASA), ainsi que par la création d'une ligne VLT-VLTI dans le budget TGE du CNRS.

La communauté renouvelle sa priorité à ces deux projets majeurs de la discipline. En parallèle, outre le développement du projet ELT (Extremely Large Telescopes), elle note l'émergence de deux nouveaux chantiers qui sont encore en phase de définition, mais qui apparaissent particulièrement prometteurs à moyen et long termes : la préparation du projet radio SKA (Square Kilometer Array) et la préparation de projets d'astronomie au Dôme C.

Les deux premiers projets ont fait l'objet de Design Studies du FP6 dans lesquelles les équipes françaises sont particulièrement actives ; le troisième a bénéficié de la mise en place d'un réseau européen (ARENA) à PI français. Dans les trois cas, des groupes de travail ont été mis en place par l'INSU pour encourager et coordonner les initiatives au niveau national.

ALMA

Le projet ALMA reste une priorité forte de la discipline qui a reçu l'appui de l'ensemble des programmes concernés. Il faut noter la participation active de l'IRAM et de plusieurs laboratoires français dans sa réalisation.

La communauté apporte son soutien à l'Action spécifique ALMA (ASA) dont l'action est nécessaire pour optimiser la participation française à ALMA, et en particulier pour la définition des programmes scientifiques Early Science. Elle souhaite par ailleurs que l'IRAM puisse s'impliquer effectivement dans la mise en place de l'ALMA Regional Center (ARC).

ELT

La communauté note l'évolution très positive du concept ESO vers un projet à la fois ambitieux et réaliste, qui est maintenant proche du concept souhaité lors du colloque de La Colle sur Loup. Les cas scientifiques vont nécessairement évoluer et il est demandé aux programmes nationaux de suivre de près ces évolutions.

L'implication des équipes françaises est importante dans les activités liées aux ELT, grâce en particulier aux actions de R&D qui ont été entreprises et aux

participations françaises dans le Design Study ELT du 6ème PCRD. La proposition d'installer un centre ELT en France nécessite une réflexion approfondie, aussi bien sur les objectifs visés que sur les modalités.

La communauté apporte son soutien au GT-ELT et l'encourage à poursuivre et développer les actions entreprises, en particulier pour harmoniser les actions vers le 7ème PCRD. Une coordination étroite avec le futur GdR OA est souhaitable.

VLT/VLTI-2

La première génération d'instruments sur le VLTI est un succès auquel la France a largement contribué. Tout naturellement, les laboratoires français souhaitent s'impliquer au meilleur niveau dans la deuxième génération d'instruments.

Trois projets restent aujourd'hui en présence (Matisse, Vitruv, Gravity). Matisse et Vitruv, qui intéressent une large communauté, mais aussi Gravity, plus focalisé, sont très soutenus et apparaissent complémentaires. Tous ne seront peut-être pas sélectionnés, mais il est trop tôt pour afficher aujourd'hui des priorités qui ne pourront être émises qu'à l'issue des phases A actuellement en cours, et quand les phasages des projets seront connus.

OHANA

La communauté scientifique apporte son soutien à la phase II qui doit impérativement être poursuivie. Elle recommande à l'équipe en charge d'OHANA de trouver le juste équilibre entre l'exigence d'un retour scientifique de cette phase II (d'ailleurs déjà engagée), et la nécessité d'avancer rapidement les phases de R&D.

Malgré l'intérêt affiché des sociétés opérant les télescopes, le site de Hawaii n'est pas le seul site possible pour une éventuelle phase III, qui ne pourrait s'envisager qu'après un chiffrage complet des coûts et des forces nécessaires, et donc une évaluation soigneuse du rapport science/coût, et après avoir tiré tous les enseignements de la phase II. Il reste que cette opération prépare le futur de l'interférométrie au-delà du VLTI, et que les opérations de R&D qui sont et seront menées sont essentielles pour la réalisation des futurs réseaux de grands télescopes.

SKA/LOFAR

La communauté scientifique félicite les équipes concernées pour l'évolution très positive de ce

dossier depuis le colloque de La Colle sur Loup. Elle note la participation active de l'Observatoire de Paris dans la phase de définition du concept (SKA-DS puis SKA-ES, accueil du prototype EMBRACE à Nançay, Project Scientist à Paris), et de la France dans les structures internationales. Elle encourage les équipes scientifiques et techniques à réfléchir dès à présent aux possibilités d'implication de la France au-delà de la phase EMBRACE.

LOFAR est un projet à très court terme qui devrait commencer ses premières observations en 2007 ; il est souhaitable que la communauté française puisse s'impliquer scientifiquement dans l'exploitation de ce nouvel instrument, bien que la France ne participe pas directement à sa réalisation. Les résultats attendus de LOFAR puis de SKA pourraient amener à reconsidérer des projets à plus long terme qui visent des objectifs scientifiques similaires.

ATST

La communauté scientifique constate qu'une participation de la France à ATST nécessiterait une mobilisation de la communauté française au sein d'une coordination européenne forte. Des évolutions au niveau européen ont récemment eu lieu avec la création d'un consortium européen en physique solaire. L'investissement des astronomes solaires français y est encouragé.

FASR

La communauté scientifique note favorablement la participation de Nançay dans l'étude d'un prototype BF, qui s'appuie sur une petite communauté bien identifiée mais qui pourrait se réduire sensiblement en l'absence de recrutement. Le projet ayant pris du retard, la construction d'un tel prototype pourrait être envisageable en 2008 - 2009.

La mise en service de FASR reposera la question du maintien du radiohéliographe de Nançay au-delà du support à STEREO, c'est-à-dire après 2010. Celui-ci ne pourrait s'envisager que dans une perspective internationale.

Astronomie au Dôme C

Cette activité a connu une très forte montée en puissance depuis le colloque de La Colle sur Loup. Celle-ci a été marquée par les étapes suivantes : colloque « Astronomie au Dôme C » à Toulouse en juin 2004 ; mise en place d'un groupe de travail ADC (« Astronomie au Dôme C ») ; soutien aux études de qualification du site ; soutien à la constitution d'un

• *Résumé des recommandations*

dossier de réseau européen à PI français, sélectionné en 2005 (ARENA – « Antarctic Research, a European Network for Astrophysics ») ; soutien à une demande de financement ANR, acceptée en 2005.

La communauté approuve les recommandations du groupe de travail ADC :

- (1) finir la caractérisation du site d'ici 2 ans ;
- (2) envisager de petites opérations qui pourront prendre le relais des mesures de caractérisation du site ;
- (3) mettre sur pied une coordination institutionnelle ; (4) Définir une « feuille de route » à l'horizon 2007 (ouverture de l'année polaire internationale, IPY).

L'intérêt des équipes françaises a été confirmé par les programmes nationaux, qui ont tous noté l'intérêt majeur du site, et les initiatives dans le domaine optique-infrarouge se situent désormais dans un contexte européen avec le programme ARENA (sélectionné dans le cadre Large Research Infrastructure Coordinated Activities). La réflexion doit se poursuivre, au sein du groupe ADC comme au sein des programmes nationaux, alimentée par les résultats des opérations en cours, pour définir des perspectives à moyen et long termes.

HESS2

La communauté scientifique note la grande qualité des performances de HESS qui concerne une petite communauté d'astronomes bien identifiée et particulièrement active. Il est recommandé à cette communauté de se saisir des opportunités offertes par l'ouverture du projet à une communauté plus large.

ANTARES-km³

Comme il a été mentionné à La Colle sur Loup, le projet dans sa version actuelle (0,1 km³) a peu mobilisé les astronomes qui y voyaient peu de perspectives astrophysiques. La situation pourrait changer avec la préparation de la phase 1 km³ qui pourrait permettre la détection des nouvelles sources gamma très énergétiques découvertes par HESS.

VIRGO

Conformément aux recommandations de La Colle sur Loup, la communauté scientifique encourage une implication accrue des physiciens de l'INSU au projet VIRGO.

AUGER

La communauté scientifique note que malgré sa faiblesse, la communauté astronomique a crû grâce aux postes fléchés et à la CID 47. Elle note aussi favorablement l'implication nouvelle des radioastronomes dans le projet de Gerbes cosmiques (CODALEMA) mené à Nançay en collaboration avec des physiciens des astroparticules.

EDELWEISS-2

La communauté scientifique confirme son soutien au projet EDELWEISS-2, qui constitue à ce jour notre meilleure chance de succès pour la recherche directe de matière noire.

Physique des grands lasers

La communauté scientifique renouvelle son intérêt pour ce domaine de recherche qui dispose de moyens accrus et qui présente des implications potentielles dans de nombreux domaines de l'astrophysique.

Recherche spatiale en astronomie

Le programme spatial joue un rôle majeur dans le paysage de l'astronomie française. Les investissements, en moyens matériels et humains entraînent une importante production scientifique. Face aux vagues massives de départs à la retraite des personnels, l'astronomie spatiale française ne pourra garder sa place au niveau mondial que si elle est soutenue par un effort suffisant de renouvellement des postes chercheurs et ITA.

Le programme spatial français est structuré autour du programme scientifique obligatoire de l'ESA et du programme national du CNES qui inclut les missions

moyennes, les projets autour du vol en formation, les micro-satellites et la participation instrumentale à d'autres missions (hors CNES ou ESA). Côté ESA, on a assisté depuis 2003 à l'émergence d'un nouveau programme (Aurora) susceptible de servir de cadre à un programme d'exploration de Mars. Côté CNES, il faut mentionner la mise en place du CERES, comité en charge de la coordination scientifique pour les sciences de l'Univers auprès du CPS à expliciter en ttes lettres et de la Direction scientifique.

Les recommandations de la communauté sont les

suivantes :

- Assurer le maintien des compétences françaises en recherche spatiale par un renouvellement suffisant des personnels chercheurs et ITA ;
- Encourager un plan global des personnels et des métiers qui concerne l'ensemble des projets sol et espace (une telle initiative est déjà en cours et devrait être généralisée) ;
- Assurer une meilleure interaction avec les centres de compétence technique du CNES et les réseaux de compétence du CNRS, et encourager un meilleur couplage entre les deux types de réseaux ;
- Encourager une meilleure coopération avec le CNES en matière de R&D.

R&D en astronomie

Les activités de R&D sont très bien coordonnées en ce qui concerne la haute résolution angulaire, grâce à l'action spécifique ASHRA. Ce n'est pas le cas des autres thématiques (domaines radio, hautes énergies, détecteurs, électronique, composants, logiciels...). Des actions structurées existent néanmoins (activités radio à Nançay, DCMB pour les matrices de bolomètres...), dont certaines concernent également le CEA et l'IN2P3, mais l'ensemble des actions manque de coordination et de visibilité.

Depuis 2004, le groupe de travail R&D a entrepris auprès des laboratoires le recensement des activités et des besoins en R&D, dans la perspective de rédiger un plan stratégique, version mise à jour de celui élaboré en 2000 à la suite du colloque de Boussens. Au-delà de l'état des lieux, ce plan a pour objectifs de définir les grandes orientations nécessaires à la préparation des grands projets futurs, ainsi que les

moyens nécessaires pour y parvenir (ligne R&D à l'INSU, concertation avec les partenaires concernés : CNES, ESA, programmes de l'Union Européenne...).

Pour être efficace, le plan stratégique doit faire l'objet d'une mise à jour régulière. Une réflexion est nécessaire pour mettre en place une structure capable d'assurer ce suivi, et aussi d'expertiser les demandes d'opérations de R&D soumises à la communauté scientifique. Il est proposé d'étoffer le groupe de travail actuellement en charge de l'examen des opérations de mise à niveau instrumentale en y adjoignant quelques membres (en particulier des représentants de l'ASHRA, d'OV-France, de l'ASSNA et du CNES), de façon que toutes les disciplines relevant de la R&D y soient représentées. Pour être efficace, cette structure, qui reste à définir plus précisément, devrait rester limitée à une dizaine de personnes, et son travail devrait être suivi par un chargé de mission à l'INSU.

Simulation numérique

L'action spécifique ASSNA (Simulation Numérique en Astrophysique) est née en 2001 pour répondre aux besoins liés au développement croissant des techniques de simulation dans la recherche en astrophysique. Son rôle est d'une part de structurer la communauté, d'autre part de favoriser les efforts coopératifs nécessaires pour rassembler les forces. Les activités de l'ASSNA (ateliers, appels d'offres) ont permis de faire émerger deux grands projets, HORIZON et ESTER. A plus petite échelle, des actions se sont mises en place ou sont en cours de développement autour de la MHD et de la physique des plasmas du système solaire.

La communauté déplore cependant la stagnation durable des moyens de calcul académiques nationaux face à la politique de jouvence

pluriannuelle ambitieuse de nos concurrents à l'échelle européenne et internationale. Cette situation limite de facto l'ambition scientifique et l'attractivité des équipes françaises dans ce domaine.

Dans le futur, les efforts de l'ASSNA porteront sur une réflexion concernant les moyens lourds nationaux et européens. Un rapprochement avec l'AS OV est également souhaitable, l'objectif étant la mise à disposition de codes et de résultats de simulation via l'Observatoire Virtuel.

Par ailleurs, la communauté s'inquiète de l'insuffisance des moyens lourds de calcul numérique au niveau national, qui défavorise sensiblement les chercheurs français par rapport à leurs collègues étrangers.

• *Résumé des recommandations*

Observatoire Virtuel

Suite aux recommandations de La Colle sur Loup l'action spécifique AS OV a été mise en place en janvier 2004, pour répondre à la demande croissante liée au rôle de plus en plus important pris par les bases de données dans la recherche en astrophysique.

OV-France est un outil pour la science : il a pour but d'assurer l'accès transparent aux données et l'intégration des informations (et pas seulement leur distribution). Dans ce domaine, l'astronomie est en avance sur les autres disciplines. L'AS OV a développé ses activités sur la base de l'expérience et des moyens du CDS. Ses actions de coordination de la communauté ont entraîné une forte mobilisation des

laboratoires, d'où une participation visible aux actions internationales et l'apparition de nombreux projets de services OV très divers dans les laboratoires.

L'AS OV doit maintenant consolider son activité en focalisant les actions au sein des laboratoires, en concertation avec ceux-ci et avec les programmes nationaux, et en favorisant la mise en place de centres thématiques (éventuellement distribués géographiquement) autour de créneaux bien identifiés dans la perspective en particulier de l'action de coordination européenne Euro-VO Data Centre Alliance qui vient d'être sélectionnée et dont la responsabilité est assurée par le CNRS.

Les moyens du futur

L'avenir à l'horizon 2015-2025 sera dominé, pour l'astronomie au sol, par les très grands projets ELT, SKA et Dôme C qui ont connu une forte évolution depuis La Colle sur Loup, et pour l'astronomie spatiale par le programme « Cosmic Vision » de l'ESA, dont l'appel d'offres est attendu dans le courant de l'année 2006.

En parallèle, des projets de taille intermédiaire devront être définis pour répondre à des objectifs spécifiques ou préparer les programmes scientifiques des très grands projets du futur. L'ASHRA avait engagé une réflexion sur les perspectives offertes par les monopupilles et les interféromètres. Cette réflexion devra être reprise dans la perspective de l'après-VLTI.

L'Europe de l'astronomie

On constate une très forte montée en puissance de l'implication des équipes françaises dans les actions du 6ème PCRD; une école de formation du CNRS s'est tenue à La Rochelle en novembre 2004 pour faire le bilan des actions en cours et définir un plan d'action. Une petite cellule Europe va être créée à l'INSU et des moyens ont déjà été mis en place pour aider les proposant à la préparation et à la gestion des dossiers. Parmi les points positifs, il faut aussi mentionner l'acceptation par l'Union Européenne du réseau ASTRONET créé à l'initiative de la France et visant à offrir un espace de concertation entre les

puissances européennes de l'astronomie, à établir un document de « Science Vision », suivi d'une « roadmap » à 15-20 ans pour l'astronomie européenne, et à initier des actions conjointes entre les pays.

Il est nécessaire d'optimiser au niveau de la communauté française la préparation au 7ème PCRD. La communauté soutient fortement l'initiative de l'INSU visant à organiser un Séminaire national fin 2006.

Introduction : objectif de l'exercice

Les exercices de prospective revêtent une grande importance pour la communauté des astronomes. Ces exercices sont l'occasion d'une large réflexion sur l'état des lieux (résultats scientifiques, moyens disponibles, environnement) de la discipline, sur les grandes questions de l'astronomie à court et à moyen termes, et sur les outils nécessaires pour y répondre. Les recommandations issues de cet exercice très « bottom-up » servent ensuite de référence d'une part pour l'attribution des moyens humains (eg au CNRS/INSU : coloriage sections, messages CNAP, BDI, post docs, ITAs) et financiers (eg CSA) et d'autre part pour la promotion des priorités de la discipline auprès des instances.

Le dernier exercice a été réalisé en 2003 et a conduit à un nombre de recommandations fortes qui ont globalement été suivies comme ce bilan le montrera. Dans certains cas, il n'était pas possible à l'époque de formuler des recommandations et le besoin d'une nouvelle réflexion, à mener un peu plus tard, avait été identifié. Aussi, de nouveaux projets, de nouvelles opportunités sont apparus ou ont rapidement évolué depuis 2003 (eg Concordia, ELTs, SKA).

Depuis 2003, un certain nombre de changements ou d'évolutions structurels ont par ailleurs eu lieu, qui ont un impact fort sur le fonctionnement de la recherche. Au niveau national, il s'agit d'abord de la mise en place de l'ANR, puis de celles à venir des PRES et autres pôles de compétitivité. En 2005, année de création de cette agence, plus de 5 Meuros ont été attribués à des projets d'astronomie. En rythme de croisière,

on peut donc s'attendre à ce que le budget distribué à la communauté soit de 2 à 3 fois plus élevé que celui de la division AA de l'INSU (hors TGE). Les évolutions structurelles au sein du CNRS et dans le cadre général de la Loi d'orientation conduisent aussi à envisager des nouvelles opportunités (eg interdisciplinarité, élaboration des priorités) qu'il faut saisir. Au niveau européen, la montée en puissance des financements CE modifie de manière importante le niveau des ressources propres des laboratoires et des équipes de la discipline (jusqu'à présent les ressources propres étaient « limitées » essentiellement aux projets spatiaux). Enfin, le budget prévu pour les nouvelles infrastructures de l'astronomie au sol entre dans la gamme 500 Meuros ou plus. Les moyens (humains et matériels) disponibles au niveau européen (ou international) resteront limités par rapport à nos ambitions ; il importe donc de les utiliser le plus efficacement possible, avec des objectifs partagés par le plus grand nombre d'acteurs. Il est donc indispensable que les pays européens s'accordent sur une vision scientifique commune et sur un plan de programmation associé commun.

Dans un tel contexte, il est encore plus nécessaire d'avoir au niveau national une vision claire et partagée de l'avenir de la discipline que nous devons porter au niveau national, européen et international.

Ces évolutions et ces nouveaux besoins rendent nécessaires un bilan à mi parcours de notre prospective et une réactualisation des recommandations de notre communauté. C'est l'objectif du présent exercice.

Moyens lourds : état des lieux, deux ans après le colloque de La Colle sur Loup

En mars 2003, la communauté des astronomes français réunie à La Colle sur Loup s'est interrogée sur l'astrophysique qu'elle souhaitait mener dans les 5 à 10 ans à venir. En particulier, elle a passé en revue les moyens lourds (nationaux et internationaux) existants, et a fait des propositions concernant leur évolution. Elle a étudié les grands projets susceptibles d'émerger à une échéance de 5 ans. Dans un contexte budgétaire difficile, elle a réaffirmé sa priorité au programme d'interférométrie millimétrique ALMA, aux programmes spatiaux COROT et PHARAO, ainsi qu'au programme spatial d'exploration de Mars. La communauté a réaffirmé la priorité liée à l'exploitation des grands équipements

sol et spatiaux, et en particulier l'instrumentation de 2ème génération du VLT/VLTI. Enfin, elle a reconnu et encouragé l'émergence de nouveaux outils : la simulation numérique et l'Observatoire Virtuel.

Plus de deux ans après le colloque de La Colle sur Loup, comment la situation a-t-elle évolué ? Comment ces recommandations émises à l'issue du colloque ont-elles été suivies d'effet ? L'objectif de cette introduction est de passer en revue ces évolutions, en mettant particulièrement l'accent sur les moyens lourds, nationaux et internationaux, de l'astronomie au sol.

Les grandes avancées scientifiques en 2003-2005

De nombreuses avancées majeures ont été réalisées par des astronomes français dans des domaines en fort développement. Quelques exemples sont cités ci-dessous, à titre d'illustration.

La recherche et l'étude des exoplanètes connaissent depuis dix ans un développement croissant. Parmi les résultats des équipes françaises, on mentionnera notamment la première détection directe d'une exoplanète par optique adaptative avec VLT-NACO, la première détection d'une planète de type terrestre par la méthode de micro-lentilles gravitationnelles, et la découverte de l'évaporation d'une exoplanète géante à proximité immédiate de son étoile. Toujours dans le domaine de la planétologie, les équipes françaises se sont trouvées au premier plan de l'exploration de Saturne et de Titan (avec la mission Cassini et la descente de Huygens sur Titan le 14 janvier 2005) et de l'exploration de Mars (avec la mission Mars Express, en opération depuis janvier 2004).

Depuis 2003, le télescope solaire THEMIS a fourni, grâce à ses capacités de spectro-polarimétrie, plusieurs résultats de premier plan : spectre de polarisation observé au bord du Soleil (« second spectre solaire »), mesures de champ magnétique dans les protubérances et dans les taches. L'imagerie multi-longueurs d'onde (des rayons X au domaine radio) et la modélisation des structures magnétiques ont permis d'étudier les configurations magnétiques éruptives et les conditions de déclenchement des

éjections de masse coronale. Les équipes françaises se sont trouvées au premier plan de l'exploration des plasmas solaires et magnétosphériques avec l'exploitation des données SOHO/CLUSTER.

Dans le domaine de la physique stellaire, la mise en service du VLTI et de l'instrument Espadons au CFHT a déjà apporté plusieurs résultats remarquables. On notera en particulier la mesure de la pulsation de quatre Céphéides avec l'instrument VINCI du VLTI, et la première détection d'un champ magnétique au cœur du disque d'accrétion d'une protoétoile au CFHT.

En ce qui concerne la physique des galaxies, on notera l'observation par spectroscopie infrarouge au VLT, de galaxies très distantes, de redshifts compris entre 6 et 10, à partir d'une sélection photométrique et en utilisant l'amplification gravitationnelle. Ces observations ont permis les premières études de la formation d'étoiles dans des galaxies proches de l'âge sombre.

Enfin, dans le domaine de la cosmologie, le sondage profond réalisé au VLT avec VIMOS a permis la mise en évidence d'une large population de galaxies vieilles de 9 à 12 milliards d'années. Au CFHT, les premiers résultats du Supernova Legacy Survey (SNLS) apportent des contraintes sur l'énergie noire grâce à la mesure de la distance d'un grand nombre de supernovae très éloignées de type Ia.

• *Moyens lourds : état des lieux*

Evolution des moyens nationaux existants

En ce qui concerne les télescopes de 2m nationaux, il était apparu à La Colle sur Loup que le T193 et le TBL, équipés respectivement des instruments SOPHIE et NARVAL, resteraient compétitifs pendant la durée d'exploitation de ces instruments. L'accent était aussi mis sur la nécessité de ne pas développer de nouvelle instrumentation après SOPHIE et NARVAL sur ces télescopes. A l'occasion du présent exercice de prospective, un message clair était demandé quant à la durée d'exploitation des

instruments qui vont entrer en opération.

Dans le cas de l'OHP comme dans celui de la station de Nançay, le rapport de prospective de La Colle sur Loup préconisait la mise en route rapide d'un effort de réflexion à plus long terme, pour préparer un plan définissant l'avenir de ces sites au-delà de la phase d'exploitation des instruments existants ou à venir. Il fallait faire le bilan de ces réflexions.

Evolution des moyens internationaux

En mars 2003, Themis sortait d'une période de crise. Un bilan devait être dressé, après deux ans de mandat de la nouvelle direction et la mise en service d'un système tip-tilt. La compétitivité de cet instrument reste à examiner, de même que l'implication des équipes françaises, et son avenir au-delà de 2009.

En ce qui concerne le CFHT, la communauté avait conclu à sa forte compétitivité, une fois muni des instruments MEGACAM, WIRCAM et ESPADONS. Elle avait aussi affirmé son attachement à une participation française à un télescope de la classe 30m, jugée à priori plus importante qu'une nouvelle instrumentation au CFHT. La mise en œuvre d'une telle recommandation est difficile, dans un contexte international mouvant, et compte tenu de l'évolution récente de la position de l'ESO vis-à-vis du projet OWL. La question de l'avenir du CFHT au-delà de 2008 reste posée de façon cruciale.

Vis-à-vis de l'IRAM, la communauté avait affiché un fort soutien. Suite au rapport d'un comité d'experts tenu en décembre 2003, et compte tenu du glissement du projet ALMA, il apparaît que l'IRAM gardera une position de pointe jusqu'à l'horizon 2014 au moins. La place de l'IRAM au sein du projet ALMA restera à préciser, de même que la politique scientifique de l'IRAM au-delà de 2014, dans le contexte de l'exploitation d'ALMA.

En ce qui concerne EISCAT, la communauté avait manifesté le souhait de réduire fortement sa participation au-delà de 2006. Il fallait examiner la manière dont cette volonté s'est traduite dans les faits.

En ce qui concerne les projets de haute énergie, la priorité avait été donnée à HESS, assortie d'un constat sur la faible participation des astronomes français. Cette tendance s'est-elle corrigée ?

Perspectives à cinq ans

Dans la logique de son soutien à l'accompagnement scientifique des gros investissements, la communauté avait mis la priorité sur l'instrumentation optique et infrarouge du VLT/VLTI. Le plan d'instrumentation VLT-2 est maintenant bien connu, ainsi que les participations françaises correspondantes. Dans le cas du VLTI-2, des participations sont possibles sur plusieurs instruments, et des choix seront peut-être nécessaires. La communauté devra se prononcer sur ses priorités, par l'intermédiaire des programmes nationaux.

A La Colle sur Loup, la communauté avait par ailleurs

affiché le souhait d'une meilleure coordination des activités radio, dans la perspective d'une participation française future à l'un des grands projets internationaux (LOFAR, FASR et/ou SKA).

Plusieurs actions importantes ont été menées à la suite de ces recommandations. Grâce à un important travail de coordination mené autour de la station de Nançay, la communauté française a obtenu une participation non négligeable dans le Design Study SKA de l'Union Européenne (FP6). Un groupe de travail SKA a été mis en place par la CSA pour organiser la préparation à l'exploitation scientifique de SKA. Il reste à analyser comment l'avenir de la

station de Nançay peut se construire autour de ce projet et au-delà.

Enfin, le rapport de prospective avait reconnu l'émergence des activités liées à la simulation numérique et à l'Observatoire Virtuel. Dans le cas de la simulation numérique, cette activité avait bénéficié de la mise en place d'une Action spécifique juste avant 2003 ; une Action spécifique liée à l'Observatoire Virtuel a été créée après le colloque. Dans les deux cas, les ASs sont destinées à coordonner les efforts sur le plan national.

Un autre domaine en pleine émergence est celui de l'astronomie en Antarctique. En 2003, les caractéristiques du site étaient encore mal connues, et, à l'exception du LUAN (spécialisée dans l'étude de

site), il n'existait pas d'équipe structurée et porteuse d'un projet concret. La situation s'est modifiée dès l'automne 2003, avec l'intérêt de plus en plus affiché de partenaires étrangers pour l'utilisation de la station franco-italienne Concordia. La communauté française s'est organisée, via les programmes nationaux et par le biais d'un colloque tenu à Toulouse en juin 2004. Depuis, l'étude de site a progressé, notamment grâce à la première campagne d'hivernage, et plusieurs pré-études d'expériences futures ont vu le jour. Un groupe de travail a été mis en place par la CSA pour assurer la coordination de ces activités au niveau français. Un objectif majeur du présent exercice est de dresser un bilan des actions menées depuis deux ans et de tenter de définir une feuille de route pour les années à venir.

Evolution des structures d'accompagnement et d'évaluation

Depuis une dizaine d'années, l'astronomie s'est dotée de structures d'évaluation destinées à permettre, au sein de chaque sous-discipline, de fédérer la communauté concernée, évaluer les moyens existants et définir la prospective. Sur le plan thématique, six programmes nationaux « pavent » la discipline : PNC (Programme National Cosmologie), PNG (Programme National Galaxies), PNPS (Programme National Physique Stellaire), PCMI (Physico-Chimie du Milieu Interstellaire), PNP (Programme National Planétologie) et PNST (Programme National Soleil-Terre). Parallèlement, des actions spécifiques, plus axées sur les outils et

les méthodes, se sont mises en place : ASHRA (AS Haute Résolution Angulaire), ASSNA (AS Simulation Numérique en Astrophysique), OV-France et ASA (AS ALMA) ; les deux dernières d'entre elles ont été créées suite aux recommandations du colloque de La Colle sur Loup. Enfin, au cours des deux dernières années, la CSA a mis en place un certain nombre de groupes de travail destinés à coordonner les actions dans des domaines jugés stratégiques ou en émergence : R&D, ELT (Extremely Large Telescopes), ADC (Astronomie au Dôme C), SKA (Square Kilometer Array), Exoplanètes.

Elaboration du rapport de prospective

L'exercice a été initié par la CSA lors de sa réunion du 8 juillet 2005. Celle-ci a travaillé sur la base de rapports concernant l'ensemble des moyens sol nationaux et internationaux existants, sur les projets sol à cinq ans, sur la recherche spatiale en astronomie, et sur l'astronomie européenne. Les groupes de travail et les actions spécifiques ont été également sollicités. Suite à la présentation de l'ensemble des rapports le 22 novembre 2005 devant la CSA, élargie aux responsables des programmes nationaux et actions spécifiques, un premier document a été envoyé aux programmes nationaux,

comportant notamment une liste de questions sur lesquelles ceux-ci ont été invités à se prononcer. Les instances d'évaluation et d'accompagnement (programmes nationaux, actions spécifiques, groupes de travail, CNAP, Section 17 du Comité National) ont été invités à exprimer leur point de vue lors de la réunion des 1er et 2 février 2006, qui a permis à la CSA élargie d'affiner les conclusions du rapport. Puis, en juin 2006, le document a été transmis aux Directeurs de laboratoire pour commentaires et validation.

Propositions de thèmes prioritaires pour le CNRS relatifs à l'astronomie

La prospective de La Colle sur Loup avait identifié les origines des planètes et de la vie, ainsi que les origines de l'Univers, comme thèmes de recherche majeurs des années à venir. En 2005, le CNRS a lancé une réflexion sur les priorités scientifiques de

l'organisme. Les deux thèmes « Origines des planètes et de la vie » et « Astroparticules : des particules à l'Univers » ont donc été proposés à la direction du CNRS.

Origine des planètes et de la vie

Le thème des Origines, et plus précisément celui de l'origine des planètes et de la Vie figure parmi les questions astrophysiques les plus brûlantes d'aujourd'hui. Cette question, formulée de manières très différentes selon les époques et les contextes, est déclinée aujourd'hui par les scientifiques de façon précise : Comment les systèmes planétaires se forment-ils et évoluent-ils? Quelles sont les caractéristiques des systèmes planétaires extra-solaires ? Quels sont les conditions physico-chimiques et les processus à l'origine de la vie ? Existe-t-il des traces de vie extraterrestre passée sur des planètes du système solaire ? Quelles signatures de vie pouvons-nous détecter dans les systèmes planétaires extra-solaires ?

La progression rapide et continue des outils d'investigation (observations astrophysiques, étude des disques protoplanétaires et du milieu interplanétaire, recherche d'exoplanètes, exploration de la Terre, du Système Solaire et du milieu interstellaire, expériences de physico-chimie et de biologie en laboratoire, modélisation) permet de penser que ces questions trouveront des réponses ou au moins d'importants éléments de réponse, dans les années à venir. Etant donnés les enjeux, qu'ils soient scientifiques ou simplement liés à la curiosité humaine, les "Origines des planètes et de la vie" représentent aujourd'hui un thème prioritaire dans la plupart des communautés scientifiques et constituent un domaine particulièrement concurrentiel au niveau mondial.

Le thème "Origines des planètes et de la vie" a été proposé pour figurer parmi les priorités du CNRS. La communauté française et le CNRS en particulier, possèdent en effet des atouts forts pour se situer à la pointe de ce domaine naturellement interdisciplinaire qui fait appel aux compétences des physiciens et chimistes de la matière, des chimistes, des biologistes, des physiciens des Sciences de la Terre et des astrophysiciens. Si ces recherches sont très fondamentales, elles font fortement appel à des développements technologiques très innovants, qui peuvent servir d'autres communautés ou même le

domaine industriel. Le CNRS possède le grand avantage d'avoir les compétences dans chacune des questions clé, leur mise en commun pouvant apporter une valeur ajoutée considérable.

Le nombre moyen annuel de publications sur cette thématique est d'environ 1850 sur les six dernières années, en forte augmentation depuis dix ans. Les français sont bien placés, avec une contribution à l'ensemble des publications (6%) égale à celle du Royaume Uni et légèrement inférieure à celle de l'Allemagne (8%), les Etats-Unis étant loin devant (39%). Les investissements des différentes communautés nationales sur cette thématique, présente parmi les objectifs scientifiques de la plupart des grands projets sols, et de nombreux projets spatiaux, sont très importants. En France, la thématique est mise en avant par plusieurs programmes de l'INSU (PNP, PNPS, PCMI) et par le GdR Exobiologie, et intéresse une communauté de plus de 200 personnes, travaillant dans des UMR du CNRS. Elle a reçu un fort soutien de l'ANR en 2005. Les travaux interdisciplinaires avec physiciens, chimistes et biologistes devraient se poursuivre et s'intensifier avec la mise en priorité par le CNRS. Un des plus grands atouts actuels est de jouer un rôle fort dans l'instrumentation liée à ces thèmes (recherche d'exo-planètes, exploration du système solaire, du milieu interstellaire). Mais la communauté française possède aussi les compétences théoriques et en simulations numériques pour aborder la question de la formation des systèmes planétaires de manière complète, ainsi que le savoir faire pour développer des programmes expérimentaux dédiés en laboratoire.

Par ailleurs, les origines des planètes et de la vie fait partie du petit nombre de questions qui suscitent un vif intérêt auprès du grand public, des étudiants, et en milieu scolaire. Le fort impact des résultats tant dans le monde scientifique que dans les médias contribue à l'attractivité de la science et au rayonnement du CNRS.

La création d'un Programme Interdisciplinaire du

• *Thèmes prioritaires*

CNRS sur la thématique « Origine des planètes et de la vie » a été recommandée par le Conseil Scientifique du CNRS, programme qui sera placé sous la direction de la Directrice scientifique adjointe

« astronomie-astrophysique », Anne-Marie Lagrange. Un colloque fondateur sera organisé en décembre 2006.

Astroparticules : des particules à l'Univers

La thématique « Astroparticules » a été affichée comme prioritaire par le Contrat d'Action Pluriannuel (CAP) CNRS-Etat 2002-2005, parmi cinq grands secteurs interdisciplinaires. La dénomination « Astroparticules » a une connotation sociologique, et recouvre en fait deux domaines, perçus comme totalement distincts par les astrophysiciens, la cosmologie et l'astrophysique des hautes énergies, mais qui ont la particularité de pouvoir servir un cadre dans lequel les physiciens des particules et les physiciens théoriciens se servent de l'Univers comme laboratoire pour atteindre des énergies qui ne seront jamais atteintes sur Terre. Autour de ces thèmes centraux se sont toutefois associés de nombreux autres thèmes (tests des lois fondamentales, en particulier de la gravité, astrophysique nucléaire,...) qui font de ce domaine un espace de rencontres de nombreuses autres disciplines de la physique (physique nucléaire, physique quantique, matière condensée,...). La communauté concernée en France regroupe maintenant environ 400 chercheurs, expérimentateurs, observateurs ou théoriciens, répartis dans une cinquantaine de laboratoires.

En cosmologie, les grandes questions posées concernent par exemple la nature de l'énergie noire (nouvel état de la matière ou modification de la gravité), la nature de l'inflation au-delà du paradigme générique, la nature de la matière noire abordée par des recherches directes et indirectes, et enfin la question de la réionisation et de la formation des premiers objets de l'Univers, qui est un thème émergent. Du côté de l'astrophysique des hautes énergies, on peut citer la question de l'origine des rayons cosmiques, de leur accélération et de leur propagation ; les interactions des particules à très haute énergie telles qu'on peut les déduire de l'étude des sources cosmiques à très haute énergie ; la recherche des limites de la relativité générale ; la formation des trous noirs et les processus dynamiques en jeu au voisinage des trous noirs ;

l'existence de nouveaux états de la matière aux densités et énergies extrêmes ; la modélisation des explosions de supernovae et la synthèse des éléments lourds.

Pour répondre à ces grandes questions, la communauté « Astroparticules » s'appuie sur des projets spécifiques au sol et dans l'espace, mais aussi sur des moyens non dédiés qui sont de plus en plus perçus à juste titre comme des compléments indispensables dans la perspective d'une étude multi-messagers et multi-longueurs d'onde des sources de haute énergie. Dans le domaine de la cosmologie, la France joue un rôle de leader dans la mission spatiale Planck, et dans les projets grands champs (MEGACAM, WIRCam). Elle est aussi impliquée dans le projet VLTI-2 X-shooter d'étude des éruptions gamma. Elle occupe également une position très favorable dans le domaine de la détection directe de matière noire avec le projet Edelweiss et ses suites envisagées. Pour les hautes énergies, une stratégie multi-messagers s'est développée ces dernières années, avec l'ouverture de plusieurs fenêtres dans les domaines des ondes gravitationnelles (projets Vigo puis LISA), des neutrinos de haute énergie (ANTARES), et des rayons cosmiques de très haute énergie (Observatoire Pierre Auger). A côté de ces projets pionniers, largement exploratoires, la stratégie est de couvrir le mieux possible le spectre électromagnétique, en particulier dans le domaine des hautes énergies, avec XMM-Newton, INTEGRAL, GLAST, HESS, ...

L'organisation des communautés scientifiques concernées par la mise en place d'un programme interdisciplinaire du CNRS s'appuyant sur le programme national de cosmologie et le GdR Phénomènes Cosmiques de Hautes Énergies, ainsi que d'une commission interdisciplinaire pour le recrutement de chercheurs est traitée plus loin (chapitre « Interfaces avec les autres disciplines »).

Moyens lourds existants

Réseau Temps-Fréquence et télémétrie laser

Réseau Temps-Fréquence

Le réseau Temps-Fréquence au niveau national apparaît comme une petite composante d'un thème où les activités recherche sont prédominantes, particulièrement à Paris. Cela se traduit dans la composition des équipes dont la composante SPU est totalement minoritaire sur l'ensemble des trois laboratoires concernés (Observatoire de Paris, de Besançon et OCA), même si elle reste majoritaire à Grasse et Besançon.

Les stations des trois centres sont équipées d'horloges atomiques qui participent à la réalisation et la maintenance des références nationales de temps et contribuent aux temps atomique international réalisé par le BIPM. La station de Paris est le site primaire en France pour la collecte et la comparaison entre laboratoires et réalise (i) l'UTC(OP) comme référence nationale maintenu à ± 60 ns de UTC (ii) le TAF avec une stabilité de 3×10^{-15} sur des durées de l'ordre du mois, à partir de la comparaison d'un ensemble d'horloges situées sur le territoire français. Il s'agit là de l'activité service national en métrologie du temps qui est adossé à une importante activité de recherche fondamentale sur étalons primaires de fréquence, la métrologie des fréquences micro-ondes, le transfert de temps.

Depuis le colloque et le rapport de la Colle sur Loup on doit noter des concrétisations majeures sur des projets discutés en 2003 :

- l'installation opérationnelle à Paris d'un système de transfert de temps 2 voies par satellite (TWSTFT) (un tel système était déjà en fonctionnement à Grasse/Calern) ;
- l'utilisation de ces données de transfert temps pour les stations de Grasse/Calern et de Paris par le BIPM ;
- l'emport d'une station T2L2 (transfert de temps par lien laser) sur JASON2 décidée en 2005. C'est la concrétisation d'une longue phase de développement et de reports successifs, mais qui nécessite un effort important de la part des équipes de Grasse et du CNES pour livrer la version de vol en moins de deux ans.

Le soutien dans les moyens mi-lourds de l'INSU assure la maintenance de base pour les fonctionnements et l'évolution techniques des stations horaires (principalement pour Grasse et Besançon car la partie parisienne est englobée dans la métrologie nationale au travers du LNE). Cela couvre les horloges, le transfert de temps GPS et radioélectrique et le fonctionnement informatique

des équipes. Cette base est indispensable pour la continuité du service national et permet également grâce à la qualité des références de temps de développer des activités de recherche. Les tubes Césium ont une durée de vie limitée (5 ans avant une première réparation et ~ 12 ans au total) et il faut tabler sur le remplacement d'une horloge du réseau tous les ~ 3 ans, soit 60 k€

Télémétrie laser

Laser Lune : le télescope LL154 du Plateau de Calern La CSA a donné son feu vert (en demande NOUvelle) en 2004, pour une rénovation opto-mécanique du télescope sur 2004-05 et 06; celle-ci est en cours avec la DIVision Technique et l'OCA.

Le budget d'environ 1 Meuros de l'opération, nommée T2000, provient en partie de la Région PACA et du CNES avec un double financement obtenu en 2001 pour de l'infrastructure (bâtiment) et de l'équipement (télescope, lasers, optiques et électroniques). Le budget provient également de l'INSU (2004 et 2005), du CNES (soutien sur cette opération en 2005 et 2006), et de l'OCA (2006) ; une nouvelle demande Région PACA a été montée en 2005 et a dû être réitérée en 2006.

LL154 du PdC

Le passé nous enseigne que des résultats obtenus aujourd'hui avec les grands équipements en service n'avaient pas forcément été prévus dès le départ. De ce point de vue, la versatilité du télescope LL154 du Plateau de Calern, une fois rénové dans le cadre de l'opération T2000, offrira de nouvelles performances en termes de vitesse, stabilité, précision et exactitude du pointé. Ce sera donc très important pour la période 2010-2020, en particulier pour des projets de sondes dans le système solaire portant horloge et système laser actif (pour la navigation, le positionnement, la physique fondamentale, etc.).

Les recommandations émises concernant la télémétrie laser, en 2002-03 lors de la restructuration de l'OCA et du renouvellement du Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale (GRGS), ont été suivies ; elles portent sur les points suivants :

- la recherche de financements et le montage d'une profonde rénovation des infrastructures et des équipements (projet T2000) du PdC avec la Région PACA, l'INSU et la Division Technique, le CNES, et l'OCA :

- le télescope LL154 est une station gérée par l'OCA sous tutelle de l'INSU. Elle devrait le rester, mais son programme scientifique s'élargira à partir de 2007-08, après la rénovation en cours.

• Moyens lourds existants

- Le télescope ne sera plus limité à la seule télémétrie laser Lune, et prendra en compte la mesure et la détection d'objets spatiaux : les satellites artificiels, puis d'autres cibles, les débris spatiaux, etc... et la possibilité de tirer, en aveugle, sur des sondes interplanétaires.
- un soutien affiché du CNES, notamment autour du LL154, devenu l'instrument phare et unique de Métrologie Optique (avec l'arrêt définitif du laser satellites : télescope de 1m),
- le développement de campagnes internationales avec la station laser ultra mobile, en partenariat [bilatéral en 2002 (France US), Europe en 2003,

etc.].

Recommandations

Le statut de moyen national doit être conservé pour cette activité qui correspond à un pôle d'excellence des équipes françaises. L'examen des besoins devrait s'effectuer sur une base pluriannuelle. La communauté d'astronomie fondamentale est encouragée à préparer la mise en place d'une structure de coordination interdisciplinaire (par exemple de type Action spécifique), dans la perspective d'une évolution éventuelle vers un programme national.

Télescopes de l'ESO

VLT

La communauté européenne a, grâce au VLT, le leadership pour l'astronomie optique/IR. La première génération d'instruments VLT profite d'améliorations régulières : nouveaux réseaux VPH sur FORS1, FORS2, VIMOS, nouveaux détecteurs sur FORS2, ISAAC, NACO, VISIR, SINFONI et FLAMES/GIRAFFE, nouveaux modes sur FORS2 (va-et-vient), NACO (masque de phase), NAOS (étoile laser). Pour achever l'instrument de première génération, il reste à installer CRIRES (construit par l'ESO) au foyer Nasmyth d'ANTU (UT1), derrière un système d'optique adaptative MACAO, et à achever le programme d'optique adaptative qui implique désormais NAOS/CONICA et SINFONI. L'ESO suit aujourd'hui une approche "OA intégrée", regroupant les différentes activités dans ce domaine de manière cohérente et il est donc question de spécialiser une unité, avec la mise en place en particulier d'un M2 actif utile à MUSE et Hawk-I, et préfigurant les développements pour les ELTs, d'un système de 4 étoiles laser, de systèmes d'OA dédiés (GALACSI pour MUSE, GRAAL pour Hawk-I, et d'un module potentiel pour le foyer Cassegrain).

En ce qui concerne la participation française au VLT, le rapport de La Colle sur Loup constatait que la participation française aux observations sur les télescopes du VLT au tout début de son fonctionnement était inférieure à la contribution nationale. Il remarquait aussi que la situation allait évoluer, au fur et à mesure que de nouveaux instruments, dont ceux à forte participation française, seraient installés. En fait, l'examen des périodes P63 (1999) à P71 (2004), montre que la France, avec 13.7%, est au troisième rang des demandes VLT acceptées, après l'ESO (14.7%) et

l'Allemagne (18,7%), si l'on compte tous les co-Is. De plus, les articles avec premier auteur français sont ceux qui incluent les collaborateurs les plus internationaux (affiliation des co-auteurs).

VLTI

Le VLTI s'est équipé de trois instruments, VINCI, MIDI et AMBER. Il représente le meilleur interféromètre au monde dans le domaine optique/IR. Il faut noter la forte participation française à ces trois instruments existants avec un retour scientifique croissant (plus de 40 articles publiés). On constate une pression croissante à l'OPC pour l'utilisation du VLTI. La mobilisation des équipes françaises est également très importante pour la construction des instruments VLTI-2 (voir chapitre « projets sol prioritaires à 5 ans », paragraphe « Instrumentation VLT/VLTI-2 »).

Télescopes de La Silla

Un groupe de travail, La Silla 2006+ a redéfini les priorités du site de La Silla pour les années à venir, considérant l'excellence du site, la pression encore haute sur les télescopes correspondants, la complémentarité avec les unités du VLT (observations préparatoires pour des programmes VLT : spectroscopie avec le NTT, imagerie infrarouge avec le 3,6m), la nécessité de conduire des campagnes d'envergure trop chères en temps de télescope pour le VLT, et d'assurer le complément d'autres programmes (i.e. suivi dans le temps de sources). Tout cela s'inscrit dans le contexte des bases de données, du « data-mining » et de l'AVO. Les instruments principaux seront : SOFI au NTT en complément de ISAAC au VLT, ainsi que EMMI pour la partie optique, EFOSC2 et HARPS au 3,6m, WFI au

2,2m au moins jusqu'à l'arrivée de OmegaCam au VST. Une réduction du budget associé à La Silla pourrait impliquer la fermeture du 2,2m à la fin du contrat avec le MPI, ou une redistribution du temps à travers des partenaires spécifiques.

Nouveaux télescopes et perspectives à l'horizon 2007

Le VST de 2,6m, construit par l'Observatoire de Capodimonte (OC), couvrira un champ de 1,46 degré carrés avec une qualité d'images à 80% d'énergie dans 0,4 arcsec. Il sera équipé d'une caméra grand champ, OmegaCAM (consortium incluant la Hollande, l'Allemagne, l'Italie et l'ESO) couvrant 1 degré carré avec un échantillonnage de 0,21 arcseconde. Le projet a connu de nombreux retards, et le dernier calendrier connu conduit à une acceptation au Chili en 2006 (le miroir M1 devrait être livré en Mars 2006). Le temps garanti à l'OC devrait être de 15 à 20% du temps disponible pendant 10 ans (dédiés à des surveys allant des TNOs, en passant la structure de la Galaxie, aux grandes structures) et de 50 nuits de VLT. Le commissioning du VST devrait être conduit dans le courant de l'année 2006. Le VST devrait être utilisé à 75% en mode survey.

Le télescope VISTA de 4,2m acquis par l'ESO dans le cadre de l'entrée du Royaume Uni est développé par l'ATC, le RAL et l'Université de Durham. Le projet, financé par la JIF et PPARC, doit entrer en fonctionnement en 2007. Il s'agit d'un instrument de grand relevé photométrique IR (0,85-2,4 μm) couvrant un champ de 0,6 degré carré avec des pixels de 0,34 arcsec. La possibilité d'un complément visible « DarkCam » devrait être examinée prochainement par le STC. Ce télescope sera utilisé au 3/4 en mode

survey.

L'Atacama Pathfinder Experiment, APEX, résulte d'une collaboration entre le « Max-Planck-Institut für Radioastronomie » et l'« Astronomical Institute at the University of Bochum » en Allemagne, et le « Onsala Space Observatory » en Suède. Il est destiné aux observations préparatoires de ALMA. L'instrument est opérationnel depuis juillet 2005 avec un récepteur 345 GHz, la caméra de bolomètres LABOCA et le récepteur 230 GHz étant prévus courant 2006. APEX est ouvert à la communauté jusqu'en avril 2006 sous la forme d'appel à vérification scientifique.

Recommandations

Depuis 2003, on constate avec satisfaction l'amélioration de la participation française dans l'exploitation des instruments du VLT-VLTI. Cette amélioration, attendue, résulte de la mise en service d'instruments importants pour la communauté française. On constate aussi une forte implication instrumentale dans le programme VLT-VLTI/2.

La communauté réaffirme l'importance du Conseil scientifique français de l'ESO (ancien Comité français de l'ESO) qui doit garder une représentation des PN et de l'ASHRA.

Lors du colloque de La Colle sur Loup, une recommandation avait été faite concernant l'aide aux utilisateurs (allusion à de possibles « Centres d'aide aux utilisateurs », à l'exemple du JMMC ; labellisation de tâches de service...). Une réflexion sur ce thème devrait être menée au sein de ce Comité mais aussi au sein des Programmes nationaux (PN) et Actions spécifiques (AS).

CFHT

Evolutions

La Corée et Taiwan ont signé un accord de collaboration leur permettant d'accéder chaque semestre à un nombre limité de nuits de télescope (5-10 nuits par semestre), en échange d'une participation au projet d'imageur IR grand champ WIRCam. La Corée s'est aujourd'hui retirée de ce partenariat (participation au projet de 2x6,5m au Mexique), même si elle conserve quelques nuits à utiliser dans le futur. Taiwan reste un partenaire actif avec environ 10 à 12 nuits par semestre jusqu'au début 2007. Au-delà, une renégociation devra avoir lieu pour une extension potentielle de la collaboration.

L'instrumentation disponible au CFHT a beaucoup

évolué, avec l'arrivée en 2003 de l'imageur grand champ MEGACAM, puis en 2004 du spectropolarimètre haute résolution ESPaDOnS, et enfin de l'imageur grand champ dans l'infrarouge WIRCam fin 2005. Ces 3 instruments compétitifs occupent la majorité du calendrier d'observation au CFHT, et sont complétés par CFHTIR (qui sera décommissionné en 2006 après l'arrivée de WIRCam), MOS/OSIS, PUEO (AOB), Gecko. MOS et Gecko seront probablement décommissionnés fin 2006 sur recommandation du SAC. L'utilisation de Grif (mode de PUEO) a été suspendue depuis début 2005. Le mode « Queue Scheduling » utilisé pour MEGACAM depuis déjà quelques années (et en cours de mise en place pour WIRCam) est aujourd'hui une réussite, avec des pics d'efficacité (fraction de temps des poses

• *Moyens lourds existants*

validées) à plus de 95%. Un mode Queue pour ESPaDOnS est aujourd'hui envisagé et devrait être mis en place dans les deux prochaines années. Le facteur de pression sur le temps de télescope reste important (augmentation jusqu'à 5 du côté français), démontrant la compétitivité des instruments CFHT. Cette forte pression, en partie due au CFHTLS, impose néanmoins des contraintes sur le temps PI, ce qui nécessite une communication accrue vers la communauté, en particulier à travers les Programmes Nationaux.

Le survey CFHTLS conduit par la France et le Canada a débuté en juin 2003, et inclut 3 grands volets : le Very Wide pour la détection et le suivi des objets de Kuiper et la structure galactique, le Wide principalement pour le weak lensing, et le Deep pour les grandes structures et la détection de Supernovae. La revue du projet au printemps 2005 a permis de refocaliser les priorités de cette campagne sur la recherche des Supernovae et le weak lensing, avec l'abandon de nouveaux champs pour le Very Wide. Le projet a pris un retard non négligeable en raison de conditions météo défavorables et de problème de jeunesse de la caméra. Une réévaluation scientifique et technique sera nécessaire compte tenu de la progression en 2005 de l'efficacité des processus d'observation et de la possible amélioration des conditions d'observation.

Le projet OHANA de combinaison par fibres d'un certain nombre d'ouvertures du Mauna Kea est entré en Phase II. Plusieurs étapes ont été franchies, avec en particulier la démonstration de l'injection dans des fibres monomodes sur le CFHT (7/2002) Keck I (12/2002) et Gemini (7/2003). Les deux télescopes Keck ont pu être reliés par fibres monomodes démontrant le concept du projet OHANA. La base suivante sera Gemini/N - CFHT dont l'installation est prévue pour 2006. La phase II pourrait se poursuivre par la liaison Subaru-Keck.

Perspectives

Comme cela était inscrit dans la prospective de la

Colle sur Loup, l'exploitation des nouveaux instruments au CFHT (ESPaDOnS, WIRCam) et la finalisation du CFHTLS imposent que le CFHT maintienne son excellence au moins jusque vers 2010. Il est donc aujourd'hui critique de définir les projets et moyens mis en oeuvre pour soutenir cet effort et conserver le potentiel technique du CFHT. Le directeur C. Veillet propose ainsi un plan (« Golden Age ») incluant deux axes principaux : 1) une amélioration de l'efficacité et de la robustesse passant par une automatisation des moyens d'observations (e.g. QSO pour ESPaDOnS, contrôle à distance du télescope) et un effort soutenu sur la qualité d'image ; 2) le développement d'un projet instrumental, préparant le futur des grands observatoires. La proposition actuelle (VASAO: Visible All Sky AO) mentionne le développement d'une optique adaptative de grande performance à la limite de diffraction dans le visible (PUEO-HOU) avec étoile laser. Ce projet, si il est reçu positivement par les agences, devra faire l'objet d'une mobilisation rapide et importante de la communauté scientifique française. Il faut noter que Taiwan pourrait être intéressé par une contribution significative à ce projet.

Recommandations

La compétitivité du CFHT est assurée jusqu'à la fin de l'exploitation de MEGACAM, WIRCam et ESPaDOnS, qui devrait se poursuivre jusqu'à l'horizon 2012. Il est donc essentiel de maintenir son potentiel technique pendant toute cette période, de façon à assurer le retour scientifique maximum de cette exploitation.

Il est demandé aux PNs de poursuivre l'étude du cas scientifique du projet VASAO, ainsi que des autres instruments qui pourront être envisagés à cette échelle de temps.

La communauté scientifique encourage par ailleurs les instances et la Direction du CFHT à discuter avec les partenaires actuels sur l'avenir du CFHT.

TBL

La mise en service de NARVAL à partir de l'été 2006 assure au TBL une compétitivité internationale de haut niveau sur les années à venir, à budget de fonctionnement constant (env. 140 k€/an). La mise en opération et l'exploitation optimale de cette nouvelle instrumentation requièrent un contact étroit entre l'équipe technique et les chercheurs du LATT

impliqués dans les programmes NARVAL.

En cas de pression accrue de la demande d'observation sur le TBL, suite à la mise en service de NARVAL, il est souhaitable de maximiser le nombre de nuits scientifiques exploitables sur le site. L'augmentation du nombre de nuits scientifiques en

mode service passe par le renforcement du potentiel humain de l'équipe et par la capacité des programmes nationaux, notamment le PNPS, de financer l'augmentation correspondante du ticket modérateur.

La Direction est encouragée à rechercher une participation scientifique accrue au niveau européen (OPTICON FP7), voire international (e.g. Canada), à l'exploitation de NARVAL.

La mise en service de NARVAL pour la majeure partie des nuits d'observation pose la question de la spécialisation complète du TBL avec cette instrumentation unique. L'intérêt et le coût d'une durée d'exploitation continue de MOICAM, ainsi que l'accueil d'instruments visiteurs, doivent être réévalués dans ce contexte.

Le comité d'évaluation du TBL a recommandé d'entamer une étude de phase 0 du développement d'une base de données NARVAL (archivage et mise à disposition de la communauté) pour identifier

clairement les objectifs poursuivis, les spécifications techniques, et les ressources humaines nécessaires.

Recommandations

Avec l'instrument NARVAL, dont la mise en service est prévue en 2006, l'exploitation du TBL va se focaliser sur des programmes dédiés, centrés sur le magnétisme stellaire. Cette évolution assure la compétitivité du TBL pendant la phase d'exploitation de NARVAL, d'une durée nominale de 5 ans.

Pendant cette phase d'exploitation, le budget du TBL devra être maintenu. L'exploitation par ticket modérateur, qui a donné satisfaction depuis plusieurs années, devra être poursuivie. Le partenariat avec le Canada est à encourager.

A l'issue de la phase d'exploitation de NARVAL, le TBL devra changer de statut, et passer de celui de moyen national à celui de station d'observation gérée par l'OSU OMP.

OHP

L'OHP est membre de l'OSU OAMP et conventionné avec l'OSU IPSL et abrite un service d'observation AA (télescope de 193) et participe à 3 services d'observation OA (NDSC, PAES, AERONET). L'OHP a une activité importante tournée vers l'enseignement et la diffusion des connaissances, au niveau français, mais aussi européen et a établi des liens privilégiés avec le Centre d'Astronomie de Saint Michel de l'Observatoire. Le site est particulièrement adapté à l'accueil, avec ses facilités d'accès et les possibilités hôtelières de la Maison Jean Perrin, dont le budget devrait retrouver un équilibre, après les difficultés rencontrées ces dernières années. Le plan de restructuration du site (en particulier l'alimentation électrique) est en cours.

En ce qui concerne la prospective à court et moyen terme, le spectrographe SOPHIE (mise en service en septembre 2006) doit assurer l'avenir de l'activité au T193, en haute résolution spectrale de précision qui est le domaine d'excellence du site. La mise à niveau du T193 est indispensable dans les meilleurs délais pour une bonne utilisation de l'instrument.

Sur les autres télescopes, les perspectives sont moins claires. Le projet ELPOA (démonstrateur d'étoile laser polychromatique), bien soutenu (ANR, Région) est d'un très grand intérêt pour les développements d'Optique Adaptative mais implique une remise à niveau et une sécurisation relativement lourde du

T152 (par ailleurs assez peu demandé). Dans la mesure où le projet n'est qu'un démonstrateur, il est important de dégager un projet d'utilisation à plus long terme sur le T152. Les axes de réflexion sont l'enseignement et l'intérêt R&D de l'ASHRA au-delà d'ELPOA.

Les magnifiques résultats obtenus sur la découverte d'exoplanètes à l'OHP ont conduit le CSSO (Comité de suivi des services d'observation), chargé de réfléchir sur les perspectives d'avenir de l'OHP, à proposer le développement du T120 (assez utilisé) comme outil photométrique en synergie avec les programmes haute résolution spectrale (exoplanètes, accompagnement de COROT et GAIA).

Au-delà, les réflexions du CSSO se portent sur le remplacement du T120 par un télescope photométrique robotisé et le remplacement du T 193 mais la vision programmatique à 10 ans n'est pas évidente.

Cette analyse prospective ne peut pas aller sans une réflexion parallèle sur la volonté et la capacité des programmes nationaux à assurer le paiement du ticket modérateur à niveau suffisant pour permettre le plein emploi (ou un emploi « raisonnable ») des équipements projetés sur des programmes d'excellence.

• *Moyens lourds existants*

Parallèlement aux activités d'observation, l'OHP souhaite s'engager sur des programmes de développement AA, en cours de discussion - ECLAIRs (responsable de l'unité d'observation au sol), participation à VLT-PF (coronographe), et en participation avec l'OA -R&D VIVA- EPIS, si les projets sont soutenus par le CNES.

Enfin il faut noter une réflexion de la Direction, à encourager, sur le renforcement des liens entre les Divisions AA et OA de l'INSU.

Recommandations

Le domaine d'excellence de l'OHP est la spectroscopie stellaire à très haute résolution, comme l'a illustré en 1995 la découverte au T193 de la première exoplanète, 51 Peg. La mise en oeuvre de SOPHIE, prévue pour 2006, assurera la compétitivité du T193 pendant toute la phase d'exploitation de l'instrument, dont la durée nominale attendue est de 5 ans.

Dans la logique des conclusions de La Colle sur Loup, le changement de statut du T193 devra intervenir à l'issue de la phase d'exploitation de SOPHIE, le T193 devenant station d'observation de l'OSU OAMP. Le maintien du ticket modérateur est recommandé pour l'exploitation des télescopes.

Le T152 est nécessaire au programme R&D ELPOA jusqu'à l'horizon 2008. Par ailleurs, les programmes R&D de haute résolution angulaire ont un intérêt à l'accès instrumenté que représente l'OHP.

Un télescope robotisé à l'OHP pourrait trouver une justification scientifique, en particulier pour l'accompagnement de programmes spatiaux mais le site de l'OHP n'apparaît pas le meilleur choix.

Enfin, comme il avait déjà été demandé à La Colle sur Loup, puis réitéré à plusieurs reprises par la communauté scientifique, il est instamment demandé à la Direction de l'OHP de présenter dès que possible aux instances le projet OHP-Avenir finalisé, incluant un budget consolidé intégrant l'ensemble des coûts en matériels et en personnel.

Les activités « Optique Adaptative » en France : bilan et perspectives

(Voir en Annexe le rapport « Paysage français de l'Optique Adaptative »)

Après les développements spectaculaires de l'Optique Adaptative (OA) au cours des 20 dernières années où les équipes françaises ont joué un rôle majeur à travers les réalisations des instruments Come On, PUEO et NAOS et des propositions originales comme l'étoile laser, l'OA est devenue un système clef des nouveaux instruments construits en astronomie au sol. Les nouveaux télescopes de par le monde s'équipent tous d'une telle technologie. Et bien sûr, les projets futurs d'extrêmement grands télescopes (ELT) ne se conçoivent pas sans OA. Les grands défis identifiés dans ce domaine de recherche très actif, peuvent être regroupés sous les 5 rubriques suivantes :

- la couverture de ciel et l'étoile laser (LGS) ;
- l'OA grand champ et l'OA multiconjuguée (MCAO) ;
- l'OA extrême dite XAO ;
- les OA des ELT ;
- et enfin, les algorithmes de commande et les composants de haute technologie pour répondre aux besoins des points précédents.

Les enjeux principaux de l'OA à travers le monde peuvent être résumés comme ceci :

1. MCAO et variantes : les travaux portent sur les concepts d'analyseurs de front d'onde et

l'utilisation de la LGS, sur le développement des procédures de calibration et des algorithmes de commande optimaux et enfin sur l'obtention d'une démonstration des capacités de ces techniques sur le ciel.

2. LGS : c'est la recherche de solutions viables aux nombreuses limitations de cette technique.
3. XAO : les travaux portent sur l'obtention de haut contraste dans les images par la maîtrise des erreurs résiduelles de phase et de la complexité des systèmes à très grands nombres d'actionneurs.
4. ELT : les défis à relever sont nombreux, on notera en particulier le problème de la dimension et de la complexité des OA à mettre en oeuvre, la recherche de nouveaux concepts pour les systèmes mais aussi pour les analyseurs de front d'onde, le problème des contraintes d'implantation et d'utilisation de la LGS et enfin les nouveaux composants et algorithmes de contrôle à développer pour répondre aux exigences spécifiques des ELT.
5. Composants : les recherches et les développements doivent s'orienter aussi bien sur les micromiroirs déformables que sur les grands miroirs déformables à intégrer dans le télescope, sur les analyseurs à très grand nombre de sous pupilles, sur les détecteurs très sensibles associés, et enfin sur les sources laser.

Le bilan des activités menées en France a été fait. Il se découpe en trois bilans sur :

- les laboratoires impliqués en OA ;
- les principaux projets en cours ;
- la R&D menée.

laboratoire, les domaines d'activités en OA et le personnel moyen par an (ETP : permanents, CDD, PhD et postdocs) investi sur ces sujets : soit exclusivement OA, soit connexes à l'OA. A ces principaux laboratoires, il faut ajouter les autres acteurs suivants : LUAN, LSP, OCA, OHP, LAT.

Le tableau ci-dessous donne, pour chaque

Laboratoires	Domaines	OA (ETP)	Connexes (ETP)
CRAL	LGS, Analyseurs, commande, ELT, restauration d'image	3	0,5
LAOG	Exoplanètes XAO, micro DM, détecteurs, coronographie	4,5	7,5
LAM	Lames minces grands DM, micro DM, détecteurs, exoplanètes XAO, Soleil MCAO, ELT (galaxies...)	2	5,5
OdP LESIA+GEPI	Systèmes d'OA (GLAO, MOAO, MCAO, XAO), analyseurs et détecteurs, miroir tilt, simu. num., banc OA, ELT, coronographie, ophtalmologie	12,5	11
ONERA	Systèmes d'OA (GLAO, MOAO, MCAO, XAO), analyseurs, commande, simu. num., banc OA, ELT, restauration d'image, défense	8,5	5

Les principaux projets sont listés dans le tableau suivant. A noter la très forte présence de l'ESO dans tous les projets qui en fait aujourd'hui un acteur majeur du domaine de l'OA en Europe.

Projets	Cadre	Laboratoires français	Échéances	Commentaires
VLT Planet Finder	Instrument 2ème génération VLT (ESO, INSU...)	LAOG, LAM, LESIA, LUAN, OHP, ONERA	Phase B 2006 Paranal 2010	Négociation contrat ESO
JRA1 OA	Opticon 6ème PCRD Mené par l'ESO	LAOG, LAM, ONERA	Lancement 2004 Fin 2008	Contribution ESO conséquente MCAO, μ DM, lame mince...
JRA2 CCD	Opticon 6ème PCRD	LAOG, LAM	Lancement 2004 Fin 2008	Contribution ESO conséquente
ELT Design Study	6ème PCRD Mené par l'ESO	CRAL, LAM (LUAN sur tests de site) (LESIA et GEPI sur instrumentation)	Lancement 2005 Fin 2009 ?	Contribution ESO conséquente Commande, lame, cophasage

A ces projets, on pourrait ajouter MUSE et Hawk-I à l'ESO, les applications solaires comme THEMIS et l'ATST, le projet VIRGO et les développements récents dans le domaine de la médecine en

particulier pour l'imagerie de la rétine.

Enfin les principaux programmes de R&D sont résumés sur le tableau suivant.

R&D	cadre	laboratoires	échéances	commentaires
ELP OA	Régions, INSU, MIPPU, MRCT, ANR	CRAL, LSP, OHP (CFHT)	Proposition 1992; OHP 2008 ? CFHT 2012 ?	Mesure tilt LGS
Falcon	ESO, MEN, INSU	GEPI, LESIA, LAM, ONERA	Démarrage 2003 Démo VLT 2012 ?	Spectro 3D multiobjet et OA distribuée
Banc Sesame	Région, ACI, MENRT, INSU...	LESIA	Démarrage 2003 Ouverture 2005	R&D MCAO, analyseurs, Falcon...
Micro DM	INSU, MENRT, régions, UE	LAOG (LETI) LAM (LAAS)	Démarrage 2001 ? DM magn. 2004; μ DM 1K 2008 ?	Réalisation de μ DM, banc de tests

• Moyens lourds existants

D'autres programmes pourraient être cités comme l'interférométrie et l'OA, la restauration d'images corrigées par OA, les écrans de phase pour l'expérimentation en laboratoire, les tests de site...

La communauté française a un certain nombre de points forts : compétences systèmes, moyens de simulations, composants, pluridisciplinarité, industriels dans le domaine..., mais aussi des points faibles : dispersion des sites, équipes sous critiques, manque de potentiel (JRA1), sous représentation dans ELT DS... Une structuration est en cours autour de la création du GIS PHASE sur la région parisienne avec l'Observatoire de Paris et l'ONERA, et à travers la création des pôles de compétitivité comme sur PACA avec Photonique.

Les principales recommandations issues du rapport qui figure en Annexe portent sur :

- La relance d'une coordination nationale : à travers un GdR, centré sur les problématiques en astronomie mais avec des ouvertures sur d'autres applications, pour le soutien à la R&D, la

cohérence des projets et la préparation du 7ème PCRD.

- Des recrutements dans les pôles forts du domaine : créer des points d'accrétion pour pouvoir relever les défis de la R&D et des projets.
- Le retour de senior(s) français pour retrouver un leadership en OA, par exemple pour les ELT.

Recommandations

La communauté apporte un fort soutien à la poursuite et au développement des activités de l'OA en France qui constituent depuis une vingtaine d'années un domaine d'excellence de la discipline. Elle soutient la mise en place d'un GdR OA, dont les tâches devront être définies précisément par rapport à celles de l'ASHRA, du GT-ELT et des PN. Des mesures d'incitation (coloriage, affichage) devraient être prises pour favoriser le retour d'un chercheur, si possible senior, et l'accompagnement par un recrutement ITA, notamment pour renforcer la composante OA dans le ELT-DS de l'Union Européenne.

IRAM

La réflexion concernant l'avenir scientifique des deux instruments de l'IRAM a été engagée avec le colloque qui s'est tenu à Grenoble en décembre 2003, la rédaction d'un « livre blanc », et la tenue d'un comité de visiteurs au printemps 2004. L'ensemble de ces études a montré que ces instruments assureraient à l'IRAM le leadership jusqu'en 2012-2014. Les partenaires de l'IRAM ont alors annoncé leur intention de reconduire jusqu'en 2014 l'accord actuel (qui se termine en 2009). La prospective de l'IRAM au-delà de 2014, dans le contexte de la mise en service d'ALMA, devra être approfondie en impliquant largement la communauté européenne (incluant les programmes nationaux français) afin d'identifier les évolutions techniques les plus pertinentes à moyen terme pour valoriser les atouts des télescopes et la complémentarité scientifique avec ALMA.

Télescope de 30 m

L'IRAM a depuis peu sur ce télescope un ensemble de récepteurs permettant de couvrir les différents domaines de fréquence avec une sensibilité inégalée, et grâce au « multi-beam » HERA avec une efficacité accrue.

Concernant la photométrie large bande, l'IRAM entretient des relations très positives avec le MPIfR (Bonn) qui lui a procuré les deux premières caméras

bolométriques (MAMBO et MAMBO-2) qui font aujourd'hui une grande partie du succès du 30 m. Toutefois, il devient urgent d'envisager un plan pour équiper le 30 m à l'horizon 2010, ou plus, avec des détecteurs pixellisés de grande taille, tout d'abord pour la photométrie (caméras bolométriques), mais aussi pour la spectroscopie hétérodyne (par exemple, avec des caméras HEMT).

Plateau de Bure

La situation de cet instrument reste préoccupante tant que les tutelles et les autorités politiques n'auront pas remis en place un moyen d'accès pérenne pour ce site. C'est une urgence absolue.

En dehors de ce problème d'accès, l'instrument équipé de sa sixième antenne puis de ses nouveaux récepteurs dès 2007 n'a pas d'équivalent dans le monde, et il restera le premier dans le domaine jusqu'à la mise en service complète d'ALMA (attendue vers 2014). La combinaison logicielle avec l'observatoire Américain CARMA est à l'étude et sera capable à très court terme de doter la communauté mondiale d'un outil encore plus puissant. Après la mise en service d'ALMA, le plateau de Bure restera le deuxième interféromètre millimétrique dans le monde. Son maintien est donc totalement justifié. En particulier on peut imaginer que si chacune des antennes est à cette époque équipée d'un récepteur

« multi-beam » de 9 à 25 éléments, alors la puissance du plateau de Bure en terme de photons collectés sera proche de celle d'ALMA.

Relations avec le projet ALMA

L'IRAM participe à la construction d'ALMA par la construction des récepteurs de la bande 7, par son expertise sur les corrélateurs et pour des aspects logiciels. Il avait été fortement recommandé (prospective de La Colle sur Loup et SAC IRAM) une forte implication de l'IRAM dans la prochaine étape du projet ALMA pour participer au centre d'aide aux utilisateurs (ARC, Alma Regional Center). Aujourd'hui, cette implication n'est pas consolidée. Il est vrai que l'organisation selon les ARCs a pris du retard au sein du projet ALMA.

L'IRAM étant l'un des centres européens majeurs en matière d'interférométrie millimétrique, la communauté souhaite que cet institut puisse jouer un rôle à la mesure de son expertise dans ALMA. Le CNRS doit favoriser l'implication de l'IRAM dans

l'ARC. Par ailleurs, l'IRAM est encouragé à amplifier au maximum son rayonnement européen, notamment par une politique plus ouverte d'accueil de post-docs et de chercheurs, par la mise à disposition systématique des données, par la mise en place de simulateurs d'observations, par l'organisation d'écoles très ouvertes, etc.

Recommandations

L'atelier IRAM de décembre 2003 et la revue du comité d'experts de 2004 ont confirmé l'excellence des programmes scientifiques de l'IRAM, tant à Pico Veleta qu'au Plateau de Bure. La compétitivité de l'IRAM est assurée jusqu'au terme (2014) du nouveau contrat actuellement en cours de discussion.

La communauté rappelle aux tutelles qu'il est extrêmement urgent de trouver une solution au problème de l'accès au site. Elle réaffirme son soutien à l'implication effective de l'IRAM dans l'ALMA Regional Center (ARC) européen.

Nançay

Le radiotélescope décimétrique (NRT) est le seul instrument français capable d'observer la raie 21 cm de l'hydrogène. Par sa surface, cet instrument, se classe dans les 10 plus grands télescopes décimétriques mondiaux, un avantage quelque peu réduit par l'impossibilité de suivre les sources au delà d'une heure. La pression sur le temps d'observation est actuellement de 2, et 3 aux heures galactiques.

L'attribution des temps d'observation est effectuée par le Comité des Programmes, au sein duquel les programmes nationaux sont représentés. Grâce au succès du programme de rénovation FORT, des programmes très variés ont été conduits (comètes, étoiles à enveloppes, pulsars, galaxies et dynamique de l'Univers local, etc.), avec environ 50% d'utilisateurs étrangers. L'instrument bénéficie de deux nouveaux récepteurs, spécifiquement adaptés l'un à l'observation des pulsars et l'autre à l'élimination en temps réel des interférences. Une action de fiabilisation mécanique et électrotechnique a été engagée afin de réduire, à terme, les contraintes d'exploitation. Celle-ci est déjà partiellement automatisée avec une légère diminution des besoins matériels et humains (environ 12 ITA ETP ; 2,5 chercheurs ETP). L'automatisation des observations et la fiabilisation de l'instrument devraient être encouragées (tant qu'elles n'impliquent pas de nouveaux investissements significatifs).

Les principaux programmes scientifiques menés avec le NRT (survey HI des galaxies, et observations d'étoiles évoluées, OH dans les comètes et les étoiles) devraient, pour certains d'entre eux, s'achever d'ici quelques années et les programmes qui se poursuivront (comètes, pulsars) ne justifieront sans doute pas à eux seuls une exploitation du NRT sous sa forme actuelle. La question du démarrage d'autres programmes scientifiques reste posée. Le radiotélescope pourrait aussi continuer à servir de banc d'essai pour les développements instrumentaux de la station.

Une réflexion sur l'avenir à moyen terme de cet instrument est en cours. Une prospective scientifique et technique pour le futur du NRT a démarré, à l'initiative du CS de l'Observatoire de Paris. Depuis La Colle sur Loup, un atelier consacré à la R&D en radioastronomie s'est tenu en 2004, et un autre atelier fondateur concernant l'étude des pulsars a eu lieu en janvier 2006. Depuis le démarrage de FORT, de nouvelles méthodes de traitement de données, couplées à une instrumentation développée récemment, peuvent ouvrir l'instrument à d'éventuels nouveaux programmes.

Le radiohéliographe et le réseau décimétrique ne sont pas des instruments nationaux, mais leur évolution a des implications sur celle de l'ensemble

• Moyens lourds existants

de la station de Nançay. On notera également que le potentiel de ces deux instruments a évolué :

- Seul instrument au monde dans sa catégorie, le Radio-Héliographe a poursuivi ses mesures systématiques de la couronne solaire en ondes métriques. Une opération de fiabilisation de son pointage a été réalisée dans la perspective de campagnes de mesures conjuguées à celles de la mission STEREO à partir de l'été 2006. Ce support à STEREO constitue pour les proposants la priorité pour les 4 prochaines années. A plus long terme, la justification du maintien en service du NRH ne pourra être trouvée que dans une perspective internationale.
- Les données solaires du Réseau Décamétrique sont maintenant archivées sur BASS 2000, ce qui facilitera leur valorisation notamment dans la perspective de la mission STEREO. Une nouvelle chaîne de réception permet de systématiser les observations à haute résolution temporelle de Jupiter. Des campagnes de mesures ont été conduites en conjugaison avec la première station d'antennes du réseau LOFAR. Leurs résultats sont actuellement en cours d'analyse.

L'expérience CODALEMA de détection radio de gerbes cosmiques, lancée par le laboratoire SUBATECH avec une participation fondatrice de l'Observatoire de Paris (USN, LESIA) bénéficie d'un fort intérêt de la communauté astroparticules, en particulier en complément du programme Auger. Son potentiel de développement à Nançay, ou dans d'autres sites internationaux est important. Elle a permis le démarrage d'un programme pilote de radioastronomie impulsionnelle utilisant le NRT.

L'Antenne Très Basse Fréquence régulièrement est utilisée par le LPCE depuis 2003 pour des campagnes internationales destinées à l'observation des « sprites » et de leurs émissions associées, et pour des mesures conjuguées avec le micro-satellite DEMETER.

Les compétences en instrumentation de la station de Nançay ont facilité sa participation dans l'étude de concept pour le projet de radioastronomie Square Kilometer Array (SKA), SKA-DS. La Station est ainsi étroitement associée à la conception, à la construction et à l'exploitation du futur démonstrateur EMBRACE (European Multi-Beam Radio-Astronomy ConcEpt) destiné à démontrer les performances du concept proposé par l'Europe pour la réalisation finale de SKA en 2015-2020. SKA-DS renforcera aussi le couplage des scientifiques français au projet SKA, grâce au recrutement en France de son Project Scientist, et au soutien au

Programme cosmologique Horizon.

Les radioastronomes français participent activement à la définition des projets de radiohéliographe, FASR aux Etats-Unis et un second réseau en Chine. Les antennes du NRH ont été utilisées pour tester les détecteurs prototypes.

Recommandations

En 2003, la communauté avait reconnu la compétitivité du NRT avec les programmes-clé du projet FORT jusqu'à l'issue de leur phase d'exploitation. Suite aux recommandations de La Colle sur Loup, des progrès sensibles ont été enregistrés dans la gestion et l'opération du NRT : ouverture du comité des programmes à des représentants des programmes nationaux ; initiatives visant à une plus grande ouverture extérieure ; automatisation accrue de l'instrument.

Depuis le colloque de La Colle sur Loup, la communauté scientifique note également une évolution très positive des activités de la station de Nançay, suite à plusieurs actions : l'atelier R&D radio de novembre 2003, l'insertion dans le Design Study SKA du FP6 (avec notamment le développement du prototype d'antenne EMBRACE à Nançay et l'accueil du Project Scientist de SKA). L'expérience CODALEMA a permis l'ouverture de la station à la communauté des astroparticules.

La communauté considère que le changement de statut du RT devra intervenir à l'issue de la phase d'exploitation de FORT, dans la logique des conclusions de La Colle sur Loup, le RTN devenant station d'observation de l'Observatoire de Paris.

La communauté encourage la mise en place d'une réflexion sur un mécanisme de financement des programmes du RT, dans la phase après -FORT, par les PNs via un ticket modérateur, comme dans le cas des télescopes optiques.

Il est demandé aux PNs d'expertiser la qualité scientifique des programmes-clé qui seront proposés par la Direction du RT. La communauté recommande la tenue d'un workshop international sur l'avenir du RT, comme cela a été fait dans le cas de l'IRAM.

A l'avenir, la participation au projet SKA devrait constituer la priorité de la station de Nançay. D'autres participations (FASR, éventuellement LOFAR), ou d'autres projets (par exemple, la poursuite de CODALEMA), pourront être envisagés, en fonction de la qualité des projets présentés et des moyens humains et matériels disponibles.

THEMIS

Depuis le colloque de prospective de La Colle sur Loup, les Directeurs et Présidents des conseils d'administration et scientifique de THEMIS ont été renouvelés. Le conseil scientifique a mis en place deux groupes de travail, l'un sur la polarisation et l'autre sur les détecteurs. THEMIS participe au réseau européen OPTICON.

L'un des atouts de THEMIS est l'absence de polarisation instrumentale, ce qui permet de mesurer simultanément les deux états de polarisations orthogonales issus d'un séparateur de faisceaux. Des progrès importants ont été effectués sur la cospatialité des deux voies de polarisation. Des études sur le développement de nouveaux polarimètres sont en cours.

Deux campagnes d'observations ont eu lieu depuis le colloque de La Colle sur Loup. Malgré quelques problèmes en 2005 (arrivée tardive des caméras DPSM), la campagne d'observations a permis d'obtenir des résultats observationnels potentiellement intéressants : observations du second spectre solaire avec un essai de tip-tilt, cartes de champ vectoriel à grand champ (8'X5'), mise en évidence de creux magnétiques dans l'environnement des filaments en accord avec les modèles MHD, observations de protubérances dans l'IR proche. La plupart des observations sont maintenant effectuées dans le cadre de campagnes d'observations coordonnées avec les autres télescopes du site des Canaries ou avec des expériences spatiales (CDS/SOHO, TRACE,...). Grâce à la mise en service d'un code d'inversion de type quick-look, les données peuvent être réduites en temps réel de façon préliminaire. Beaucoup de programmes d'observations utilisent à l'heure actuelle une combinaison des détecteurs DPSM et MTR. Depuis le remplacement des caméras DPSM en 2005, les données DPSM sont parmi les meilleures obtenues sur le télescope. Le télescope a été utilisé également pour des objectifs d'héliosismologie.

L'avenir de THEMIS au delà de 2009 ne peut se concevoir que dans un contexte international incluant l'évolution des autres télescopes aux Canaries et le développement du projet ATST. Notons à ce propos que le savoir faire acquis dans l'instrumentation polarimétrique serait un atout pour une collaboration avec l'ATST (ou tout autre projet européen de télescope solaire de grande ouverture aux Canaries), et que l'utilisation de THEMIS pour des expériences et des tests utiles à un grand instrument de cette classe pourrait permettre de concrétiser une participation française à ce projet.

Malgré ces points positifs, il faut néanmoins noter un facteur de pression sur les demandes d'observations en diminution ainsi que l'absence, dans la campagne 2005, d'observations avec l'IPM, les collègues italiens étant actuellement très investis dans l'exploitation d'IBIS.

Il est indispensable de faire mieux connaître à la communauté française concernée les progrès effectués dans la compréhension des limites techniques de l'instrument et d'inciter cette communauté à proposer à nouveau des observations à THEMIS. Notons que le taux de publications (rang A) moyen par an était de 7 entre 2000 et 2004. Il est passé à 11 en 2005.

Le plan de développement technique de l'instrument est le suivant :

- fin de l'opération tip-tilt et du « commissioning » scientifique. Le tip-tilt sera opérationnel pour la campagne 2006 ;
- fin de l'opération du renouvellement du parc de caméras DPSM ;
- préparation de l'invitation de ZIMPOL sur THEMIS ;
- renouvellement des caméras MTR ;
- calibrations polarimétriques ;
- développement d'un nouveau polarimètre (modulateur à cristaux liquides).

L'amélioration de l'instrumentation et la mise à disposition du tip-tilt en 2006, des nouvelles caméras en 2006/2007, marginalement l'ouverture de créneaux en polarimétrie stellaire et planétaire, laissent présager une évolution positive de l'impact scientifique de THEMIS.

Le renouvellement des caméras MTR est fait dans une démarche de recherche de haute résolution spatiale (et temporelle) en spectro-polarimétrie. Le tip-tilt est opérationnel depuis 2006. Une étude complète du « seeing » du télescope est également en cours.

Il faut souligner le nombre limité d'astronomes résidents à THEMIS (un astronome et le directeur), ce qui justifie largement la demande de post-doc faite à l'INSU pour un astronome résident.

Pour conclure, il apparaît une évolution très positive de THEMIS dont il faut féliciter le Directeur. Le taux d'utilisation reste cependant faible. Il convient d'encourager les observateurs à se mobiliser davantage pour l'exploitation d'un télescope qui, après la mise en service du tip-tilt, les améliorations des détecteurs, la fiabilisation du système et des progrès attendus en spectro-polarimétrie, permet à

• *Moyens lourds existants*

THEMIS de tenir sa place dans le dispositif mondial jusqu'en 2009. Il faut réfléchir rapidement à l'implication dans l'ATST.

Recommandations

Une évolution positive est à noter depuis le colloque de La Colle sur Loup ; la Direction et les conseils ont été renouvelés, et un certain nombre d'améliorations ont été apportées aux instruments ; le tip-tilt a été mis en place en 2006, et les premières observations avec celui-ci ont été réalisées en 2006. Cependant des problèmes demeurent : le facteur de pression reste faible, et le personnel résident est insuffisant.

La communauté scientifique recommande en priorité l'exploitation maximale de THEMIS jusqu'au terme de son contrat d'exploitation (2009). Elle encourage la communauté à une plus grande utilisation de THEMIS et recommande au PNST d'œuvrer dans ce sens. Elle soutient la demande, formulée par l'équipe de THEMIS, d'un post-doc astronome résident.

Le contrat d'exploitation de THEMIS s'achève en 2009. Toute perspective d'avenir au-delà de cette date nécessitera impérativement une mobilisation plus active de la communauté solaire et un projet qui s'insère dans une perspective européenne.

EISCAT

La communauté PNST a décidé de se retirer de l'association EISCAT fin 2006, tout en gardant la possibilité d'achat d'un nombre significatif d'heures d'observations. Ceci permettra de poursuivre des programmes en collaboration avec certains partenaires d'EISCAT (Japon, Norvège, Suède), d'autant plus qu'un nouveau projet ambitieux EISCAT-3D est en cours d'étude, financé par l'Union Européenne. Ce projet doit déboucher sur une demande dans le cadre du 7ème PCRD-Infrastructure.

communauté avait souhaité une forte réduction de la participation française à l'issue du contrat en cours qui s'achèvera en 2006.

Suite à cette recommandation, des négociations ont été menées par l'INSU en 2005, sur la base des propositions de la communauté française concernée. Elles ont conduit au retrait de la France de l'association EISCAT à l'échéance du contrat actuel (décembre. 2006). A partir de 2007, le temps d'observation EISCAT se fera sur la base de l'achat de temps sur des programmes scientifiques précis, à hauteur maximale de 150 k α /an.

Recommandations

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la

SuperDARN

Le réseau SuperDARN (Dual Auroral Radar Network) est actuellement constitué d'un ensemble de radars HF couvrant à la fois les hémisphères nord (10 radars) et sud (7 radars). La participation française à ce réseau comprend le radar de Stokkseyri en Islande et le radar de Kerguelen. La couverture en longitude des radars de l'hémisphère sud sera réalisée grâce à la construction de 2 radars à visée équatoriale au Dôme C. C'est un projet franco-italien (50%, 50%) dans le contexte de deux autres projets en émergence : un projet américain au pôle sud (dont la demande a été déposée à la NSF) et un projet chinois de radar installé à Zhongshan sur la côte de l'Antarctique sous le champ de vue du radar de Kerguelen. SuperDARN participe à des mesures

coordonnées avec les missions multi-satellitaires, actuellement Cluster et Double Star, dans un proche avenir THEMIS, puis à terme MMS.

Recommandations

Il faut noter une bonne productivité de l'équipe française, pourtant de taille réduite, dans ce moyen lourd international. Depuis 2003, l'équipe concernée a bénéficié d'un recrutement.

Sur le plan instrumental, l'installation de deux radars supplémentaires est en cours au Dôme C, ce qui complètera la couverture en longitude de la région polaire australe.

Astronomie des hautes énergies : HESS-1

Il s'agit d'un réseau de 4 télescopes Cerenkov de 12 m de diamètre (miroirs composites) situé en Namibie, permettant la détection de photons gamma de très haute énergie (de 100 GeV, seuil bas déterminé par la surface collectrice des télescopes, à 10 TeV). Le premier télescope est opérationnel depuis 2002, et le réseau complet depuis fin 2003. Cet ensemble a, depuis, donné lieu à une moisson de résultats tout à fait exceptionnelle, et surpasse largement tous les autres télescopes. Avant la mise en service de HESS, une petite demi-douzaine de sources avait été détectée de façon raisonnablement fiable dans ce domaine d'énergie, principalement par l'observatoire WHIPPLE. Dans sa première année d'observation, HESS a plus que doublé ce nombre, et identifié de nouvelles classes de sources émettant dans ce domaine, telles que les binaires galactiques, ou les nébuleuses de vents de pulsar. Il a résolu un certain nombre de ces sources, comme les restes de supernovae, dont on pense qu'elles sont la source des rayons cosmiques d'énergie pas trop extrême. En n'ayant observé qu'une infime partie du ciel (quelques pourcents), HESS a obtenu des résultats tout à fait remarquables ; il restera en tête des projets actuels. L'impact des découvertes se mesure par le

nombre des publications (3 en 2004, 16 en 2005 dans des revues de rang A, très cités), des communiqués de presse, etc.

La communauté INSU concernée (PCHE et PNC pour la matière noire) est encouragée à maintenir et accentuer son investissement dans ce projet, à le rendre aussi visible que possible malgré les contraintes liées à ce type de collaboration (publications par ordre strictement alphabétique), et à tirer le meilleur parti de collaborations possibles et du soutien du Département SPU (coloriage de postes, post-docs, ...).

Recommandations

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la participation des astronomes français avait été jugée trop faible.

La situation a évolué de manière positive mais doit encore être améliorée. Les communautés PCHE et PNC sont encouragées à maintenir et accentuer leur participation dans ce projet, notamment dans la perspective de HESS-2.

CDS

Le CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg) est depuis de nombreuses années un centre de données de référence et de documentation bibliographique pour les astronomes au niveau international, au même titre, par exemple, qu'ADS. Les accès au travers du WEB sont devenus très aisés et le nombre de requêtes quotidiennes est en croissance constante, environ 55 000 par jour en 2005. Ces services sont mis à jour quotidiennement par une équipe de documentalistes (à Strasbourg, à l'Observatoire de Paris et à l'IAP) et d'astronomes. La charge sur les services et la quantité d'informations qu'il faut y inclure continuent à augmenter mois après mois. C'est un mode de fonctionnement de la recherche contemporaine, dans toutes les disciplines, et non une exception astronomique, ce qui n'était pas le cas au moment de la fondation du Centre. Un travail de veille technologique y est étroitement associé et une jouvence régulière des matériels informatiques est absolument nécessaire au bon fonctionnement du Centre de données.

Le CDS joue également un rôle majeur dans la mise en place de l'Observatoire Virtuel astronomique, à la fois dans l'International Virtual Observatory Alliance

(IVOA) et en support à OV-France. La reconnaissance du rôle anticipateur du CDS dans l'interopérabilité des bases de données avec développement de standards et d'outils, de fourniture de services se traduit aujourd'hui par des responsabilités importantes dans l'organisation du système au niveau européen à plusieurs niveaux.

Le développement de l'OV conduit le Centre à travailler en collaboration étroite avec les STIC dans plusieurs domaines, et à mettre en place un cadre plus général de collaboration interdisciplinaire astronomie-STIC. L'intégration d'un ou plusieurs chercheurs des STIC est un prolongement naturel à soutenir pour cette activité d'interface et pour enrichir les domaines couverts.

Le rapport de prospective de La Colle sur Loup avait apporté un fort soutien à l'ensemble de ces activités et encouragé les orientations prises vers l'Observatoire Virtuel. Cela a conduit au démarrage d'une action spécifique (AS Observatoires Virtuels France), l'organisation de plusieurs écoles qui ont rencontré un grand succès et une prise de conscience dans l'ensemble de la communauté du caractère

• *Moyens lourds existants*

fondamental de cette évolution. Bien que des recrutements aient eu lieu récemment (et on en voit l'impact sur l'OV), la partie CDS va être pénalisée par le départ d'un chercheur en charge du travail bibliographique. Il faudra envisager au minimum une tâche de service d'un membre du corps des astronomes accompagné d'un ingénieur documentaliste. Ceci doit se faire en liaison avec les départs prévus à l'horizon 2008 de membres de l'équipe de documentation basés à Paris, et dont les remplaçants devraient être à Strasbourg.

En conclusion, le développement de l'OV est plus qu'une remarquable opportunité pour le CDS, mais un tournant définitif qui touche toute la communauté. Cependant, la concurrence augmente au niveau international avec le démarrage de projets bien dotés, imposant un gros travail et des moyens (raisonnables en terme de poste et de budget) pour rester présent au meilleur niveau.

Recommandations

Le CDS est depuis de nombreuses années un centre de données de référence et de documentation bibliographique pour les astronomes au niveau international ; ce mode de fonctionnement est devenu incontournable pour la recherche contemporaine. Le CDS joue également un rôle majeur dans la mise en place de l'Observatoire Virtuel astronomique, à la fois dans l'International Virtual Observatory Alliance (IVOA) et en tant que support à OV-France.

Lors du colloque de La Colle sur Loup, la communauté avait déjà manifesté son fort soutien à l'ensemble des activités du CDS ainsi qu'à ses orientations vers l'Observatoire Virtuel. Ce soutien s'est concrétisé par une attribution de postes, et par la mise en place de l'Action Spécifique « OV-France ». Compte tenu de ses responsabilités croissantes au niveau international, et de la montée en puissance des activités liées à l'OV, il importe de maintenir au CDS tous les moyens nécessaires pour qu'il puisse rester présent au meilleur niveau.

Projets sol prioritaires à 5 ans

ALMA

La construction du grand interféromètre millimétrique et submillimétrique ALMA s'est poursuivie avec un an de retard sur le calendrier initial, avec une phase de démonstration et de validation scientifique (« Early Science ») qui ne démarrera qu'en 2009. Le projet initialement prévu pour 64 antennes a été ramené à 50 antennes suite aux dépassements en coûts du projet, mais cette réduction ne remet pas en question les programmes scientifiques prioritaires prédéfinis. Une phase de redéfinition des caractéristiques et performances de l'instrument s'est achevée en automne 2005 avec la commande des 50 antennes (25 pour l'Europe et 25 pour le partenaire nord-américain). Le coût total est connu avec une bonne précision ce qui permet de planifier la phase de construction et d'opération. Le développement des détecteurs et des logiciels se fait selon le calendrier. Les contributions françaises et IRAM sont excellentes, tant pour les aspects matériels (récepteurs de la bande 7, corrélateur) que pour les contributions aux logiciels. Un contrat européen vient d'être financé pour doter le projet ALMA d'une nouvelle bande de fréquences permettant l'étude de la vapeur d'eau à haute résolution angulaire, ainsi que pour adapter à l'interférométrie la technique d'observation « on-the-fly » (tâche dont l'IRAM sera responsable).

L'ensemble de 50 antennes permettra de répondre à de nombreuses questions d'astrophysiques dans des

domaines variés, de la cosmologie à la planétologie, en passant par la formation stellaire et planétaire, et l'astrochimie. La communauté française s'organise pour tirer le meilleur parti de ce nouvel interféromètre, dans un contexte très concurrentiel. Il faut renforcer la formation aux techniques de l'interférométrie millimétrique en tirant parti de l'accès privilégié à l'interféromètre de l'IRAM, et développer dès maintenant des outils d'analyse avancée. L'Action Spécifique ALMA permet de poursuivre ces objectifs en co-finançant des écoles et ateliers, et en aidant au développement d'outils scientifiques.

Recommandations

Le projet ALMA reste une priorité forte de la discipline qui a reçu l'appui de l'ensemble des programmes concernés. Il faut noter la participation active de l'IRAM et de plusieurs laboratoires français dans sa réalisation.

La communauté apporte son soutien à l'Action spécifique ALMA (ASA) dont l'action est nécessaire pour optimiser la participation française à ALMA, et en particulier pour la définition des programmes scientifiques Early Science. Elle souhaite par ailleurs que l'IRAM puisse s'impliquer effectivement dans la mise en place de l'ALMA Regional Center (ARC).

ELT

La recommandation du rapport de prospective de La Colle-Sur-Loup sur les perspectives à long terme était la suivante :

« Dans la classe des télescopes de 30m, il existe plusieurs projets pour une première lumière vers 2012-2013. Les participants au colloque ont noté la synergie avec ALMA et la convergence de calendrier avec le JWST, télescope spatial de nouvelle génération. Ils recommandent une contribution même minoritaire, permettant l'accès de la communauté française à ce type d'instruments, de préférence dans un cadre européen. »

La situation a fortement évolué depuis 2003. Le calendrier des projets comme JWST et ALMA a reculé vers l'horizon 2012-2014, et celui des 20-30m américains de 20-30m vers 2015 environ. La situation des projets ELTs est la suivante :

(Thirty Meter Telescope) et le GMT (Giant Magellan Telescope, 21m équivalent), tous deux en phase active d'étude (et même de réalisation anticipée pour le GMT). Les phases A de ces deux projets se termineront en 2006.

En Europe, deux concepts d'ELTs ont été envisagés, l'un pour OWL, télescope de 20 à 100m et l'autre pour EURO-50, de taille inférieure (50m). Ces projets ont fait l'objet d'études importantes dans le cadre européen. Un programme d'étude ELT du 6ème PCRD, d'une durée de quatre ans, a débuté en 2005 (ELT Design Study), programme auquel participent plusieurs laboratoires français. L'élaboration du cas scientifique de l'ELT Européen dans le cadre d'OPTICON (relayant en cela l'ELT Design Study) a été menée avec la participation de nombreux scientifiques français.

Aux Etats-Unis, les deux projets en cours sont le TMT

Le conseil de l'ESO a prononcé une résolution de

• Projets sol prioritaires à 5ans

stratégie scientifique indiquant que la plus haute priorité de l'ESO doit être de préserver le leadership de l'Europe en astronomie optique à l'ère des ELTs. Suite à une revue détaillée du projet OWL fin 2005, il a été décidé de focaliser le projet d'ELT européen sur un télescope de 30m à 50m, à construire avec un budget plafond, dans un calendrier qui permettrait à l'Europe de rester compétitive. Ce projet devra utiliser au maximum les concepts et les connaissances acquises pendant les études des années précédentes. Des groupes de travail focalisés ont été mis en place et un concept de référence devrait être produit en fin d'année 2006.

Un ELT européen a figuré dans la liste d'opportunités de l'ESFRI (forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche) en 2005, et devrait, selon toute vraisemblance, figurer dans la « feuille de route » de l'ESFRI.

Au niveau national, l'INSU a mis sur pied depuis 2004 diverses actions d'incitation (financement et accompagnement) : un groupe de travail chargé de la réflexion et de la coordination des activités nationales liées aux ELTs, un poste d'accueil pour un ingénieur de recherche qui viendra épauler le groupe de travail, en particulier pour le suivi des affaires industrielles et des actions liées aux pôles de compétitivité. Des actions sont en cours pour faire entrer la préparation des ELTs dans la ligne des TGE-CNRS dès 2007.

Il est important d'évaluer les besoins et les forces disponibles dans la communauté française sur ce projet-phare des 15-20 ans à venir ; c'est l'une des missions du groupe de travail ELT.

Actuellement, la participation française directe aux ELTs est estimée à ~ 20 personnes par an à temps plein, et sans doute autant en participation indirecte (par exemple au travers d'activités dans les JRA d'OPTICON). Une évaluation précise sera disponible fin 2006. Les activités ELT auxquelles participent les laboratoires français sont les suivantes :

- OPTICON. Activités dans plusieurs JRAs et activités réseaux : JRA1 : Optique Adaptative. LAOG & LAM ; JRA2 : Détecteurs Rapides pour Optique Adaptative. LAOG & LAM; JRA5, Plans focaux actifs. CRAL & LAM ; N3.1, Réseau de coordination ELT (élaboration du programme scientifique de l'ELT Européen).
- ELT Design Study. 4 laboratoires (GEPI, LESIA, CRAL et LAM) sont regroupés et participent à ce programme sous couvert de l'INSU. Le LUAN participe également activement à ce programme mais y émerge à titre individuel. Les « Work Packages » (WP) auxquels participent ces laboratoires français sont : Imagerie haut

contraste (LESIA) ; Cophasage (LAM) ; Prototypes en carbure de silicium (LAM) ; Miroirs déformables grand format et haute densité (LAM) ; Algorithmes pour contrôle et reconstruction (optique adaptative) (CRAL) ; Instrumentation (CRAL, GEPI, LAM) ; 12000 Etudes de site (LUAN).

- Contrats ESO. De nombreuses activités ont - ou ont eu - lieu sous contrat ESO. Pour ne citer que les plus récentes : FALCON, MOMFIS & HyTNIC (études pour OWL), etc.
- Nombreuses activités de R&D amont des laboratoires, hors cadre ci-dessus mentionnés avec financements nationaux (labos, INSU, ANR, etc.), lesquels viennent en général en complément d'autres sources de financement. Ces activités ne sont pas nécessairement toutes labellisées ELTs, mais certaines peuvent néanmoins s'y rapporter. Par exemple, les étoiles laser (CRAL, OHP), les simulations numériques type HORIZONS, les simulations de détection d'exoplanètes, etc.
- Groupe de travail ELT.

En conclusion, la communauté française est parfaitement intégrée à la dynamique ELT au niveau européen. Le projet d'ELT Européen, s'il a tardé à se préciser, est maintenant en bonne voie et devrait aboutir à un concept de référence rapidement (2006). Les études réalisées au cours des années précédentes devraient permettre de réaliser plus rapidement les phases ultérieures du projet.

Recommandations

La communauté note l'évolution très positive du concept ESO vers un projet à la fois ambitieux et réaliste, qui est maintenant proche du concept souhaité lors du colloque de La Colle sur Loup. Les cas scientifiques vont nécessairement évoluer et il est demandé aux programmes nationaux de suivre de près ces évolutions.

L'implication des équipes françaises est importante dans les activités liées aux ELT, grâce en particulier aux actions de R&D qui ont été entreprises et aux participations françaises dans le Design Study ELT du 6ème PCRD. La proposition d'installer un centre ELT en France nécessite une réflexion approfondie aussi bien sur les objectifs visés que sur les modalités.

La communauté apporte son soutien au GT-ELT et l'encourage à poursuivre et développer les actions entreprises, en particulier pour harmoniser les actions vers le 7ème PCRD. Une coordination étroite avec le futur GdR OA est souhaitable.

VLT/VLTI

Avant d'aborder la situation de l'instrumentation de deuxième génération, il faut mentionner que la première génération VLT ne sera achevée qu'après l'installation de CRIRES prévue en 2006, l'achèvement du programme d'optique adaptative et celui du VLTI, avec la pleine mise en opération des deux instruments MIDI et AMBER d'une part et de toute l'infrastructure associée d'autre part. AMBER, complètement fonctionnel, est disponible depuis octobre 2005 sur les UT. L'infrastructure VLTI fait, en revanche, l'objet d'un travail de mise aux spécifications (« Consolidation Plan ») jusqu'en 2006, sans lequel les performances en IR proche demeurent bridées.

En outre, ces instruments sont appelés à utiliser aussi bien les UT que les AT dont l'installation est en cours d'achèvement en 2005 et qui permettront l'observation des objets les plus brillants avec une meilleure capacité d'imagerie. Notons aussi que le projet PRIMA DDL d'astrométrie 10 μ arcs pour la recherche d'exoplanètes, financé par la Suisse, l'Allemagne et les Pays-Bas, spécifiquement fondé sur l'utilisation des AT sera achevé en 2007.

L'installation d'une étoile laser monochromatique au VLT s'effectue courant 2006, après d'importants retards. En France, un projet de R&D sur les étoiles laser polychromatiques, financé par l'INSU et par l'ANR, pourrait servir de banc d'essai pour les futures étoiles artificielles dont les ELTs auront besoin.

En parallèle aux développements instrumentaux, le rôle du Centre Mariotti, orienté vers la préparation des observations, la réduction des données et leur exploitation, s'est affirmé avec la production des premiers outils logiciel (aide à la préparation des observations notamment) et la collaboration naissante avec l'ESO à la demande de celui-ci.

Deux autres projets, cités à La Colle sur Loup, n'ont pas été retenus pour la deuxième génération; APRES-MIDI, (upgrade de MIDI permettant l'imagerie à 4 télescopes) a conduit en fait aux projets MATISSE (cf. plus bas) et GENIE, conçu comme un précurseur de DARWIN. Le projet GENIE qui s'avère finalement ne pas remplir les objectifs de préparation à DARWIN, reste officiellement considéré par l'ESO, mais la décision finale est suspendue à des mesures des effets polarimétriques du VLTI. Une évolution (promue notamment par la France) est en discussion pour une éventuelle implantation en Antarctique.

La communauté française s'est impliquée largement dès 2001 dans la définition des objectifs scientifiques

prioritaires pour la deuxième génération d'instruments au VLT. Elle a soumis 4 propositions en tant que PI, pour les instruments KMOS, MUSE, PF et X-Shooter. Finalement, les instituts français sont PI de 2 instruments (MUSE et SPHERE/ex-PF) qui vont représenter un effort de développement important jusqu'en 2010-2012 ; ils participent également à un troisième instrument (X-Shooter).

Instrument VLT de deuxième génération

Hawk-I, construit par l'ESO, est un imageur infrarouge (0,9-2 μ m), avec un champ de 7,5' et un pixel de 0,1" (4 2kx2k Hawaii2RG). La phase de construction a débuté en 2005 et l'acceptation préliminaire en Europe est prévue mi 2006. Hawk-I sera alimenté par le système d'optique adaptative qui devrait fournir des images de 0,25" en K. Cet instrument sera un complément à VISTA pour des relevés profonds à haute résolution.

MUSE est construit par un consortium de 6 instituts sous la responsabilité du CRAL. C'est un spectrographe intégral de champ qui permettra de couvrir un champ de 1'x1' (7,5"x7.5" en mode limite de diffraction) dans le domaine visible, avec une résolution de 1500-3000. L'instrument sera alimenté par le système d'optique adaptative GALACSI (coût global 15M€). Son installation est prévue sur UT4 en 2012. Le coût de MUSE (hors GALACSI et non consolidé) est de 10,8 M€ dont 2,4 d'infrastructure amenés par la France qui fournit également 107 FTEs (sur 175). 225 nuits garanties ont été obtenues.

Planet Finder sera construit par deux groupes (LAOG et MPIA) qui, à la suite de 2 phases A concurrentes, ont joint leurs efforts. Les capacités scientifiques du projet d'imageur du LAOG seront renforcées par l'adjonction d'un système intégral de champ (IFS) et d'un polarimètre différentiel (ZIMPOL). La première mise en opération au Chili est prévue en 2010. La concurrence est très forte (Gemini sud) et l'installation se fera par étape sans attendre la totalité des modes. Le budget total est de 9,3 M€ dont une partie (1,2 M€) provenant d'un JRA. La France fournit 1 M€ et 110 FTEs (sur 180).

X-Shooter est un spectromètre bidimensionnel à large bande (0,32-2,3 μ m) de résolution 6 000 à 12 000 (fente 0,6"). La participation française est au GEPI et à APC. Il se compose de 3 spectrographes dédiés chacun à une bande spectrale : UV/Bleu, Visible/Rouge, et proche infrarouge. Il sera installé à un foyer Cassegrain. Il est construit et financé par un consortium (Danemark, Italie, Pays-Bas, et France), la

• Projets sol prioritaires à 5 ans

France fournissant l'unité intégrale de champ et l'ensemble du logiciel de réduction des données. La première lumière est prévue en 2008 et l'instrument devrait être prêt en accompagnement à GLAST (2006-2011) et SVOM/ECLAIR, ainsi que SWIFT (si son activité est prolongée, ce qui semble probable). Le coût est de 5,5 M€, la part de la France (hors 12 FTEs) étant 140 K€ (financés essentiellement par le programme Astroparticules), pour un retour en temps garanti de 21 nuits.

KMOS1, sans participation française, sera construit par un consortium anglo-allemand (UKATC Edinburgh, Universities de Durham et Oxford ; MPE Garching, Sternwarte Munich and ESO), sélectionné pour une phase PDR actuellement à mi-parcours. 250 nuits garanties sont attribuées. KMOS1 est un spectrographe cryogénique couvrant un champ de 7 minutes dans la bande 0,9-2,5 μ m, avec une résolution supérieure à 3 000 et des capacités multi-objets 3D, avec 24 IFUs couvrant chacun un champ de 2x2' avec un pixel de 0,2". La première lumière est prévue à l'horizon 2010.

Instrument VLTI de deuxième génération

La deuxième génération VLTI a fait l'objet d'un financement de près d'une dizaine d'études de concept par l'European Interferometry Initiative (émanation d'OPTICON) après appel à idées. Parmi elles, 4 concepts de spectro-imageurs (ci-dessous) ont été retenus par l'ESO en 2005, 3 en proche IR, 1 en IR moyen. L'ESO devait engager des études de phase A après une revue début 2006. Suite à l'appel d'offre de l'ESO, des consortiums larges, tous à participation française, ont déposé en janvier 2006 une proposition de phase A.

Les concepts retenus entrent dans le cadre d'une décision du Conseil de l'ESO (décembre 2004) prônant l'évolution du VLTI vers l'imagerie à 4 télescopes en « référence de phase » permettant donc l'imagerie d'objets faibles. A l'inverse de la première génération, le financement de la deuxième génération est intégré au budget prévisionnel de l'ESO pour un total de l'ordre de 6 M€, dont environ 3 M€ pour l'instrumentation prise en charge par l'ESO (dépendant de la frontière encore floue entre instruments et infrastructure). De même que d'autres pays prévoient un financement additionnel, un financement de 1 M€ pour l'instrumentation et de 0,6 M€ pour l'infrastructure est prévu par le CNRS au titre de la participation française. L'évaluation des coûts reste très préliminaire au stade d'avancement des différents projets. Des synergies potentielles en particulier, ont été identifiées (optique intégrée, injection, optique adaptative IR (avec possibilité d'OA sur les AT), suivi de franges interne, métrologie

interne..) qui seraient susceptibles de faire baisser les coûts, de typiquement 1 M€ envisageable entre Vitruv et Gravity.

L'implication nationale demeure forte à tous niveaux : réseau européen et appel à idées, réponses et montage de consortium. Il faut noter que la montée en puissance du VLTI se déroule en parallèle au démarrage récent de l'interféromètre à 6 télescopes CHARA, de la relance du rajout des AT de l'interféromètre Keck et du financement maintenant acquis de l'interféromètre anglo-américain de Magdalena Ridge.

Matisse proposé par une partie du consortium franco-germanique MIDI, mais à PI français, résulte, à la demande de l'ESO, de la conversion du concept APRES-MIDI en un instrument complet, également à 4 voies mais plus efficace grâce à la simultanéité d'accès aux bandes NIR et MIR (accès aux bandes L, M et Q, ie 3, 5 et 20 μ m) et les progrès sur les détecteurs. Un tel instrument remplacerait à terme MIDI. Le projet est estimé à 3,0 M€ non consolidés. La France devrait amener 30 FTEs sur un total de 80 et participer au financement à hauteur de 30%.

Vitruv est un spectro-imageur proche IR, successeur naturel d'AMBER. Proposé par un consortium large (PI en France) il est fondé entièrement sur l'optique intégrée maintenant parfaitement validée (IONIC sur IOTA et VLTI). Visant typiquement 4 voies mais admettant jusqu'à 8 voies en principe, il serait optimisé en terme d'efficacité. Des discussions sont en cours avec les proposants de GRAVITY et BOBCAT, aux objectifs partiellement similaires, pour la possible mise en commun de certains éléments. Le projet anglais BOBCAT ayant fusionné avec Vitruv, celui-ci intègre un suiveur de franges et la phase A comprend une étude comparative de l'optique de volume et de l'optique intégrée. Le projet est estimé à 3,2 M€ non consolidés, la part du suiveur de franges est de 0,25 M€. La contribution de la France pourrait être de 55 FTEs sur un total de 78.

Gravity est un concept franco-allemand de recombineur proche IR, visant l'étude d'objets faibles en général, dont les micro-quasars, les AGN et les possibles planètes extrasolaires, et optimisé pour l'étude des effets gravitationnels au centre galactique. Il requiert des capacités accrues d'accès à des références faibles (et en IR) et plus pointues de référence de phase. Le concept inclut donc des étages spécifiques d'optique adaptative et de séparation de champ. Il est également très optimisé pour la sensibilité maximale. Partie des besoins relèvent de l'infrastructure du VLTI et pourraient être traités globalement avec les autres instruments. Estimé à 3 M€ non consolidés, avec les éléments

d'infrastructure (0,5 M€), le projet est appuyé par un financement additionnel de 1 M€ du MPfE (Garching). L'apport de la France serait de 27 FTEs sur un total de 80. Coût global: 3 M€, dont le suiveur de franges et la métrologie interne spécifique. Une contribution hollandaise (initialement dans PRIMA-DOL) de 0,5 M€ pourrait être ajoutée.

Bobcat était à l'origine un projet purement britannique. C'était un spectro-imageur proche IR de 3 à 6 voies reposant sur un design en optique de volume issue de la technologie de l'interféromètre COAST (Cambridge). Il comprenait un suiveur d'enveloppe des franges, autorisant un suivi sur objets faibles, et un ensemble de 9 caméras proche IR. Il a finalement fusionné son concept avec Vitruv et n'a pas répondu séparément à l'AO de l'ESO.

Recommandations

La première génération d'instruments sur le VLTI est un succès auquel la France a largement contribué. Tout naturellement, les laboratoires français souhaitent s'impliquer au meilleur niveau dans la deuxième génération d'instruments.

Trois projets restent aujourd'hui en présence (Matisse, Vitruv, Gravity). Matisse et Vitruv, qui intéressent une large communauté, mais aussi Gravity, plus focalisé, sont très soutenus et apparaissent complémentaires. Tous ne seront peut-être pas sélectionnés, mais il est trop tôt pour afficher aujourd'hui des priorités qui ne pourront être émises qu'à l'issue des phases A actuellement en cours, et quand les phasages des projets seront connus.

OHANA

OHANA a fourni une grande première courant 2005 avec les premières franges entre les télescopes Keck I et II, étape cruciale sur le trajet menant à la mise en réseau des grands télescopes de Mauna Kea et l'observation de magnitudes atteignant $m_K=12$ ($m_K=17$ avec suiveur de franges). Le projet est en phase II depuis début 2004, visant le couplage des Keck puis de Gemini et CFHT. Cette étape a permis de résoudre les difficultés opérationnelles une à une, notamment les vibrations des infrastructures et les variations de température. Le résultat obtenu en juin 2005 est une avancée importante puisqu'il s'agit de la première utilisation concluante de fibres en lieu et place de l'optique de volume pour le transport des faisceaux entre télescopes d'un grand interféromètre.

Le projet a souffert de difficultés météo et de limitations des infrastructures plus ardues qu'anticipé, expliquant le prolongement de la phase II. Cette situation n'est pas anormale au regard de la complexité logistique de l'ensemble et du fait que l'infrastructure n'a pas été prévue en vue d'une telle utilisation. Compte tenu de l'intérêt pour le site mais plus encore pour une génération future de grands interféromètres dont il est un des précurseurs possibles, le concept demeure très attractif et le soutien au projet s'impose jusqu'à l'achèvement de la phase II.

On peut noter que le retour scientifique de la phase II est déjà engagé avec l'attribution d'une double nuit au Keck en mai 2006 pour l'observation d'AGNs et de YSOs.

En revanche la phase III du projet, consistant à

coupler progressivement les deux bases courtes entre elles puis avec l'IRTF et Subaru, offrant l'accès à la résolution maximale, de plus de 5 fois celle du VLTI, ne pourra être programmée que sur la base d'une analyse détaillée des limitations observées à Mauna Kea et du coût de l'opération, mais aussi des difficultés objectives rencontrées pour disposer de la souplesse nécessaire à l'attribution du temps de mise en œuvre du mode OHANA sur des télescopes d'institutions différentes, impliquant une négociation institutionnelle des conditions d'accès.

Recommandations

La communauté scientifique apporte son soutien à la phase II qui doit impérativement être poursuivie. Elle recommande à l'équipe en charge d'OHANA de trouver le juste équilibre entre l'exigence d'un retour scientifique de cette phase II (d'ailleurs déjà engagé), et la nécessité d'avancer rapidement les phases de R&D.

Malgré l'intérêt affiché des sociétés opérant les télescopes, le site de Hawaii n'est pas le seul site possible pour une éventuelle phase III, qui ne pourrait s'envisager qu'après un chiffrage complet des coûts et des forces nécessaires, et donc une évaluation soigneuse du rapport science/coût, et après avoir tiré tous les enseignements de la phase II. Il reste que cette opération prépare le futur de l'interférométrie au-delà du VLTI, et que les opérations de R&D qui sont et seront menées sont essentielles pour la réalisation des futurs réseaux de grands télescopes.

SKA/LOFAR

SKA

SKA ou « Square Kilometer Array » est un télescope d'un million de mètres carrés pour la radioastronomie centimétrique-métrique. Ce radiotélescope géant devrait être 100 fois plus sensible pour les observations de raies spectrales, et 1 000 fois plus en continuum que les instruments actuels. Il opérera aux fréquences 0,15 – 25 GHz ($\lambda = 1,2\text{cm} - 2\text{m}$), et son champ de vue sera au minimum 1 (jusqu'à 100) degrés carré à $\lambda = 21\text{ cm}$ (1,4 GHz). Il pourra avoir 8 champs de vue indépendants, en observations simultanées. Par interférométrie, sa résolution angulaire sera typiquement 0,01 arcsec à $\lambda = 21\text{ cm}$.

Ce projet regroupe des chercheurs de plus de 15 pays, dont les Etats-Unis, l'Australie, le Canada, la Chine, l'Inde, l'Afrique du Sud et un certain nombre de pays européens dont la France. Cette communauté a fait une sélection de projets scientifiques clés pour SKA, pour lesquels on s'attend à ce que l'instrument ait un impact unique au moment de sa mise en opération, à l'horizon 2020 :

- (1) évolution de galaxies et des grandes structures (relevés en raies HI, CO et en continu ; nature de l'énergie noire) ;
 - (2) l'âge obscur de l'Univers (époque de réionisation, formation des premiers objets lumineux) ;
 - (3) gravitation (pulsars, trous noirs) ;
 - (4) origines et évolution du magnétisme dans l'Univers ;
 - (5) les origines de la vie (exobiologie, SETI) ;
- et l'exploration de l'inconnu (la majorité des découvertes en radioastronomie n'était pas prévue...).

Par exemple, l'un des impacts scientifiques majeurs de SKA est prévu en cosmologie et en extragalactique : actuellement on peut cartographier une galaxie spirale « standard » (à $10^9 M_{\odot}$ de HI) en raie HI jusqu'à une vitesse radiale de 10 000 km/s, mais avec SKA on attendra facilement $z = 2$ et on pourra mesurer les profils de leurs raies HI jusqu'à $z \sim 6$: ceci donnera accès aux décalages vers le rouge, champs de vitesses et courbes de rotation de millions de galaxies. Pour la détermination de la nature de l'énergie noire on estime qu'il faudra mesurer les profils de la raie HI d'un milliard de galaxies jusqu'à $z=2$ réparties sur le ciel entier – seul le SKA semble être apte à cette tâche.

Le concept pour la construction de SKA n'est pas encore choisi : plusieurs possibilités sont étudiées, dont une collection de 10-20 grands télescopes épousant un relief naturel (Chine) ou non (Australie), ou un grand nombre d'antennes de petit diamètre (LNSD, USA), ou la technologie des tuiles et réseaux phasés, proposée par l'Europe. Il est possible qu'une combinaison de ces designs soit nécessaire pour couvrir toute la gamme de fréquences requise. Le concept devrait être choisi en 2009, et les divers sites possibles seront pleinement caractérisés fin 2006.

Depuis le dernier exercice de prospective de l'INSU, la France s'est beaucoup impliquée dans la préparation de SKA. Dans le cadre de SKA-DS (SKA Design Study, l'étude préparatoire européenne cofinancée par la CE dans le cadre du 6ème PCRD), la France participe au projet EMBRACE, un démonstrateur du concept européen implanté à Westerbork et à Nançay, qui consiste à construire de nombreux éléments identiques (Vivaldi), puis les faire interférer. Tout comme LOFAR, ce concept nécessite une grande puissance de calcul. La France participe aussi à la R&D (ASIC, RFI-mitigation). La modélisation de l'époque de réionisation, et l'interface avec le concept européen, sera fait par l'équipe du projet Horizon.

La France a depuis 2 ans un membre officiel à l'ISSC (International SKA Steering Committee), et, par ce biais, contribue financièrement à la préparation de SKA, et notamment au fonctionnement du bureau projet (ISPO, International SKA Project Office). L'ISSC compte 21 membres, entre lesquels les frais de fonctionnement de l'ISPO sont partagés. Les pays représentés dans l'ISSC sont les suivants : Consortium européen ESKAC (7 représentants Europe : 1 Allemagne, 2 Angleterre, 1 France, 2 Pays-Bas, 1 Italie), consortium américain (7 représentants), consortium australien (2 représentants), consortium canadien (2 représentants), Afrique du Sud, Chine, Inde.

La France accueillera en 2006 le Project Scientist, payé pendant 2 ans par l'Union Européenne (et un an par la France). Pour donner un ordre de grandeur, la France a obtenu du SKA-DS 1,6 M€, et donc contribue de son côté à une somme équivalente, pendant 3 ans.

Le planning proposé par les porteurs du projet est le suivant : début de construction de SKA en 2010, à 10% de la surface en 2013, début de la science préparatoire en 2014 et surface totale en 2020.

Le budget de SKA doit être contenu sous le milliard d'euros, ce qui nécessite des actions de R&D (qui font l'objet des Design Studies actuelles). En outre, le financement de SKA n'est pas acquis, les pays partenaires ne s'étant pas encore engagés sur le montant de leur participation ni sur un calendrier de financement. Enfin, l'ampleur de ce projet nécessitera la mise en place d'une structure/organisation internationale capable de gérer la construction et l'opération de SKA. Des réflexions ont lieu actuellement sur la forme que pourrait prendre cette organisation.

LOFAR

LOFAR (Low Frequency Array) est un radiotélescope de nouvelle génération (réseau phasé), en quelque sorte un précurseur de SKA, mais aux basses fréquences (en dessous de 0,25 GHz, ou $\lambda > 1,2$ m). Le coût de l'instrument est dominé par l'électronique, et non plus par les antennes elles-mêmes, qui se réduisent à un grand nombre d'unités multidirectionnelles (25 000 en phase 2 sur 350 km, 15 000 au début sur 100 km). Le signal est rapidement traité et recombinaison pour former un lobe dans une direction donnée. Le débit devra être de plusieurs Tera-bits/s, et les capacités de calcul des dizaines de Teraflops.

L'instrument est réalisé par un consortium d'instituts néerlandais, essentiellement astronomiques, mais alliant aussi la géophysique, les agro-technologies, les STICs, étant donné qu'à côté de chaque antenne seront disposés des « senseurs » spécialisés, qui pourront utiliser le réseau (fibres optiques) et les processeurs centraux (IBM/Blue-Gene) et ainsi travailler simultanément pour traiter d'autres données (questions d'environnement par exemple). Le projet LOFAR utilisera le réseau européen GEANT, qui est déjà utilisé par le VLBI (EVN), en reliant plusieurs radio-télescopes.

Les programmes clés envisagés avec LOFAR sont :

- (1) l'époque de réionisation ;
- (2) les grands surveys extragalactiques : amas de galaxies, galaxies starbursts, qui bénéficieront du grand champ ;
- (3) les phénomènes transitoires (GRB, SN, LIGO...)

grâce au lobe instantané ;

- (4) les rayons cosmiques UHE, déjà détectés récemment avec LOPES (station prototype de LOFAR) ;
- (5) les pulsars.

La résolution spatiale sera de l'ordre de 1 arcsec en milieu de bande, le champ de 100 degrés carrés, la sensibilité de 1 mJy. Le site se trouve aux Pays-Bas, les premières antennes de démonstration sont déjà opérationnelles, et la construction à grande échelle démarre fin 2005 avec une disposition de 5 bras spiraux, à cœur compact.

Bien que la France ne participe pas à LOFAR, le groupe « RFI mitigation » est en contact avec le groupe d'ASTRON pour des développements de logiciels. Des tests d'interférométrie sont en cours entre les premières antennes LOFAR à Dwingeloo et le réseau décimétrique de Nançay (Jupiter) pour évaluer la faisabilité de l'installation de stations distantes. Un atelier LOFAR s'est tenu à l'Observatoire de Paris et a montré l'intérêt de certaines communautés pour ce projet. L'objectif de la réionisation intéresse vivement les cosmologistes français.

Recommandations

La communauté scientifique félicite les équipes concernées pour l'évolution très positive de ce dossier depuis le colloque de La Colle sur Loup. Elle note la participation active de l'Observatoire de Paris dans la phase de définition du concept (SKA-DS puis SKA-ES, accueil du prototype EMBRACE à Nançay, Project Scientist à Paris), et de la France dans les structures internationales. Elle encourage les équipes scientifiques et techniques à réfléchir dès à présent aux possibilités d'implication de la France au-delà de la phase EMBRACE.

LOFAR est un projet à très court terme qui devrait commencer ses premières observations en 2007 ; il est souhaitable que la communauté française puisse s'impliquer scientifiquement dans l'exploitation de ce nouvel instrument, bien que la France ne participe pas directement à sa réalisation dans sa configuration actuelle.

ATST/FASR

ATST

L'Advanced Technology Solar Telescope (ATST) est un projet américain, mené par le NSO, de télescope « versatile » de 4 m de diamètre sans polarisation fonctionnant du visible à l'IR lointain (30 μ m). Il est

muni d'une optique adaptative et doté d'une large panoplie d'instruments focaux permettant entre autres des recherches en spectro-polarimétrie dans un domaine spectral étendu, en haute résolution angulaire. Le projet ATST garantirait à la

• Projets sol prioritaires à 5ans

communauté solaire sol européenne un accès au plus grand télescope solaire optique du monde tout en ouvrant, en contrepartie, sa gamme de télescopes de la « classe 1m » (THEMIS, Swedish Solar Telescope, GREGOR allemand) aux équipes américaines dont les programmes scientifiques ne nécessiteraient pas l'usage d'un télescope de 4 m pour lequel la pression d'utilisation sera certainement très élevée. La communauté française a participé à la soumission d'une demande de « design studies » dans le cadre du 6ème PCRD, demande qui n'a malheureusement pas abouti. Il est souhaitable qu'une participation au projet se fasse au niveau d'un effort concerté européen et dans ce but la communauté française poursuit des rencontres sur le thème de l'ATST avec les collègues, espagnols et allemands en particulier.

Parmi les actions qui pourraient permettre de concrétiser une participation française au projet ATST, on pourrait proposer par exemple :

- l'utilisation de THEMIS pour des expériences et tests utiles à ATST : caractérisation de la polarisation instrumentale sur un grand télescope, évaluation de nouveaux détecteurs et dispositifs polarimétriques ;
- l'extension de BASS 2000 pour la mise sur pied d'une archive européenne des futures données ATST incluant la production de résultats élaborés issus de compétences reconnues, comprenant l'inversion rapide de données magnétométriques vectorielles et l'extrapolation de données photosphériques vers la couronne.

Un comité international (ATST Partnership and Governing Board) est en train de se constituer dans le but de défendre financièrement le projet, d'arriver à une définition finale et d'organiser aussi l'attribution de temps de télescope. Un représentant de la communauté française est invité à y participer.

Au niveau européen, un consortium s'est créé autour de la physique solaire, EAST. Son but est d'assurer aux astronomes solaires européens l'accès futur à des télescopes solaires de classe internationale, en coordonnant d'une part l'utilisation des télescopes européens existants et une participation européenne à ATST, tout en étudiant d'autre part un projet de nouvelle génération de télescope solaire européen (EST) aux Canaries.

Recommandations

La communauté constate qu'une participation de la France à ATST nécessiterait une mobilisation de la communauté française au sein d'une coordination européenne forte. Des évolutions au niveau européen ont récemment eu lieu avec la création

d'un consortium européen en physique solaire. L'investissement des astronomes solaires français y est encouragé.

FASR

Le projet américain de radiohéliographe FASR (Frequency Agile Solar Radiotelescope) fera de l'imagerie rapide de l'atmosphère solaire en ondes radioélectriques entre 0,1 et 30 GHz. Deux types inédits d'observations concernent directement ce programme de recherche : la première imagerie radio dans la gamme de fréquences couvrant les régions d'accélération des électrons lors des éruptions et la première cartographie des champs magnétiques dans la couronne active. La communauté française participe à ce projet pour des projets de R&D et souhaite participer à l'exploitation scientifique. La motivation principale de cette participation est l'intérêt de la communauté française pour l'étude des processus non-thermiques dans la couronne et celle des relations Soleil-Terre. Ceci implique que l'instrument doit être performant entre 100 et 500 MHz, domaine d'expertise des radioastronomes français. La participation à FASR financée par l'INSU et l'Observatoire de Paris en 2005 consiste en une étude d'implantation des algorithmes et d'une voie numérique adaptée aux bandes basses fréquences de l'instrument (100 à 300 MHz et 0,3 à 3 GHz). Deux antennes du radiohéliographe de Nançay ont été modifiées pour tester une voie à haute dynamique, et la réalisation d'une voie à dynamique plus faible se fera en 2006, correspondant mieux aux besoins de la bande 0,3 à 3 GHz. La construction d'un prototype basse fréquence est prévue à partir de 2007. La mise en service de FASR pourrait survenir en 2011. Au niveau américain, la demande de financement pour l'étude préliminaire a été déposée, expertisée de manière positive et l'étude devrait commencer en 2006 pour une construction démarrant en 2007.

Recommandations

La communauté scientifique note favorablement la participation de Nançay dans l'étude d'un prototype BF, qui s'appuie sur une petite communauté bien identifiée mais qui pourrait se réduire sensiblement en l'absence de recrutement. Le projet ayant pris du retard, la construction d'un tel prototype pourrait être envisageable en 2008 - 2009.

La mise en service de FASR reposera la question du maintien du radiohéliographe de Nançay au-delà du support à STEREO, c'est-à-dire après 2010. Celui-ci ne pourrait s'envisager que dans une perspective internationale.

Astronomie au Dôme C

Bilan depuis La Colle sur Loup

En mars 2003, l'intérêt potentiel du site du Dôme C pour l'astronomie était reconnu mais les caractéristiques du site n'étaient pas quantifiées et il ne semblait pas émerger de projet dans la communauté française faute d'équipes structurées (à l'exception notable de l'équipe du LUAN qui menait les campagnes estivales sur le site).

Dès l'automne 2003, plusieurs équipes en France, mais aussi à l'étranger, ont commencé à manifester un intérêt certain pour l'astronomie au Dôme C. Cette évolution a été accompagnée par l'INSU qui a soutenu l'organisation d'un colloque à Toulouse en juin 2004, puis a mis en place un groupe de travail (ADC, Astronomie à Dôme C). L'année 2005 a vu de nouvelles évolutions :

- la construction de la station Concordia étant terminée, le premier hivernage a eu lieu entre février et octobre 2005. Le 4 octobre 2005, un accord a été signé entre la France et l'Italie pour l'exploitation de Concordia ;
- les premiers résultats extensifs de tests du site en hiver (Agabi et al. 2005, astro-ph/0510418) montrent les qualités exceptionnelles du site pour la HRA, à condition de monter au-dessus des 30 premiers mètres qui concentrent près de 90% de la turbulence atmosphérique ;
- les activités de caractérisation du site, soutenues du point de vue logistique par l'IPEV, sont maintenant en grande partie financées par une demande ANR qui a été acceptée et dont la durée est de deux ans (avec PI au LUAN) ;
- l'intérêt des équipes françaises a été relayé par les programmes nationaux. Cet intérêt s'est concrétisé par une large participation au colloque de Toulouse, et des actions vers la CSA et le CNRS (PICS). Actuellement, deux projets sont soutenus financièrement (une expérience de recherche d'exoplanètes par transit, ASTEP, et l'extension du réseau SuperDARN). Un programme coordonné de réflexion sur le développement de la haute résolution angulaire à Dôme C (Giordano Bruno) a également été soutenu ;
- par ailleurs, un petit groupe a réfléchi à un projet de fondation pour le développement de l'astronomie en Antarctique ;
- le site suscite un large intérêt international : Australie, Allemagne, Royaume-Uni pour les observations du fond cosmologique, voire Chine pour le haut plateau antarctique, et maintenant ESO, peut-être ESA ;
- le développement de l'astronomie optique-IR en Antarctique est maintenant l'objet d'un programme européen dans le cadre des Large Research Infrastructure Coordinated Activities,

ARENA (Antarctic Research, a European Network for Astrophysics, dont le PI est au LUAN). Le consortium comprend une vingtaine de laboratoires dans 7 pays et l'ESO en est membre. Il s'agit de la coordination d'activités autour de la caractérisation du site, du développement d'infrastructures et d'instruments pour l'Antarctique, et de l'identification des « niches » scientifiques de l'Antarctique.

La situation est donc assez différente de ce qu'elle était début 2003, avec une mobilisation et un début de structuration de la communauté dans des domaines aussi variés que la HRA, la physique stellaire, la physique solaire, les relations Soleil-Terre, ou l'observation du fond cosmologique. Mais les perspectives à moyen et long terme sont moins claires que ce que l'on pouvait penser mi-2004, car les caractéristiques du site en hiver montrent que le développement d'instruments de grande taille, en particulier pour la HRA, sera plus compliqué que prévu.

A court terme (d'ici deux ans), il faut aboutir à une caractérisation aussi complète que possible du site, dans l'ensemble des longueurs d'onde. Au début de l'année polaire internationale 2007-2008, il serait essentiel de disposer d'informations claires sur ce qui rend le site unique et les difficultés potentielles. Les programmes en cours (ANR, ARENA, ASTEP pour la photométrie) devraient donner des réponses à la plupart de ces questions. L'expérience des hivernages successifs devrait permettre de mieux cerner les problèmes d'opération et de logistique. Cette phase doit aller de pair avec le développement de « petites » opérations astrophysique et le début des études d'opérations plus importantes.

Recommandations

Les recommandations sont de :

- maintenir le groupe ADC avec un rôle de structuration large de la communauté, d'information et d'animation, d'examen des projets CSA/IPEV ; ce groupe devra également relancer la réflexion dans les programmes thématiques sur les programmes scientifiques prioritaires sur le site, compte tenu de ses caractéristiques, et veiller à maintenir une bonne coordination avec le consortium ARENA ;
- soutenir le développement d'un petit nombre de programmes astronomiques qui prendront le relais des activités de caractérisation du site ;
- organiser début ou mi-2007 un colloque de bilan et de prospective pour Concordia, colloque essentiellement destiné à la communauté

• Projets sol prioritaires à 5 ans

française mais qui pourrait être ouvert à la communauté internationale ;

- mettre en place une coordination institutionnelle INAF/PNRA/INSU/IPEV, dans la perspective d'une ouverture internationale de la station Concordia.

Développement à moyen et long terme

L'année polaire devrait être le bon moment pour le démarrage d'une coopération internationale de grande envergure : l'avenir de l'astronomie à Concordia passe par un élargissement du cadre strictement franco-italien. Il faudrait donc avoir déterminé courant 2007 une stratégie de développement pour l'astronomie à Dôme C, tout en gardant à l'esprit que l'Antarctique ne sera jamais un site astronomique comme les autres. Il ne faut y construire de grandes infrastructures que si cela permet de faire une science qu'on ne peut faire nulle part ailleurs sur Terre. Les questions sont donc :

- Quels instruments pour quelle science ? Physique solaire, astérosismologie, planètes extrasolaires, polarisation du fond cosmologique, ou autre ? En quoi cette science est-elle unique ?
- Quelles étapes, avec quel calendrier ? Par exemple, dans le domaine visible/IR, télescope de 2 m dans les années 2010 puis « petit » ELT ? Si télescope de 2 m il y a, il ne semble pas judicieux d'en faire un télescope généraliste ; faut-il le spécialiser en photométrie, imagerie grand champ ou spectroscopie ?
- Existe-t-il des créneaux scientifiques pour des télescopes ou des expériences de taille moyenne dans un délai compris entre 5 et 10 ans ? Par exemple, il est clair que la première lumière d'un télescope de 2 m à une hauteur de 30 m ne peut s'envisager qu'après 2010. Quelles seront à cette époque les questions scientifiques qui justifieront un investissement compris entre 5 et 10 M€, non compris l'augmentation du coût de fonctionnement de Concordia ? Ces résultats seront-ils assez porteurs pour entraîner le financement de télescopes de plus grande taille ? Pour ce qui est du fond cosmologique, quelle est la place de Concordia par rapport au Pôle Sud, au plateau d'Atacama, aux expériences sous ballon, au spatial ?
- Pour lesquels de ces créneaux scientifiques faut-il envisager un plan de développement à moyen et long termes, avec une étape de démonstration avec des instruments de taille modeste mais visant clairement l'installation d'infrastructures de grande ampleur ?
- Enfin, un dernier point d'importance : il faut garder à l'esprit que si l'existence de la station et de la logistique des convois d'été donnent à la France et l'Italie une longueur d'avance qui

explique les sollicitations des partenaires internationaux, cette situation peut évoluer. Si un plan de développement n'est pas arrêté entre les deux partenaires dans un délai assez court, et si une interface claire et lisible avec nos partenaires internationaux n'est pas mise en place, il existe un risque que des instituts et/ou des pays développent leurs propres projets à Concordia ou s'installent ailleurs sur le plateau antarctique.

Accompagnement R&D

Les projets envisagés détermineront si des actions de R&D sont nécessaires. Concordia n'étant pas le site idéal pour installer une instrumentation complètement novatrice, il s'agit plutôt d'études au cas par cas que de réelle R&D. Selon le cas, il s'agira d'études thermiques, de cryogénie, sur la robotisation de télescopes, sur un concept d'optique adaptative adapté au profil particulier de turbulence ou sur le type de structures à envisager pour installer des télescopes à quelques dizaines de mètres de hauteur. La cryogénie est évidemment un point critique, que ce soit pour l'infrarouge ou pour l'instrumentation (sub)millimétrique.

Il est cependant un domaine pour lequel la R&D est essentielle, c'est celui des détecteurs. Pour tirer parti des qualités du site, il faut viser à avoir les meilleurs détecteurs possibles, ce qui peut amener à utiliser des détecteurs qui relèvent plus du prototype que de techniques parfaitement rodées, notamment dans le domaine millimétrique/submillimétrique. Dans ce cas, il faudra veiller à ce que ces instruments soient développés avec une méthodologie rigoureuse qui minimise le temps de mise au point sur le site et les problèmes d'opération et de maintenance.

Recommandations

Cette activité a connu une très forte montée en puissance depuis le colloque de La Colle sur Loup. Celle-ci a été marquée par les étapes suivantes : colloque « Astronomie au Dôme C » à Toulouse en juin 2004 ; mise en place d'un groupe de travail ADC « Astronomie à Dôme C » ; soutien aux études de qualification du site ; soutien à la constitution d'un dossier de réseau européen à PI français, sélectionné en 2005 (ARENA -« Antarctic Research, a European Network for Astrophysics ») ; soutien à une demande de financement ANR, acceptée en 2005.

La communauté approuve les recommandations du groupe de travail ADC : (1) Finir la caractérisation du site d'ici 2 ans ; (2) Envisager de petites opérations qui pourront prendre le relais des mesures de caractérisation du site ; (3) Mettre sur pied une coordination institutionnelle ; (4) Définir une feuille

de route à l'horizon 2007 (ouverture de l'année polaire internationale (IPY)). L'intérêt des équipes françaises a été confirmé par les programmes nationaux, qui ont tous noté l'intérêt majeur du site, et les initiatives dans le domaine optique-infrarouge se situent désormais dans un contexte européen avec

le programme ARENA (sélectionné dans le cadre de Large Research Infrastructure Coordinated Activities). La réflexion doit se poursuivre, au sein du groupe ADC comme des programmes, alimentée par les résultats des opérations en cours, pour définir des perspectives à moyen et long terme.

HESS-2

HESS est un ensemble de 4 télescopes installés en Namibie dont l'objectif est l'observation du ciel à très haute énergie. Lors de la prospective de La Colle sur Loup, la construction des 4 télescopes était presque achevée ; depuis, HESS produit une moisson de résultats spectaculaires (voir chapitre moyens existants ; la collaboration a publié 16 articles dans des revues de rang A en 2005).

Le projet d'extension, déjà discuté en 2003, a sensiblement évolué depuis, au vu des performances et des résultats obtenus. Il s'agit désormais d'ajouter un cinquième télescope de grande taille (600 m² de surface collectrice) au centre du réseau existant. Ceci permettrait d'abaisser à 20 GeV (au lieu de 100 GeV actuellement) le seuil en énergie, permettant ainsi de faciliter le raccordement des calibrations de GLAST et de HESS, d'accroître de façon sensible le nombre de sources détectables (en raison des spectres très pentus des sources observées), et de permettre une recherche plus approfondie d'éventuels produits d'annihilation de la matière noire. En outre, on augmentera par un facteur ~2 la sensibilité au-dessus de 100 GeV, en accroissant la surface effective. Enfin, ceci ouvre la voie à une seconde extension qui consisterait à rajouter un deuxième télescope de grande taille, qui, en améliorant la fonction stéréoscopique, améliorerait encore la sensibilité et abaisserait le seuil de détection. Le coût total de l'opération est d'environ 8 M€ (hors salaires), dont environ la moitié pour la France.

L'évolution du concept HESS-2 (rajouter un grand télescope plutôt que plusieurs petits pour abaisser le seuil en énergie) a fait l'objet d'une discussion

intense au sein de la collaboration, et a été approuvée par une revue internationale du projet qui s'est tenue en juillet 2005 à la demande de la Direction de la recherche. Sans demander la transformation de HESS-2 en observatoire ouvert à l'ensemble de la communauté, le comité de revue a néanmoins recommandé que les aspects multi longueur d'onde soient mieux traités, par le biais de collaborations accrues avec d'autres groupes et observatoires, et en particulier dans le domaine radio (VLBI). Le nouvel accord ira bien dans le sens d'une ouverture plus grande aux observateurs, et il faut que la communauté astronomique se saisisse des opportunités ainsi ouvertes et sache tirer profit du soutien du département PU (coloriage des postes, ...). Il faut noter que la communauté astronomique française concernée est peu nombreuse mais très active. Plus récemment, la communauté s'est mobilisée auprès de l'INSU et de l'IN2P3 pour promouvoir, en collaboration avec la communauté allemande, un projet de très grande infrastructure « Astronomie gamma au sol » (CTA) dans le cadre de l'élaboration du FP7.

Recommandations

La communauté scientifique note la grande qualité des performances de HESS qui concerne une petite communauté d'astronomes bien identifiée et particulièrement active. Il lui est recommandé de se saisir des opportunités offertes par l'ouverture du projet à une communauté plus large, en s'appuyant en particulier sur les soutiens apportés par le Département MPPU.

ANTARES-km³

ANTARES est un détecteur de neutrinos de haute énergie, situé au fond de la mer Méditerranée. Il utilise la terre comme convertisseur de neutrinos en muons, ensuite détectés par le rayonnement Cerenkov émis dans l'eau de mer. Ce TGE international résulte d'une collaboration entre la France (PI), l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie, les Pays-Bas et la Russie.

La version 0,1 km³ du projet est en cours de construction. La ligne MILOM a été immergée en mars 2005, permettant de valider le détecteur. La production en masse des lignes a commencé et la version 0,1 km³ devrait être opérationnelle en 2007. La phase de « design study » de la version 1 km³ a démarré, financée dans le cadre du 6ème PCRD.

Le projet concerne la physique des particules et l'astrophysique (accélération de protons dans les

sources astrophysiques, matière noire et cosmologie), l'océanographie et la géophysique. Un objectif astrophysique majeur sera le suivi des nouvelles sources gamma de très haute énergie découvertes récemment avec HESS dans le plan galactique et non encore identifiées. Ces sources pourraient être accessibles avec la version de 1 km³, au vu des estimations de flux de neutrinos attendus à partir des résultats de HESS.

Recommandations

Comme il a été mentionné à La Colle sur Loup, ce projet dans sa version actuelle (0,1 km³) a peu mobilisé les astronomes qui y voyaient peu de perspectives astrophysiques. La situation pourrait changer avec la préparation de la phase 1 km³ qui pourrait permettre la détection des nouvelles sources gamma très énergétiques découvertes par HESS.

VIRGO

Le détecteur d'ondes gravitationnelles de hautes fréquences (10 Hz – 10 kHz) VIRGO est en fin de réalisation près de Pise. La phase de « commissioning » a démarré en 2003, et a pour objectif d'obtenir les performances nominales du détecteur en réduisant les diverses sources de bruit. Aujourd'hui, l'interféromètre est opérationnel, même si tous les contrôles ne sont pas encore activés. Depuis les premiers essais en novembre 2003, 5 ordres de grandeur ont été gagnés en sensibilité à des fréquences de quelques centaines de Hertz, même si on est aujourd'hui à un facteur 10 de la sensibilité nominale. Les causes sont aujourd'hui connues, et des solutions devraient être apportées ces prochains mois. Les autres interféromètres de taille comparable (LIGO) aux Etats-Unis sont actuellement proches de leur sensibilité nominale, qui est comparable à celle de VIRGO à moyenne et haute fréquences et sensiblement moins bonne à basse fréquence. Ils seront arrêtés pour rénovation (advanced Ligo) vers la fin 2010 et pourraient rouvrir à l'horizon 2013.

Le calendrier actuel prévoit une première série d'observations scientifiques mi 2006, de façon à avoir

une prise de données simultanée à celle de LIGO, puis des séries d'observation très longues en 2007, un premier upgrade léger vers 2008 qui permettrait d'augmenter significativement la sensibilité à basse fréquence, mais aussi à moyenne et haute fréquences (x2). A plus long terme, il est envisagé un upgrade majeur (advanced Virgo) qui augmenterait par presque un ordre de grandeur la sensibilité (rappelons que le volume explorable croît comme le cube de la sensibilité).

La participation des astronomes à Virgo est limitée, bien que des membres de la collaboration fassent partie de laboratoires SDU, en raison d'une part de l'absence actuelle de résultats, mais aussi de la faible implication française dans des sujets liés à Virgo (supernovae, évolution de binaires, ...).

Recommandations

Conformément aux recommandations de La Colle sur Loup, la communauté scientifique encourage une implication accrue des physiciens de l'INSU au projet VIRGO.

Observatoire Pierre Auger

Auger est un observatoire, situé en Argentine, de rayons cosmiques de très haute énergie. C'est un observatoire hybride, comprenant un ensemble de 1 600 détecteurs au sol couvrant une surface de 3 000 km² et de 4 télescopes de fluorescence. La construction est maintenant bien avancée : 1 000/1 600 détecteurs et 3/4 des télescopes sont opérationnels. La prise de données scientifiques a commencé il y a un an et demi et la statistique obtenue dépasse déjà celle de l'expérience AGASA. En parallèle, une activité importante sur la simulation des gerbes atmosphériques et des détecteurs est en cours.

Les premiers résultats ont été présentés à l'ICRC de 2005. Un premier spectre a été obtenu, compatible avec les résultats d'AGASA et de HIRes Fly's Eye. Une meilleure statistique et une réduction des incertitudes systématiques devraient permettre de lever la controverse sur la coupure GZK dans un avenir relativement proche. D'autres résultats importants concernent les études d'anisotropie. Aucun excès d'événements n'a été observé dans la direction du centre galactique, infirmant les résultats précédents des expériences AGASA et SUGAR. Enfin, les limites sur la fraction de photons au delà de 10¹⁹ eV, commencent à permettre d'éliminer certains modèles sur l'origine des CR.

Il existe un projet d'ouvrir un deuxième site dans l'hémisphère nord (Etats-Unis), l'objectif étant d'accéder à la totalité du ciel. Cet argument devra clairement être affiné au vu des premiers résultats d'Auger Sud. Par ailleurs, la détection par l'émission radio associée de gerbes dues aux rayons cosmiques a fait l'objet de R&D associant les radioastronomes de Nançay et les physiciens des particules. Les premiers résultats sont très encourageants, et les études doivent se poursuivre.

Auger est un projet qui concerne la communauté PCHE et PNC. La contribution des astrophysiciens français reste modeste mais augmente, en particulier via des recrutements récents croisés entre les communautés astrophysique et physique des particules. La contribution des radioastronomes et de la station de Nançay, si elle n'est pas aujourd'hui directement liée à Auger, doit être soulignée.

Recommandations

La communauté scientifique note que malgré sa faiblesse, la communauté astronomique a crû grâce aux postes fléchés et à la CID 47. Elle note aussi favorablement l'implication nouvelle des radioastronomes dans le projet de Gerbes cosmiques (CODALEMA) mené à Nançay en collaboration avec des physiciens des astroparticules.

EDELWEISS-2

EDELWEISS est un consortium international regroupant des équipes du CEA, du CNRS/IN2P3 avec des contributions INSU et SPM, FZ- Karlsruhe, Université de Karlsruhe (Allemagne) et Dubna (Russie). L'objectif est la détection des WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles), en utilisant des bolomètres cryogéniques au germanium, ayant la possibilité d'effectuer des détections à la fois par élévation de température et ionisation.

EDELWEISS-1, maintenant arrêté, était un démonstrateur utilisant simultanément trois détecteurs de 320 g avec des électrodes de technologies différentes et fonctionnait à une température nominale d'environ 20 mK. Entre 2001 et 2004, cette expérience a permis d'obtenir la meilleure sensibilité mondiale pour des WIMPS dont les interactions seraient indépendantes du spin, grâce à un jeu de données de 12 kg.jour. L'expérience EDELWEISS-1, arrêtée en 2004, a totalisé ~ 62 kg.jour (Sanglard et al, 2005, Phys. Rev. D71).

L'installation EDELWEISS-2 a été effectuée en 2006 avec un cryostat plus important (100 l à une température de 20 mK) construit au CRTBT à Grenoble. Dans une première étape, EDELWEISS-2 utilise 21 détecteurs germanium de 320 g chacun, munis de thermomètres NTD, et 7 détecteurs de 400 g au germanium munis d'un filtre mince NbSi, développés par le CSNSM. Dans un second temps, EDELWEISS-2 utilisera jusqu'à 120 détecteurs, pour une passe cible totale de germanium de 35 kg. La sensibilité attendue à cette étape est d'environ 2x10⁻³ événements/kg/jour, améliorant celle d'EDELWEISS-1 par un facteur 100.

Pour gagner un autre facteur 100, la collaboration est très impliquée dans une design study européenne avec pour objectif un détecteur d'une tonne. Ce projet regroupe les collaborations CRESST et EDELWEISS, et s'appuie sur le laboratoire cryogénique du CERN. L'équipe IAS (BOLERO/MANOLIA) est également impliquée dans

• Projets sol prioritaires à 5ans

des études R&D de nouveaux détecteurs permettant la détection de la lumière et de phonons.

Recommandations

La communauté scientifique confirme son soutien au projet Edelweiss-2, qui constitue à ce jour notre meilleure chance de succès pour la recherche directe de matière noire.

Physique des grands lasers

L'utilisation des lasers intenses, développés pour d'autres objectifs, permet d'envisager la modélisation de plasmas astrophysiques et l'étude de processus physiques ayant lieu dans des conditions extrêmes propres à l'astrophysique, et couvrent de très nombreux domaines d'application, de la modélisation de chocs et de jets radiatifs à la résistance des matériaux dans un contexte planétaire, en passant par la mesure d'opacité ou l'accélération de particules.

L'activité laser a bénéficié d'évolutions importantes depuis 2003. La création de l'Institut Lasers Plasmas (ILP) par le CEA, le CNRS, l'Ecole Polytechnique et l'Université de Bordeaux 1 a permis de mieux structurer la communauté ; le pôle recherche de l'ILP est une fédération dont sont membres l'OASU, le LUTH, le GEPI, et le CRAL.

Les moyens disponibles sont en nette augmentation. La Ligne d'Intégration Laser (LIL) en Aquitaine, constituée d'une chaîne laser élémentaire du LMJ, a été ouverte en 2005 aux applications civiles (4 faisceaux de 7,5 kJ) ; cet équipement sera le laser la plus puissant au monde jusqu'au démarrage du LMJ et de son équivalent américain. De plus, les performances des installations existantes s'améliorent ; le LULI 2000 (Ecole polytechnique) a ouvert en 2004 ; il est de la classe kJ pour des temps

de la nanoseconde ; toujours à Polytechnique, pico2000 se met en place et permettra à terme d'atteindre le Petawatt (en 2006 : 200 J sur 0,5 picosecondes) ; au LOA (Laboratoire d'Optique Appliquée), un laser ultra-intense (100 TW, 1 J sur 20 fs) permet de produire des électrons et des ions de haute énergie (supérieure au MeV). A noter également l'ouverture du laser Alisé (CEA/CESTA, 120 J sur une nanoseconde) à la communauté civile en 2004.

Les perspectives à moyen terme (2010) sont, outre l'ouverture du LMJ (240 faisceaux de 7,5 kJ), le couplage du laser Petawatt avec la LIL en 2010, avec pour objectif essentiel « l'allumage rapide » qui permet de former un point chaud dans une cible DT avant compression par le LMJ et de faciliter la fusion nucléaire. Il existe au LOA un projet d'aller vers des intensités supérieures au PW sur des temps très courts (< femtoseconde) pour accélérer des particules au-delà du MeV.

Recommandations

La communauté scientifique renouvelle son intérêt pour ce domaine de recherche qui dispose de moyens accrus et qui présente des implications potentielles dans de nombreux domaines de l'astrophysique.

Recherche spatiale en astronomie : état des lieux et prospective

Le colloque de prospective de La Colle sur Loup avait fait une large part à l'utilisation de l'outil spatial pour l'astronomie et l'exploration planétaire. Un an après, le CNES tenait à son tour, à Paris les 6 et 7 juillet 2004, son « séminaire de prospective scientifique spatiale ». Ce dernier a permis de définir les bases sur lesquelles reconstruire la programmation des missions et du développement instrumental dans nos domaines d'intérêt après la crise budgétaire qu'avait traversée le CNES en 2003-2004, et de donner les grandes orientations de cette reconstruction.

Les principes arrêtés par ce séminaire sont présentés dans les Actes du séminaire, à travers le rapport du CERES, auquel nous nous référons pour l'essentiel, ainsi que les rapports des différents groupes thématiques en « Etude et Exploration de l'Univers » : physique fondamentale, astronomie, système solaire, Soleil-héliosphère-magnétosphère, exo-astrobiologie.

La programmation spatiale à construire devra viser à :

- mettre en place une programmation équilibrée entre ces grandes sous-disciplines, soutenant les objectifs prioritaires et les stratégies scientifiques de chacune d'entre elles ;
- profiter de la position très intéressante de notre pays, qui dispose de deux grandes agences spatiales pour réaliser des missions scientifiques, pour fournir à la communauté scientifique une gamme complète de tailles de projets : « petits » projets à cycle de développement court réalisables dans le cadre du programme national ;

projets de taille moyenne propices à des collaborations bilatérales ; grands projets réalisables préférentiellement dans le cadre de l'ESA.

La géométrie de cette programmation définie en 2004 est présentée sur la figure 1. Sur le « socle » que constitue le programme de l'ESA (programme obligatoire et programme facultatif AURORA) on peut construire de façon complémentaire dans les autres cadres programmatiques mis en œuvre par le CNES. Par taille croissante des investissements, on va ainsi trouver :

- les participations instrumentales aux missions des autres agences et opportunités d'envol sur des plateformes non dédiées au programme scientifique ;
- les missions nationales de micro-satellites scientifiques ;
- la réalisation d'une mission nationale de Vol en Formation en collaboration avec un partenaire ;
- les missions nationales de taille moyenne, successeurs de COROT dans la programmation.

Nous faisons le point sur la programmation en cours dans ces différents cadres, en particulierisant les cas de l'exploration de Mars et des projets de physique fondamentale. La figure 2 montre la projection des activités sur les différentes lignes programmatiques telle qu'on peut la faire aujourd'hui sur la période 2005-2012.

Le programme obligatoire de l'ESA

Assurer le meilleur retour scientifique possible de ce programme est la toute première priorité, car il est le seul moyen de donner accès aux missions de grande taille à la hauteur des enjeux scientifiques les plus importants des vingt prochaines années. Cela implique le maintien du niveau de ressources du programme scientifique obligatoire de l'ESA en prolongeant au-delà de 2006 les chiffres actuels (qui prévoient une compensation de l'inflation au niveau de 2,5% par an) et le maintien de la participation instrumentale française au niveau élevé (de l'ordre de 30%) qu'elle a connu jusqu'à présent. En 2004, le CNES a défini en amont des sélections de l'ESA ses priorités pour la participation instrumentale des laboratoires français à la mission BepiColombo. Une contribution modeste budgétairement mais qualitativement significative à la charge utile

technologique de la mission préparatoire LISA PATHFINDER a pu être définie, grâce à la mobilisation des groupes de recherche de la communauté de recherche sur la gravitation. En 2005, le CNES a lancé la définition du segment sol de la mission GAIA, un élément complexe et essentiel d'appui au succès scientifique de cette mission. Mais simultanément, les difficultés se sont accumulées à l'ESA dans la réalisation des dernières missions prévues dans le cadre du programme obligatoire : difficultés sur le bouclage de BepiColombo et sur le montage de LISA, retards dans le démarrage de Solar Orbiter.

Les années 2004 et 2005 auront été consacrées par l'ESA au lancement de la suite du programme obligatoire, pour la période 2015-2025 : le programme

• Recherche spatiale en astronomie

Cosmic Vision. Après un appel à thèmes de missions, puis un colloque (septembre 2004 à l'UNESCO) et un symposium ESLAB, les groupes de travail consultatifs de l'ESA ont achevé avec l'exécutif la rédaction du document stratégique « Cosmic Vision » en octobre 2005. Ce document définit les éléments de programmation souhaités, ainsi que les technologies à mettre en œuvre pour les rendre réalisables et une procédure de sélection et de programmation. Cosmic Vision propose de construire la programmation future autour de 4 grands thèmes :

- Les conditions de la formation des planètes et de l'émergence de la vie ;
- Comment fonctionne le Système Solaire ?
- Quelles sont les lois physiques fondamentales de l'Univers ?
- Comment l'Univers s'est-il formé, et quels en sont

les constituants ?

Ces quatre thèmes appellent une panoplie large de missions types de tailles grande ou moyenne, selon le cas, réalisables à des horizons très variés. Leur étude détaillée effective, puis leur sélection compétitive pour mise en œuvre, feront l'objet d'un processus interactif avec la communauté scientifique qui devrait commencer par un premier appel à proposition de missions, peut-être aussi tôt que mi-2006. Il est essentiel que la communauté nationale, qui a largement alimenté l'exercice de ses idées par ses nombreuses propositions de thèmes en 2004, se mobilise maintenant, avec le soutien du CNES et des organismes de recherche, pour répondre à cet Appel d'offres par des missions capables de relever les grands défis scientifiques.

Participations d'opportunité sur mission autre agence (ex : MSL)	Mission nationale Vol en Formation, avec partenaires(s)	Mission moyenne nationale, avec partenaire(s) (ex : Corot)	Missions microsat nationales (ex : Picard)
Participations au programme scientifique obligatoire de l'ESA et au programme Aurora			

Figure 1. Remarque : une mission étudiée dans une classe peut être proposée/développée dans une autre, si une meilleure opportunité se présente (ex : Mars Express, Planck ...)

L'exploration de Mars et le programme Aurora de l'ESA

L'exploration de Mars, et son objectif de réaliser à terme un retour d'échantillon de la planète rouge, a été de façon constante la grande priorité de la communauté des sciences planétaires au cours des derniers séminaires de prospective du CNES. Cette priorité, réaffirmée en 2004 malgré l'échec du projet d'un grand programme martien franco-américain, doit maintenant être concrétisée dans des cadres différents.

La mission MSL 2009 de la NASA a offert une opportunité d'envol d'instruments d'étude de la surface de Mars à laquelle le CNES et la communauté ont pu répondre. La contribution nationale à cette

mission d'exploration de sites géophysiques particulièrement attrayants par de gros rovers est aujourd'hui définie, et se situe à un niveau significatif.

A côté de cette participation au programme de la NASA, le programme facultatif AURORA de l'ESA offre aujourd'hui la perspective d'une participation européenne concertée et ambitieuse à l'étude scientifique de Mars. La première mission de ce programme, EXOMARS, propose un programme scientifique conjuguant objectifs de géophysique/géochimie et d'exobiologie, conformément au souhait exprimé par notre communauté. Le Comité

des Programmes Scientifiques du CNES a recommandé une participation à ce programme fondée sur trois volets jugés indissociables :

- une contribution financière du CNES via un financement de ce programme ;
- une contribution en nature, à travers des contributions du CNES (aux niveaux missions et véhicules) qui valoriseront son investissement passé dans la préparation du programme Mars ;
- la réalisation et la fourniture d'une station géophysique intégrée, héritière des études

réalisées pour Netlander, qui pourrait être mise à poste par EXOMARS et par des missions ultérieures (y compris américaines). Ce développement permettrait ainsi de réaliser dans le temps le déploiement d'un réseau de stations géophysiques, en particulier pour la caractérisation de la structure interne de Mars par sismologie. Compte tenu de la maturité de ce projet et des travaux intenses de la période 1999-2002, des activités de niveau phase A sont programmées pour 2005-2006.

Les missions de micro-satellites

L'année 2004 a vu la confirmation de l'engagement du projet de microsatellite PICARD, en vue d'un lancement début 2008 compatible avec la remontée du cycle solaire. Cette décision a marqué le redémarrage de la ligne micro-satellites sur plateformes Myriade pour notre discipline. Pour préparer la suite de ce programme, le CNES réalise des études de phase A en 2005-2006 sur les projets

TARANIS (étude des décharges nuages/ionosphère et de leur rôle dans le circuit électrique global de l'atmosphère terrestre) et ECLAIRS/SWOM (étude multi-longueurs d'onde des sursauts gamma), priorités du CERES, et sur le projet LYOT/SMESE de physique solaire. Ces deux derniers projets sont également à l'étude actuellement dans la perspective d'une coopération avec la Chine.

La mission nationale de vol en formation

Le CNES a concrétisé sa volonté de réaliser une mission scientifique de démonstration du vol en formation en collaboration bilatérale avec une autre agence. L'intérêt de l'astronomie pour le vol en formation avait été fortement exprimé lors du séminaire de prospective, et quatre projets de vol en formation avaient été retenus : ASPICS, SIMBOL-X, MAX, et PEGASE. A la suite des études de phase 0 menées en 2005 pour ces quatre projets en liaison étroite entre les équipes du CNES et les laboratoires, une présentation publique des résultats des phases 0

suivie de réunions du CERES et du CPS a permis d'aboutir à la proposition de sélectionner la mission SIMBOL X pour une phase A en vue de son engagement en phase B à l'horizon 2007 et d'un éventuel lancement dans la période 2011-2012. Parallèlement, il a été recommandé de poursuivre l'étude de systèmes ou technologies critiques sur les missions PEGASE (caractérisation de « Jupiters chauds » par interférométrie IR à deux pupilles) et MAX (lentille et télescope gamma) qui pourraient être reproposées dans le cadre ESA de Cosmic Vision.

Les missions nationales de taille moyenne

Deux projets de cosmologie, DUNE (recherche de la matière noire) et SAMPAN (polarisation du fond cosmologique), et une mission de rendez-vous avec un astéroïde géocroiseur ont été retenues en priorité par le séminaire de prospective du CNES. Les thèmes scientifiques portés par ces projets figurent également dans le document de prospective de l'ESA « Cosmic Vision 2015-2025 » et les activités d'avant-

projet (phases 0/A) permettront de les préparer aussi aux sélections futures de l'ESA, à l'instar de PLANCK-SURVEYOR, qui a bénéficié de la petite mission SAMBA étudiée par le CNES. Des activités de phase 0 ont été conduites en 2005 pour ces 3 projets, dont un devrait passer en phase A courant 2006 suite à un examen compétitif semblable à celui réalisé pour le vol en formation.

Les missions relatives à l'astrophysique des hautes énergies

Les missions spatiales explorant les domaines X et γ sont essentielles pour l'étude de tous les phénomènes astrophysiques de haute énergie : objets compacts, étoiles à neutrons et trous noirs. Les missions actuellement en opération sont, du côté européen, XMM-Newton et Integral qui ont vocation à se prolonger jusqu'en 2010, et du côté américain, CHANDRA et SWIFT, consacré à l'étude des sursauts

gamma et des blazars. A côté de ces missions programmées, la communauté des astronomes français est très intéressée par la mission GLAST, dont le lancement est prévu pour 2007, qui devrait décupler le nombre de sources détectables entre 30 MeV et 100 GeV. Dans le domaine des micro-missions et des missions moyennes du CNES, on rappellera ECLAIRS et SIMBOL-X (voir ci-dessus).

La programmation pour la physique fondamentale

La communauté intéressée par la physique fondamentale a défini depuis plusieurs années la métrologie du temps, de l'espace et de la gravitation comme sa priorité pour les expériences qui bénéficieraient le mieux d'expériences dans l'espace. Elle a su définir un ensemble de « briques de base », expériences sur les interactions fondamentales et systèmes de mesure du temps et des distances, à partir desquels l'ensemble de ses objectifs peuvent être progressivement réalisés. La réalisation de ces « briques de base » progresse dans différents cadres :

- la mission microsatellite Microscope est en cours de réalisation. Elle doit permettre un premier test du principe d'équivalence au niveau de précision 10^{-15} , en attendant des précisions encore meilleures à atteindre dans le cadre ESA si nécessaire ;
- le modèle d'ingénierie de l'horloge à fontaine

atomique PHARAO est en cours de qualification, et à achèvement, une décision pourra être prise sur l'étape suivante (réalisation du modèle de vol), sous réserve de l'existence d'une opportunité d'emport ;

- l'expérience T2L2 de transfert de temps par lien laser a trouvé cette année une opportunité de vol à bord du satellite océanographique JASON-2 ;
- la détection dans l'espace des ondes gravitationnelles reste un objectif important du programme obligatoire de l'ESA avec LISA, et la communauté nationale a maintenant défini et obtenu une contribution intéressante à sa mission précurseur LISA Pathfinder. Mais par contraste, les plus grandes inquiétudes apparaissent sur la concrétisation de la mission LISA elle-même.

Espace scientifique, ESA et Europe spatiale

L'une des recommandations du séminaire du CNES était de soutenir l'implication de l'Union Européenne dans la valorisation des missions spatiales, dans une approche préservant le domaine de compétence spécifique des agences et apportant des ressources complémentaires nécessaires aux niveaux de l'amont (aide au développement des technologies de base) et de l'aval (exploitation et mise à disposition des données, stimulation de la recherche utilisant les données spatiales). Un texte sur « les Sciences Spatiales dans le 7ème PCRD » a été rédigé en 2004 dans le cadre du Groupe technique national

« Aéronautique et Espace » du Ministère de la Recherche (cf. Annexe du présent document). Il est très important que les recommandations qu'il contient soient effectivement traduites au mieux dans les programmes de travail du 7ème PCRD, afin que la communauté puisse exploiter pleinement les missions spatiales européennes et assurer au meilleur niveau le retour des investissements importants qu'elles représentent en termes de nouvelles connaissances, de culture scientifique et d'éducation.

Recommandations

Le programme spatial français est structuré autour du programme scientifique obligatoire de l'ESA et du programme national du CNES qui inclut les missions

moyennes, les projets autour du vol en formation, les micro-satellites et la participation instrumentale à d'autres missions (hors CNES ou ESA). Côté ESA, on

a assisté depuis 2003 à l'émergence d'un nouveau programme (Aurora) susceptible de servir de cadre à un programme d'exploration de Mars. Côté CNES, il faut mentionner la mise en place du CERES, comité en charge de la coordination scientifique pour les sciences de l'Univers auprès du CPS et de la Direction scientifique.

Les recommandations de la communauté sont les suivantes :

- encourager un plan global des personnels et des métiers qui englobe l'ensemble des projets sol et espace (une telle initiative, déjà en cours, devrait être généralisée) ;
- assurer une meilleure interaction avec les centres de compétence technique du CNES et les réseaux de compétence du CNRS, et encourager un meilleur couplage entre les deux types de réseaux.

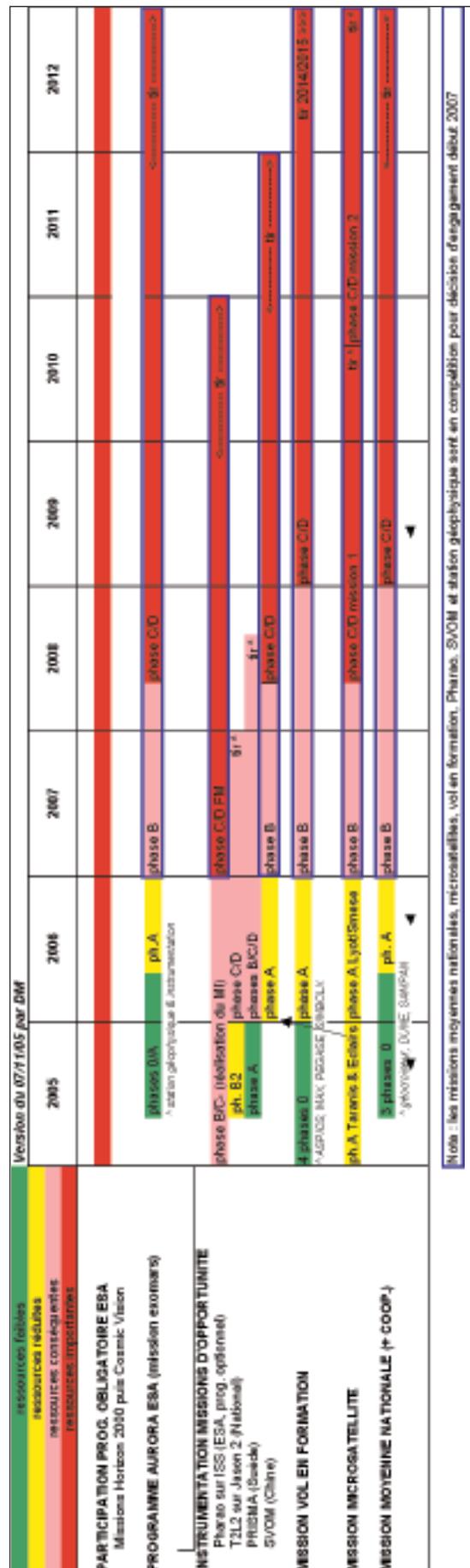


Figure 2

R&D en astronomie : état des lieux et besoins

(Voir en Annexe : « Version préliminaire du plan stratégique de R&D »)

Nous traiterons globalement la R&D définie comme une action permettant de faire émerger de nouveaux programmes, et la R&T définie comme actions technologiques et industrielles qui peuvent être nécessaires à la mise en œuvre d'une R&D. Ces actions sont en fait mêlées au niveau de l'INSU, en amont et en accompagnement des projets. Leur programmation peut être envisagée selon différentes approches :

- appels d'offres formels d'un organisme extérieur. C'est plutôt le mode de fonctionnement des grandes agences, CNES ou ESA (approche « Top-Down ») ;
- offres libres faites par un organisme ;
- actions émergeant spontanément au niveau des laboratoires. (approche « Bottom-Up »).

L'INSU fonctionne plutôt selon les deux derniers schémas, sans appel d'offres réel, et il convient que les organismes de suivi et de décision soient adaptés à cette situation.

La R&D est désormais reconnue comme une activité en soi, surtout après le Colloque de prospective d'Arcachon et le colloque spécialisé de Boussens. Les principales conclusions de ces colloques ont posé un certain nombre de questions sur la gestion de la R&D (définition des objectifs, calendriers, évaluation et suivi, établissement d'une ligne R&D à l'INSU, organisation des différents acteurs - SDU, CNES, ESO, ESA,...) et ont conduit à la rédaction d'un Plan Stratégique de R&T élaboré en 2000.

Le Colloque de Prospective de La Colle sur Loup n'a pas réellement pris en charge le dossier de R&D ; il a simplement permis de réaffirmer la nécessité de visibilité de l'activité R&D dans le contexte des grands programmes émergents et d'illustrer le propos par quelques éléments d'orientation qui ne recouvraient pas l'ensemble des activités. Le contexte a beaucoup évolué, avec la nouvelle programmation du CNES et de l'ESA, l'émergence de nouveaux projets (ELT, SKA), l'évolution des moyens affectés à la R&D par les grandes agences (ligne R&D CSA, étiquetage des micro technologies, des nanotechnologies ou des vols en formation par exemple), le poids de l'Europe à travers le 6ème PCRD (plusieurs JRA de OPTICON et RadioNet) et le 7ème PCRD en construction (qui pourrait disposer de moyens bien plus importants que le 6ème PCRD pour soutenir la R&D/R&T), la création d'actions spécifiques (ASHRA, ASSNA, OV France...) et de programmes interdisciplinaires (GdR JMMC, GdR

AGRET, Programme Astroparticules ...). On peut d'ailleurs noter que de nouvelles actions ont émergé, aussi bien dans le domaine optique que radio, certains grands programmes récents étant très moteurs, comme par exemple ceux liés à la recherche d'exoplanètes à partir du sol ou de l'espace. Darwin en particulier a généré un grand nombre d'actions dédiées notamment aux questions du « nulling ». De la même manière, deux programmes sol, ELT et CONCORDIA, font actuellement émerger une forte activité R&D spécifique.

La volonté de mener des réflexions pluridisciplinaires est également devenue réelle et des discussions préliminaires ont été menées au sein du SDU. Elles confirment l'avance de l'astronomie au sein des Sciences de l'Univers dans le domaine de la R&D, tant au niveau de l'organisation, du dynamisme de l'activité que de la mise en place de moyens spécifiques. Les laboratoires d'astronomie sont très porteurs de projets R&D et l'INSU peut jouer un rôle majeur dans l'organisation de la R&D sur un plan pluridisciplinaire. Un colloque de réflexion sur les moyens de créer une synergie durable entre les sections du SDU a été envisagé et une décision sur la tenue du colloque devrait être prise d'ici fin 2006, en fonction de la volonté des différents partenaires.

Un des effets positifs de la politique initiée en 1998 a été la mise en place, au niveau de la CSA, d'une ligne budgétaire R&D, à un niveau comparable à la mise à niveau des laboratoires ou à l'émergence d'opérations nouvelles. Dans ce contexte, l'ASHRA a joué un rôle important dans la sélection et le suivi des programmes qui concernent ses activités mais il manque, au niveau de la CSA, une structure de décision et de suivi plus large, recouvrant l'ensemble des opérations de R&D. Dans ces conditions, l'établissement d'un nouveau Plan Stratégique R&D prend toute son importance.

L'analyse du Plan 2000 montre que pour être efficace, le Plan Stratégique doit pouvoir évoluer sur une base plus régulière et surtout que ses orientations doivent pouvoir être suivies par une structure compétente. Le Plan Stratégique ne doit pas être un simple état des lieux par thématique mais doit pouvoir conduire à des orientations sur l'ensemble de la discipline en permettant d'identifier les actions prioritaires à mener, en cohérence avec les grands développements instrumentaux et en tenant compte des moyens limités des laboratoires et du contexte international (moyens mis par des groupes étrangers sur des projets complémentaires ou concurrents, calendrier,...).

L'élaboration d'un tel plan stratégique est donc une opération lourde qui implique de nombreux acteurs et qui doit être menée en plusieurs phases :

- collection d'informations venant des laboratoires dans le contexte d'une approche plutôt « bottom-up » ;
- synthèse et analyse des propositions par thématique, croisée avec les besoins de la discipline, liés aux grands projets en cours d'étude ou à des actions en amont plus fondamentales, le contexte international et les moyens mis en œuvre ;
- analyse globale permettant de conduire à des orientations et des priorités.

Cette chaîne implique des experts par thématique pour instruire le dossier au plan technique, un groupe de travail incluant l'organisme décideur et les programmes pour assurer la synthèse, et proposer les orientations jusqu'à la structure de décision pour valider les priorités. Un sous groupe d'experts a besoin d'être pérenne pour permettre le suivi des actions et instruire les demandes de financement annuelles. C'est lui qui devrait pouvoir apporter une vision globale pour éclairer la CSA dans ses choix de financement.

La première phase de ce plan a débuté avec l'enquête lancée auprès des laboratoires en novembre 2004 pour (1) identifier les actions et leur état, les domaines porteurs, les moyens mis en œuvre par rapport aux ressources des laboratoires (budget et personnel), (2) mesurer le poids de la R&D dans les laboratoires et (3) évaluer l'impact sur la formation (stages, thèses) et la valorisation industrielle. Cette enquête a permis d'identifier plus de 70 opérations en cours ou projetées, et montré que si les thématiques évoluaient lentement, le contexte programmatique et technique pouvait évoluer rapidement et devait être suivi. En particulier la finalisation des actions R&D menées en amont de projets peut dépendre énormément de l'évolution programmatique.

L'enquête a permis d'identifier les spécialités (optique, électronique, traitement de données) et les thématiques (HRA/Interférométrie) dominantes. Elle a montré aussi qu'environ 50% des actions R&D se situaient en amont des projets, un effet sans doute de l'approche bottom-up. Les partenaires privilégiés sont actuellement le CNES, l'ESA et pour une part croissante l'Europe (apport substantiel des JRA de OPTICON et RadioNet) qui devrait évoluer encore plus favorablement avec le 7ème PCRD. La durée des projets R&D est très variable, avec une moyenne de l'ordre de 2 ans mais qui peut s'étendre au delà pour devenir comparable à la durée de développement de projets. Dans ce cas, la frontière entre R&D et projet devient incertaine. La valorisation industrielle des

actions R&D apparaît faible, les prises de brevet peu nombreuses et l'aide industrielle limitée à des bourses plutôt qu'à des aides matérielles.

L'enquête a révélé également les préoccupations des laboratoires et en particulier le besoin d'identifier les actions de R&D comme des projets (avec personnels identifiés et budgets associés), ce qui implique des personnels disponibles (et leur reconnaissance par les tutelles) et une analyse sérieuse des capacités des laboratoires par rapport aux besoins existants.

Un certain nombre d'ateliers, destinés à mieux coordonner les actions de R&D, sont proposés par les laboratoires et tout particulièrement, sur les actions menées autour de l'OA ou de l'interférométrie radio, les techniques de détection mm/submm/IR lointain, les vols en formation, les applications à la physique fondamentale du temps fréquence, la bolométrie à très basse température, le traitement de l'information et l'interopérabilité de l'Observatoire Virtuel. D'autres propositions portent sur des activités plus génériques comme la miniaturisation ou la réduction de consommation en électronique ou la cryogénie spatiale.

L'organisation régulière d'ateliers de ce type est imposée par les instances européennes en ce qui concerne les JRAs et peut-être devrait-on s'en inspirer. Le fonctionnement des centres de compétences du CNES pourrait aussi servir d'exemple. Certains de ces ateliers pourraient être pris en charge par les programmes ou actions spécifiques (ASHRA, ASOV ...) et devraient être pensés de manière pluridisciplinaire avec l'intervention du MRCT ou des réseaux du CNRS (mécanique, optique, électronique).

L'instruction des dossiers techniques et la rédaction de la synthèse est en cours et implique de nombreux spécialistes. On trouvera en annexe une version préliminaire du Plan Stratégique R&D, portant sur la synthèse des actions de R&D dans le contexte des orientations de l'exercice à mi-parcours.

Recommandations

Les activités de R&D sont très bien organisées en ce qui concerne la haute résolution angulaire, grâce à l'action spécifique ASHRA. Ce n'est pas le cas des autres thématiques (domaines radio, hautes énergies, détecteurs, électronique, composants, logiciels...).

Depuis 2004, le groupe de travail R&D a entrepris auprès des laboratoires le recensement des activités et des besoins en R&D, dans la perspective de rédiger

un plan stratégique, version mise à jour de celui élaboré en 2000, à la suite du colloque de Boussens. Au-delà de l'état des lieux, ce plan a pour objectifs de définir les grandes orientations nécessaires à la préparation des grands projets futurs, ainsi que les moyens nécessaires pour y parvenir (ligne R&D à l'INSU, concertation avec les partenaires concernés (CNES, ESA, programmes de l'Union Européenne...).

Pour être efficace, le plan stratégique doit faire l'objet d'une mise à jour régulière. Une réflexion est nécessaire pour mettre en place une structure capable d'assurer ce suivi, et aussi d'expertiser les

demandes d'opérations de R&D soumises à la communauté scientifique. Il est proposé d'étoffer le groupe de travail actuellement en charge de l'examen des opérations de mise à niveau instrumentale en y adjoignant quelques membres (en particulier des représentants de l'ASHRA, d'OV-France, de l'ASSNA et du CNES), de façon à ce que toutes les disciplines relevant de la R&D y soient représentées. Pour être efficace, cette structure, qui reste à définir plus précisément, devrait rester limitée à une dizaine de personnes, et son travail devrait être suivi par un chargé de mission à l'INSU.

Simulation numérique

Les premières années de fonctionnement de l'ASSNA permettent de dresser un bilan très positif dans les directions fixées par la prospective : lancement et structuration de grands projets, animation scientifique de la communauté, reconnaissance par les diverses instances concernées des besoins spécifiques à cette activité.

Deux grands projets ont été lancés : Horizon et ESTER. Tous deux auraient certainement pu l'être sans l'ASSNA, mais celle-ci a permis, d'une part, de valider la qualité des projets (sous la forme du label qui leur a été attribué), d'autre part d'inciter à une structuration mettant en évidence les objectifs scientifiques, les échéances de développement, l'apport à la communauté, et la planification des tâches attribuées aux participants. L'ASSNA doit poursuivre son rôle en assurant le suivi de ces projets et du respect des échéanciers, mais aussi des moyens dont ils ont pu bénéficier.

Dans ce domaine, si ESTER est encore trop jeune pour un tel bilan, il faut se féliciter que les moyens matériels et humains attribués à Horizon, renforcés tout récemment par l'attribution d'une ANR « blanche », soient à la hauteur de ce que nous pouvions espérer, et mettent ce projet en situation parfaitement compétitive sur le plan international.

Un tel succès, très improbable jusqu'ici dans notre système de recherche, joue un rôle extrêmement positif d'exemple et d'entraînement pour développer de nouveaux projets tout aussi ambitieux. L'audience auprès des instances est aussi largement acquise : recrutements de chercheurs (il faudra s'assurer qu'au-delà du coloriage qui a été acquis, une attention particulière reste portée à cette spécialité) et de post-docs, attribution de moyens par les programmes et la CSA, etc. Les programmes incluent tous aujourd'hui (même si cela reste inégal) la simulation numérique dans leur prospective et dans leurs actions.

Toutefois il faut rester conscient que peu de domaines scientifiques se prêtent, comme pour les deux grands projets déjà lancés, à une telle concentration autour d'objectifs communs et d'outils complémentaires mais comparables. De nombreux domaines de l'astrophysique restent caractérisés par un éclatement lié à la physique mise en œuvre, aux applications astrophysiques, et aux techniques numériques employées. Par-delà ces grands projets, l'ASSNA doit donc maintenir son attention sur ces domaines où la simulation numérique est tout aussi importante, mais moins facile à coordonner, à animer et à développer en commun. Deux exemples, qui figurent parmi les chantiers à venir, peuvent illustrer ces problèmes :

- La physique des plasmas du système solaire est

caractérisée par une multiplication des problématiques, et des codes les mieux adaptés à les aborder : suivant les problèmes considérés il faudrait pouvoir disposer de codes MHD, de codes cinétiques, et de la variété de codes intermédiaires (gyrocinétiques, hybrides, etc.). La communauté concernée a su, il y a quelques années, faire des choix en se concentrant sur les domaines où elle ne souffrait pas d'emblée d'un retard quasiment irréversible. Mais même dans cette situation les développements numériques réalisés restent éclatés en petites équipes le plus souvent réduites à une ou deux personnes. Une approche possible consisterait à fédérer les efforts autour d'un objet ou d'un programme d'observation, plutôt qu'autour d'un outil numérique.

- La MHD : des développements ambitieux sont en cours dans ce domaine et mèneront sans doute à un nouveau grand projet. Toutefois il faut comprendre qu'il n'y a pas, et il n'y aura sans doute jamais, de code MHD universel : les contraintes sont telles, et les difficultés numériques si extrêmes, que chaque domaine d'application demande un code optimisé dès sa conception : ainsi même en restant au stade de la MHD idéale (sans dissipation, rayonnement, neutres...) si l'on considère le milieu interstellaire, les intérieurs stellaires, la couronne solaire, les disques, les jets, la dynamo planétaire, la formation des galaxies, chacun de ces domaines demande pour résoudre le même système d'équations des outils numériques différents qui ont peu de chances de pouvoir s'appliquer de l'un à l'autre sans modifications profondes, et au prix de développements très lourds. Il importe donc avant tout de développer harmonieusement, outre des codes, une palette de compétences mises en commun qui permette, pour chaque projet, de mettre en œuvre et d'utiliser au mieux les outils disponibles.

Dans ces domaines encore peu structurés, les ateliers organisés par l'ASSNA ont prouvé leur utilité : le partage d'informations et de compétences, la comparaison des approches, l'apprentissage de techniques nouvelles, aident à l'animation scientifique d'une communauté diversifiée. Ces ateliers doivent être poursuivis, permettant lorsque la situation s'y prête de passer de l'animation à la collaboration scientifique active.

En ce qui concerne les moyens mis en œuvre, la période récente a illustré la nécessité d'améliorer l'équipement, tant au niveau des centres nationaux (la création du nouveau département MIPPU devrait amener à réétudier les liens avec ces centres) que des méso-équipements servant un laboratoire ou un

• *Simulation numérique*

projet. Ces équipements demandent un environnement humain complet, en scientifiques spécialisés mais aussi en ingénieurs compétents en algorithmique (notamment pour la parallélisation et l'optimisation des codes, qui est devenue un enjeu majeur), traitement massif des données de simulation (en liaison notamment avec l'Observatoire Virtuel), visualisations, etc. Les grands projets peuvent servir de creuset pour développer ces spécialités, mais là encore il faudra s'assurer que cela rejaille sur l'ensemble de la communauté concernée. A court terme, il a été envisagé de créer sous l'égide de l'ASSNA un club des ingénieurs spécialisés dans le développement et l'usage des grands codes de simulation.

Recommandations

L'action spécifique ASSNA (Simulation Numérique en Astrophysique) est née en 2001 pour répondre aux besoins liés au développement croissant des techniques de simulation dans la recherche en astrophysique. Son rôle est d'une part de structurer la communauté, d'autre part de favoriser les efforts coopératifs nécessaires pour rassembler les forces. Les activités de l'ASSNA (ateliers, appels d'offres) ont permis de faire émerger deux grands projets, HORIZON et ESTER. A plus petite échelle, des

actions se sont mises en place ou sont en cours de développement autour de la MHD et de la physique des plasmas magnétosphériques.

La communauté déplore cependant la stagnation durable des moyens de calcul académiques nationaux face à la politique de jouvence pluriannuelle ambitieuse de nos concurrents à l'échelle européenne et internationale. Cette situation, analysée en détail dans le rapport Héon et Sartorius (c.f. <http://www.recherche.gouv.fr/rapport/calcul/2005-017.pdf>) limite de facto l'ambition scientifique et l'attractivité des équipes françaises dans ce domaine.

Cette situation perdure depuis maintenant plusieurs années, et nous faisons face à la possibilité d'une désaffection massive de la communauté scientifique française envers le calcul scientifique de haute performance. Les conséquences à long terme sont dramatiques et le retard accumulé en la matière sera difficilement récupérable.

Dans le futur, les efforts de l'ASSNA porteront sur une réflexion concernant les moyens lourds nationaux et européens. Un rapprochement avec l'AS OV est également souhaitable, l'objectif étant la mise à disposition de codes et de résultats de simulation via l'Observatoire Virtuel.

Observatoire Virtuel

L'Action Spécifique Observatoires Virtuels France (AS OV) a été créée en janvier 2004, suite aux recommandations du Colloque de Prospective de La Colle sur Loup, par l'INSU, avec le soutien du CNES, afin de coordonner la participation de la communauté française au développement des Observatoires Virtuels dans les domaines couverts par la CSA/Section 17 (astronomie, planétologie, relations Soleil-Terre, astroparticules). L'AS OV a un rôle incitatif, et le soutien aux projets reste du ressort des agences (INSU, CNES), des programmes et groupements de recherche, et des laboratoires.

L'Observatoire Virtuel a pour objectif de donner aux scientifiques un accès transparent aux données et à des outils permettant d'utiliser celles-ci de façon optimale. Il s'agit de « publier dans l'OV » les données d'observations, mais aussi des résultats de traitement ou de simulations, des bases de données à valeur ajoutée, etc. De nombreux projets nationaux (ainsi qu'un projet européen, Astrophysical Virtual Observatory (AVO), puis Euro-VO) ont démarré depuis 2001. Ils forment depuis 2002 l'International Virtual Observatory Alliance (IVOA), qui coordonne en particulier le développement des standards d'interopérabilité de l'OV astronomique, via la mise en place de groupes de travail et l'organisation de réunions biannuelles. Un membre français participait depuis le début en tant que membre du projet AVO aux réunions du Board de l'IVOA, et y représente OV France depuis la création de l'AS OV.

Au niveau européen, un MOU est en cours de signature entre six agences nationales, dont l'INSU, l'ESO et l'ESA, pour la mise en place de l'Euro-VO (sur une base « best effort »). Le projet Euro-VO comporte trois éléments : la Data Centre Alliance (avec responsable français, recherche de financement européen par une action de coordination à compter de septembre 2006), le Technology Centre (qui comprend le projet VO-TECH auquel participe le CDS), le Facility Centre. Dans les autres disciplines, on peut citer le projet international SPASE de définition d'un modèle de données et d'un dictionnaire pour la physique des plasmas spatiaux (CDPP), et le projet européen EGSO d'observatoire virtuel solaire (IAS, Observatoire de Paris – terminé en 2005 et à la recherche d'un successeur).

Le rôle important des programmes nationaux, porteurs des priorités et de l'organisation scientifiques de la discipline, avait été noté dès le rapport présenté à La Colle sur Loup. Pour permettre une bonne représentation des priorités scientifiques et la circulation de l'information, le Conseil Scientifique de l'AS OV a été composé pour l'essentiel de représentants désignés par les programmes nationaux, les groupements de

recherche et les actions spécifiques, plus quelques experts. L'AS OV publie deux appels d'offres par an pour le financement de réunions et de missions, sur des thèmes que le Conseil Scientifique ajuste à l'évolution rapide du contexte.

L'organisation de la communauté française autour du développement de l'Observatoire Virtuel concerne en fait deux communautés : les équipes de développements et les laboratoires, d'une part, la communauté des utilisateurs scientifiques, d'autre part. Le recensement des actions en cours ou en projet dans les laboratoires français (début 2005) a produit une quarantaine de réponses. Celles-ci montrent l'intérêt des laboratoires (presque tous ont envoyé au moins une réponse) et la diversité des services proposés : accès à des archives d'observations ; bases de données à valeur ajoutée ; outils de gestion, de traitement, de visualisation de données ; « instruments logiciels » dédiés au traitement de problèmes scientifiques particuliers ; « portails thématiques » ; services de théorie/modélisation. Ceux-ci s'appuient sur les compétences locales en instrumentation, pipeline de données et/ou thématique scientifique. Ils sont très différents en terme de volume de main d'œuvre, allant de centres thématiques disciplinaires à des services « pointus » proposés par de très petites équipes.

La première réunion plénière (Paris, 4-7 avril 2005) a permis de mettre en valeur les projets et les efforts souvent très significatifs d'organisation des laboratoires (création de structures spécifiques comme le PPF de l'Observatoire de Paris ou les services de l'IAS ou de l'OAMP, mise à disposition de personnel). Les discussions ont montré une forte demande pour l'organisation de réunions thématiques ciblées (à thèmes scientifiques ou techniques, tels que les relations Soleil-Terre ou les workflows), reprise dans le dernier appel d'offre, et par la création de plusieurs groupes de travail (spectroscopie, théorie, planétologie, images).

A destination de la communauté scientifique, l'AS OV a organisé du 7 au 9 novembre 2005 une Ecole Thématique intitulée « L'Observatoire Virtuel : un nouvel outil pour les scientifiques » (Obernai, 40 participants), qui a permis de discuter les besoins en terme de développement de services OV dans les différents champs thématiques. Le développement d'actions vers la communauté des utilisateurs doit se poursuivre, selon des formes qui restent à définir (tutoriels ?), avec pour objectif majeur de permettre à la communauté française d'apprendre à utiliser l'OV, au fur et à mesure du développement de celui-ci.

L'action de l'AS OV en direction des développeurs a

déjà eu des retombées très significatives. Une premier tutoriel « Standards et outils de l'OV », organisé par le CDS en octobre 2004 à Strasbourg, a permis la formation initiale d'un premier noyau dur de développeurs, que l'on retrouve souvent en première ligne dans les développements VO dans les laboratoires et dans les collaborations internationales. L'expérience de ce tutoriel a été réutilisée pour l'organisation du Workshop européen sur les standards et systèmes du VO organisé à Garching en juin 2005 par le consortium Euro-VO. Un second tutoriel sera organisé début 2006 pour aider à l'intégration des nouvelles équipes qui souhaitent rejoindre l'effort de développement du VO. La participation française au Workshop européen et aux réunions de l'IVOA, soutenue par l'AS OV, est en croissance significative et s'étend maintenant largement au-delà de l'équipe CDS dans les domaines de compétence des équipes françaises. Plusieurs collaborations nationales et internationales sur le développement des standards et des outils de l'OV se sont mises en place.

Les projets nationaux de participation à l'OV sont tous différents. L'AS OV est une approche incitative originale qui, avec très peu de moyens, met en place des forums de discussion et de formation des personnels chercheurs et ITA, et soutient la participation des équipes françaises aux événements internationaux. Grâce à ces actions, et à la forte motivation des individus, des équipes, des laboratoires, de plusieurs PNs et des Agences et instances, et - malgré les problèmes de ressources humaines - la participation française au développement de l'OV est significative et en forte croissance. On va progressivement vers une phase de consolidation, et il faudra sans doute fédérer les efforts pour assurer l'existence à moyen terme des services qui vont être développés (en particulier en terme de masse critique et d'optimisation des efforts de développement). Il faudrait certainement envisager des opérations/développements avec mise en commun de personnels. L'AS OV jouera son rôle

incitatif et pourra mettre en place des moyens pour aider aux discussions, mais le rôle fondamental viendra des laboratoires et des PN pour l'établissement des priorités. Un autre chantier est également la mise en place d'un cadre institutionnel de collaboration avec les STIC, au-delà des labellisations obtenues au cas par cas pour des projets ciblés.

Recommandations

Suite aux recommandations de La Colle sur Loup l'action spécifique AS OV a été mise en place en janvier 2004, pour répondre à la demande croissante liée au rôle de plus en plus important pris par les bases de données dans la recherche en astrophysique.

OV-France est un outil pour la science : il a pour but d'assurer l'accès transparent aux données et l'intégration des informations (et pas seulement leur distribution). Dans ce domaine, l'astronomie est en avance sur les autres disciplines. L'AS OV a développé ses activités sur la base de l'expérience et des moyens du CDS. Ses actions de coordination de la communauté ont entraîné une forte mobilisation des laboratoires, d'où une participation visible aux actions internationales et l'apparition de nombreux projets de services OV très divers. Il en résulte une pression en forte augmentation sur les demandes de recrutement, et sur l'AS OV.

L'AS OV doit maintenant consolider son activité en focalisant les actions au sein des laboratoires, en concertation avec ceux-ci et avec les programmes nationaux, et en favorisant la mise en place de centres thématiques (éventuellement distribués géographiquement) autour de créneaux bien identifiés, dans la perspective en particulier de l'action de coordination européenne Euro-VO Data Centre Alliance qui vient d'être sélectionnée et dont la responsabilité est assurée par le CNRS.

Les moyens du futur

L'analyse des moyens du futur menée par le groupe de réflexion lors du séminaire de prospective se plaçait dans une prospective à l'horizon 2010-2020. L'idée était d'anticiper l'évolution envisageable des thématiques scientifiques, de prendre en compte la situation prévisible des moyens d'observation à l'horizon 2010 d'une part, et les domaines

d'excellence de la communauté française d'autre part. Il est clair que l'évolution de cette analyse depuis La Colle sur Loup ne remet pas en cause fondamentalement les conclusions présentées et on s'attache ici à montrer plutôt comment les choses ont progressé.

Astronomie observationnelle

La prospective à long terme se place clairement dans un contexte de progression notable des performances des moyens d'observation et si l'on peut citer plusieurs critères comme la sensibilité, la couverture simultanée d'un grand champ, l'amélioration de la couverture et de la résolution spectrale, la dynamique et le contraste dans les images, la résolution et la couverture temporelle, il est apparu de façon rapide que l'amélioration de la résolution spatiale des instruments était une des principales clés des progrès du futur. Cela se décline autour de trois domaines de longueur d'onde qui ont focalisé notre attention : l'infrarouge lointain et submillimétrique, l'optique et enfin les hautes énergies. Pour chacun de ces domaines nous reprenons ci-dessous les principales conclusions de notre rapport et proposons quelques clés d'évolution de la situation.

Dans le domaine de l'infrarouge lointain et du submillimétrique, le constat de départ est d'une part un trou en longueur d'onde entre 20 et 850 μm et d'autre part, à ces longueurs d'onde, une résolution angulaire du niveau de celle de l'œil dans le visible. L'arrivée attendue de Herschel/Planck va apporter un grand nombre de réponses sur la structuration de la matière dans l'Univers et sur nos hypothèses vis-à-vis des scénarios de formation des galaxies. Cependant la suite repose sur une mission ambitieuse qui offrirait des résolutions spatiales permettant de résoudre le fond diffus et cela pointe vers des pupilles de l'ordre de 100 m. Ainsi des idées sont en cours de développement autour d'un interféromètre spatial submillimétrique notamment à travers des réflexions sur le dimensionnement de ces interféromètres, soit au sol dans le cadre de l'IRAM soit dans l'espace à long terme (Cosmic Vision). A ce dernier titre (FIRM = FarInfraRed Mission décliné soit en FIR soit en FIRI dans la version interférométrique) il est intéressant de noter qu'au-delà du problème de la confusion du fond, des programmes spécifiques sur la nature des sources à haute résolution spatiale se sont développés. Dans ce domaine, la sensibilité n'est pas vraiment limitante et c'est surtout la longueur des bras interférométriques qu'il faut chercher à développer et naturellement le remplissage du plan des fréquences spatiales pour une capacité

d'imagerie apte à répondre aux problèmes scientifiques. On peut également noter la possibilité de collaboration européenne avec le projet japonais SPICA, autour de la fourniture d'un spectrographe intégrale de champ dans le Far Infrared (30-200 μm avec une résolution de quelques milliers) ou encore le développement outre-atlantique d'un projet de télescope submillimétrique de 25 m orienté pour la formation des étoiles et des galaxies ainsi que pour les études sur le milieu interstellaire. Notons également les développements autour du projet BRAIN en Antarctique pour la caractérisation des modes B de la polarisation du fond diffus cosmologique, ainsi qu'autour du projet PILOT qui s'attaque à la polarisation du MIS ou du projet SAMPAN pour la mesure de la polarisation du fond cosmologique. Il est important également de rappeler le démarrage de plus en plus marqué du projet SKA et une contribution française de plus en plus structurée et offensive. L'importance de ce projet pour la radioastronomie française dans les gammes centimétriques et décimétriques est très grande.

Dans le domaine optique, la prospective long terme est dominée par les très grands télescopes monolithiques (classe 30 à 100 m) et par les réseaux à base kilométriques. Ils correspondent à des objectifs scientifiques très variés, depuis la cosmologie jusqu'à l'étude du système solaire, et nécessitent en particulier l'accès à la spectroscopie des objets très faibles. L'interférométrie a pour le moment des objectifs plus ciblés, comme l'imagerie à très haute résolution spatiale des objets compacts. Développement naturel après le VLT et le VLTI, la question de l'alternative sol/espace, en particulier pour les grands réseaux, continue de se poser.

En ce qui concerne le futur des télescopes monopupilles, l'ELT européen sera un télescope de la classe 30-50 m, il devra être disponible à l'horizon 2015, de manière à compléter ALMA et le JWST, et aussi à ce que l'Europe, aujourd'hui leader en astronomie optique, ne soit pas distancée dans la compétition internationale. Les études détaillées génériques aux très grands télescopes sont maintenant bien ancrées dans les laboratoires à

• *Les moyens du futur*

travers des actions européennes et nationales fortes et enfin on voit émerger une perspective possible autour du CFHT à la limite de diffraction dans le visible (projet CFHT-VASAO).

En ce qui concerne l'interférométrie, on constate d'une part la montée actuelle en puissance du VLTI avec la perspective d'une deuxième génération d'instruments à l'horizon 2010-2012, des études prospectives tirant profit des caractéristiques exceptionnelles en terme de turbulence du site du Dôme C en Antarctique, et un certain nombre d'études sur les imageurs hyper télescopes ainsi que le démarrage véritable d'une réflexion sur le vol en formation, grâce aux initiatives du CNES et des laboratoires associés.

Dans le domaine solaire, on peut noter l'évolution positive du projet américain ATST mais une implication française encore à définir véritablement.

Dans le domaine spatial optique et IR, il est important de noter l'évolution rapide des projets dédiés, basés souvent sur le concept de survey avec, en particulier, le démarrage (avec une participation française possible) du projet de « survey » SNAP (spectrographe à intégrale de champ de 350 à 700 nm et photométrie proche infrarouge grand champ sur un télescope de 2 m), le décalage dans le temps du JWST, le projet DUNE (Dark Energy Explorer) et le nouveau calendrier prévisible autour de Darwin (2020-2025 ?).

Enfin, dans le domaine des hautes énergies traditionnellement relié aux projets spatiaux, il est vrai que l'augmentation de la sensibilité amène à des défis technologiques particuliers (allongement des longueurs focales notamment), et la réponse à travers le vol en formation type SIMBOL-X est très encourageante. Les équipes françaises, à travers le soutien du CNES et de l'ESA, sont particulièrement motrices dans ce domaine et la perspective à long terme est essentiellement axée vers XEUS qui ajoute aussi une évolution forte en termes de résolution spatiale. On mentionnera aussi les projets ECLAIRS et MAX, ainsi que le projet européen LISA de détection d'ondes gravitationnelles. Dans le domaine des projets sol, on citera le projet ANTARES-km³ (voir « projets sol prioritaires »), un projet de grand réseau de détecteurs Tcherenkov au sol, et un projet d'extension Auger Nord (voir section « projets sol prioritaires »). Le domaine des hautes énergies est très actif et les études de phase A actuellement engagées vont poursuivre la recherche amont dans ce domaine.

Il est important de rappeler que cette prospective long terme a aussi pour objectif d'identifier les domaines de R&D, R&T à développer, et on se reportera notamment aux études sur les détecteurs, études qu'il est vraiment souhaitable d'amplifier, notamment dans l'infrarouge, ainsi que l'effort considérable mené dans de nombreux laboratoires dans le domaine de l'optique adaptative et des techniques de cophasage.

Les moyens du futur en astronomie fondamentale

S'il est primordial d'assurer la maintenance des systèmes de référence d'espace et de temps grâce à différentes techniques dont micro-ondes (automatisable et fonctionnant tout le temps), il est tout aussi fondamental d'inter-comparer régulièrement ces techniques, qui ont leur propres systématismes et dérives, et de se fixer des étalons. C'est le rôle de la Métrologie Optique, à la fois dans l'espace avec la télémétrie laser et le transfert de temps, et au sol avec les fréquences optiques et la possibilité de développer des oscillateurs optiques uniques (venant en particulier de la stabilité des oscillateurs de type lasers femtoseconde).

Du point de vue des repères :

- terrestres (essentiellement fondés sur les observations VLBI et Laser) : la télémétrie laser va jouer un rôle de plus en plus important, et également pour la navigation (avec GALILEO, et à plus long terme dans le Système Solaire). L'avenir à l'horizon 2015-2025 devrait être dominé, sur le plan des Références inertielle de type spatiales,

par GALILEO au niveau des références d'Espace très certainement et peut-être aussi de Temps (opérationnel). Ceci dépendra aussi de la capacité à développer des horloges à atomes froids très compactes (exemple avec l'expérience Horace) ;

- célestes : avec GAIA, c'est l'astrométrie spatiale qui va introduire des progrès majeurs pour le système de référence céleste. Mais il faut aussi (pour la maintenance) améliorer la stabilité du repère extragalactique (nouvelle édition de l'ICRF), et travailler sur le problème des rattachements des repères à différentes longueurs d'ondes vis-à-vis de GAIA. Il faut en parallèle développer les aspects relativistes, afin de mieux maîtriser la déviation gravitationnelle (termes en G2 dans le Système Solaire) des rayons lumineux. Les transferts de temps accéderont peu à peu (par fibres notamment) à une précision inégalée à partir d'horloges à atomes refroidis de type PHARAO. Les possibilités de transfert optique par laser de type T2L2 (via l'espace) devraient permettre des

comparaisons d'une très grande précision par rapport à GPS ou au système Two Way.

Le suivi du niveau moyen des océans, mis en place avec la filière d'océanographie spatiale JASON (TOPEX/Poseidon en 1992, JASON-1 en 2001, J-2 en 2008, et après ?) devrait continuer à fournir l'indicateur global le plus marquant du réchauffement climatique. Dans ce contexte, des stations d'étalonnage au sol doivent être maintenues, basées sur la combinaison de plusieurs techniques de positionnement dont la métrologie optique (car

les liens micro-ondes n'ont pas le caractère absolu du laser), tant pour le suivi métrologique du positionnement vertical des marégraphes que pour celui des satellites d'observation.

Les vols en formation devraient apparaître plus systématiquement (GALILEO en est un avec des distances inter satellite très grandes), à la fois pour l'Observation de la Terre (pour le champ de gravité, c'est déjà le cas avec GRACE-A et -B, actuellement) et pour la navigation interplanétaire.

Recommandations

L'avenir à l'horizon 2015-2025 sera dominé, pour l'astronomie au sol, par les très grands projets ELT, SKA et Dôme C qui ont connu une forte évolution depuis La Colle sur Loup, et pour l'astronomie spatiale par le programme « Cosmic Vision » de l'ESA, dont l'appel d'offres est attendu dans le courant de l'année 2006.

En parallèle, des projets de taille intermédiaire devront être définis pour répondre à des objectifs spécifiques ou préparer les programmes scientifiques des très grands projets du futur. L'ASHRA avait engagé une réflexion sur les perspectives offertes par les monopupilles et les interféromètres. Cette réflexion devra être reprise dans la perspective de l'après-VLTI.

Rapports des structures d'évaluation et d'accompagnement

Nous présentons ci-dessous les rapports des instances d'évaluation (CNAP, Section 17 du Comité National), et ceux des structures d'accompagnement (Programmes Nationaux, ASHRA, groupe de travail « Exoplanètes »). Pour ces derniers, les textes reflètent l'état des réflexions au début de l'année 2006. Dans le cas du PNPS et du PNP, les réflexions ne portent pas sur la prospective à long terme, car celle-ci sera discutée lors de l'exercice de prospective mené par le programme national dans le

courant de l'année 2006.

Les activités des actions spécifiques et des groupes de travail non inclus dans cette section sont présentées dans d'autres sections du rapport (chapitres « Projets sol prioritaires à 5ans », « R&D en astronomie : état des lieux et besoins », « Simulation numérique » et « Observatoire Virtuel»).

Le CNAP

Les années récentes ont été marquées par une prise de conscience accrue de l'apport spécifique des personnels CNAP à notre discipline, et par une gestion de plus en plus rigoureuse de leur mission de service d'observation. Les termes généraux du décret ont progressivement été complétés par un cadrage par l'INSU, de plus en plus précis, par l'intermédiaire de la labellisation des services d'observations par la CSA, et d'orientations transmises par l'INSU lors des concours. La section Astronomie du CNAP prêche une grande attention à ce cadrage, tout en s'efforçant de contribuer aux équilibres et évolutions indispensables de la discipline et au bon fonctionnement des établissements et services, en favorisant systématiquement l'excellence scientifique. Les recrutements se placent dans un contexte de renouvellement annuel des personnels à un taux proche de 3% (à effectif constant, avec la notable exception des créations de postes attendues en 2006 et 2007).

En parallèle, les OSU et laboratoires ont été encouragés, par l'INSU et par le CNAP, à définir plus précisément leur engagement sur les services d'observation, en particulier sur les services labellisés, et à en publier le détail. A l'objectif général de l'optimisation de la gestion des ressources de la discipline s'ajoutent deux objectifs particuliers importants et liés : la poursuite de la défense institutionnelle du corps des astronomes, et la lisibilité, pour les candidats au concours et pour les sections, de la politique des OSU - à suffisamment long terme, autant que faire se peut. Un affichage en ce sens a été mis en place sur la plupart des pages web des OSU (voir les points d'entrée sur le site web du CNAP).

Conformément au statut du corps, la section Astronomie du CNAP poursuit l'examen régulier des rapports d'activité à quatre ans, avec tout récemment l'évaluation des astronomes et astronomes-adjoints des OSU parisiens (soit 40% du corps) qui a permis de

dresser un état des lieux précis et actualisé, et d'envoyer un message individualisé à chacun des personnels concernés, ainsi qu'aux Directeurs d'OSU ou de Départements. Le CNAP souhaite que soit renforcée l'articulation entre cette activité d'évaluation des membres du corps et l'évaluation des unités et des OSU par les comités d'évaluation et les sections.

Une initiative importante a été prise par l'INSU il y a environ un an, en lançant une enquête systématique sur les tâches de service auprès des OSU. C'est la première fois qu'un recueil d'informations systématique est réalisé au niveau des « tâches » de service (l'enquête de prospective de la précédente section du CNAP n'avait porté que sur les besoins). Parmi les conclusions préliminaires de cette enquête, il apparaît qu'une certaine fraction d'astronomes seniors ne participe pas directement aux services labellisés, alors que les tâches apparaissent beaucoup mieux définies pour les plus récemment recrutés. Par ailleurs, un tiers environ des services d'observation est assuré par des personnels CNRS (calculé en équivalent temps plein). Cette analyse montre que l'effort de labellisation entrepris par l'INSU depuis 10 ans, prenant en compte la préparation et l'accompagnement des projets majeurs de la discipline, devra encore se poursuivre.

Il nous paraît indispensable que les données de cette enquête soient intégrées à une base de données, et que la maintenance annuelle en soit assurée, pour que les analyses soient mises à jour et affinées sur le long terme. Une telle base serait aussi un outil précieux pour chacune des sections du CNAP.

La préparation des enjeux cruciaux des grands projets sol et spatiaux à venir, par exemple les ELT et « Cosmic vision », nécessitera une augmentation soutenue des effectifs du CNAP en complément de l'effort en cours pour les personnels CNRS et enseignants-chercheurs.

• *Rapports des structures*

Un dialogue utile est maintenu avec les sections concernées du CNRS. La tâche des jurys de concours est rendue particulièrement ardue par le très haut niveau d'un nombre impressionnant de candidats (une centaine chaque année), et la complexité des situations individuelles. Il nous paraît indispensable d'améliorer le traitement imposé par notre système de recrutement à l'ensemble de ces jeunes

talentueux, en accentuant l'effort national de créations de postes, mais aussi en revenant graduellement à des âges médians de recrutement plus proches de thèse +2 que de thèse +4. Plus généralement, il reste indispensable que la France diversifie les débouchés et carrières de ses jeunes docteurs.

La section 17 du Comité National « Système solaire et Univers lointain »

On trouvera ci-dessous la contribution de la section 17 au plan stratégique du CNRS.

Les enjeux scientifiques (ou technologiques) essentiels dans le domaine de compétence scientifique de la section

- formation et évolution de l'univers, matière noire, énergie noire ;
- origine et évolution des systèmes planétaires (renouvelé par la découverte des exoplanètes et les missions planétaires récentes) origine de la vie (développement rapide de l'exobiologie) ;
- la discipline présente un lien fort avec les sciences de la Terre ; la section 17 rappelle que ses objets d'étude (Soleil, magnétosphère, NEO) ont un impact sur l'environnement ;
- l'Univers est un laboratoire de physique extraordinaire : très hautes énergies, physique relativiste, physique à très hautes pressions, chimie des milieux extrêmes, physique des plasmas ;
- à ce titre, les thématiques de la section 17 apparaissent comme des vecteurs de développement technologique ;
- l'astronomie occupe une place particulière dans la visibilité de l'organisme, la diffusion des connaissances et l'attractivité des disciplines scientifiques pour les jeunes.

Le positionnement du CNRS sur ces enjeux, au regard de ses partenaires (et/ou compétiteurs) français et européens d'une part, internationaux d'autre part

La communauté astronomique française est pleinement intégrée au niveau international, avec de très nombreux projets en collaboration internationale. Elle joue un rôle moteur sur des grands programmes (astronomie sol et missions spatiales) à l'échelle européenne :

- la communauté compte 21 responsables scientifiques sur 76 sur les grands programmes spatiaux européens, dont 20 dans une UMR CNRS ;
- le nombre de PI français est de 6 sur un total de 15 pour le VLT et de 3 sur un total de 6 pour le VLTI (tous UMR CNRS) ;
- la communauté française joue un rôle reconnu dans les grands services internationaux (définition du temps universel, rotation de la Terre, attribution des fréquences radio) ;
- elle joue également un rôle important dans les projets à l'échelle mondiale comme ALMA (IRAM) et SKA.

Cette vitalité de la communauté se traduit par de nombreux succès récents (découverte du trou noir au centre de la Galaxie, découverte récente de plusieurs exoplanètes dont la première tellurique, missions planétaires Huygens, Mars Express...)

Les partenaires principaux des laboratoires français sont le CNES, l'ESA et l'ESO, ainsi que le CEA et l'IN2P3. L'INSU joue un rôle essentiel dans le montage des collaborations internationales et l'attribution des moyens humains indispensables à la réalisation des projets.

Au sein des universités, les équipes françaises sont à 100% intégrées dans des UMR du CNRS.

Les moyens d'action et d'organisation que le CNRS doit préférentiellement mobiliser sur chacun de ces enjeux.

- Il est très important de mettre rapidement en place le 2ème axe prioritaire (Origine des planètes et de la vie) afin d'avoir une situation équilibrée pour la discipline. Le niveau de recrutement actuel est anormal par rapport à l'importance de la thématique dans le contexte international, pour la visibilité de l'organisme, et vis-à-vis des

jeunes.

- Le renforcement de la concertation avec les partenaires (CNES, Universités) est nécessaire, en particulier pour les problèmes d'infrastructure.
- Une mobilisation est nécessaire dans le domaine des « Observatoires virtuels » et de la constitution de bases de données à l'échelle européenne, ainsi que pour la simulation numérique lourde qui demande des supercalculateurs ou « fermes de PC ».
- En ce qui concerne les moyens humains, il existe un problème majeur d'adéquation aux grands enjeux mentionnés ci-dessus. Les engagements internationaux sont en forte croissance, alors que l'on doit faire face à des départs massifs dans les

5 prochaines années, en particulier pour les chercheurs (ce problème est nouveau, contrairement à celui des ITA).

- En ce qui concerne les ITA, on regrette l'incapacité de l'organisme à assurer les plans de recrutements pluriannuels définis par les unités et validés par la structure d'évaluation. Les délais sont trop longs pour permettre le maintien des compétences critiques ; la gestion des NOEMI apparaît comme un dispositif nécessaire, mais qui a un impact sur la conduite des projets).
- Enfin, la section 17, rattachée à MPPU en première appartenance, a demandé un double rattachement au Département Ingénierie.

Le Programme National de Cosmologie (PNC)

Rappel des grandes questions scientifiques

Au cours de ces dernières années, les paramètres cosmologiques globaux ont enfin pu être identifiés avec un bon niveau de confiance. Dans cette quête, la mesure des anisotropies du fond diffus cosmologique, en particulier par WMAP, marque indéniablement une étape importante. Ces données montrent en effet, sans doute possible, que les anisotropies du CMB ont été engendrées par la croissance des fluctuations de métriques dans un plasma en expansion, dont on peut maintenant déterminer les propriétés avec précision. On se retrouve alors avec les paramètres d'un modèle cosmologique dit « concordant » qui, et c'est à souligner, place la cosmologie observationnelle dans une situation très confortable. En effet, des propriétés des anisotropies de température du CMB à l'âge des premières étoiles, en passant par l'observation de supernovae lointaines ou celles des grandes structures, tout concorde !

Cette réussite ne doit pas cependant nous faire oublier que ce modèle contient des ingrédients dont les théories des hautes énergies actuelles ne savent pas rendre compte : énergie et matière noire, phase inflationnaire. Les problèmes restés en suspens sont des plus variés :

- L'existence de matière noire ne fait guère de doute tant pour les études de dynamique locale que pour expliquer les propriétés statistiques des grandes structures de l'Univers. Sa nature reste indéterminée même si les théoriciens ne sont pas à cours d'idée pour l'expliquer (WIMPS, Axions, particules de Kaluza-Klein, etc...). Sa détection, de manière directe ou indirecte, devient possible dans les années qui viennent. Ce serait non seulement une formidable découverte mais aussi

le début d'une grande aventure pour en déterminer la nature et les propriétés.

- L'existence de l' « énergie noire » était jusqu'à présent sujette à questionnement. Avec la détection des oscillations acoustiques des baryons dans le spectre de puissance des galaxies, elle devient incontournable. Par contre sa nature est des plus insaisissable et pose un problème de physique fondamentale : nouvelle composante du fluide cosmologique ou modification de la gravité à grande échelle, tout est possible.
- L'inflation est un paradigme précieux pour expliquer l'émergence des fluctuations de métriques observées. Si ses aspects les plus génériques – fluctuation de métrique primordiales adiabatiques, invariance d'échelle et essentiellement gaussiennes – ont bien été vérifiées, il reste à vérifier des aspects plus prédictifs de la théorie. Cela passe par la détection des ondes gravitationnelles primordiales à travers par exemple la mesure des modes B de la polarisation du CMB.
- Enfin, notre compréhension de la cosmologie ne saurait être complète sans une description plus détaillée de l'émergence des premières structures. Les observations du CMB indiquent qu'une phase de réionisation aurait eu lieu très tôt. On ne sait pourtant quelles sont les structures responsables de cette réionisation, ni d'ailleurs comment se sont assemblées les « premières briques » de l'Univers. Différentes approches seront sans doute nécessaires pour progresser dans ce domaine, de l'étude du milieu intergalactique à la détection de galaxies à grand redshift.

Les projets observationnels perçus comme

importants pour le PNC tentent donc de répondre à l'une ou l'autre de ces questions.

Les projets sol

Parmi les moyens nationaux, le CFHT est de loin le plus important pour la communauté nationale de cosmologie. Deux projets d'envergure internationale y sont menés actuellement à travers le CFHTLS : la recherche de supernovae lointaines (SNLS) et la cartographie des grandes structures par Cosmic Shear. Il existe pour les deux communautés impliquées des pistes pour l'utilisation du CFHT au-delà de 2010 : relevés complémentaires au CFHTLS avec par exemple WIRCam ou encore construction d'un nouvel instrument pour la spectroscopie des SN proches (extension de SNIFS).

Parmi les moyens sol nationaux, citons aussi l'IRAM dont la complémentarité avec des instruments spatiaux à venir comme Herschel et Planck ou des projets sol comme ALMA devrait assurer son intérêt scientifique bien au-delà de 2010.

Parmi les moyens internationaux, les projets sol qui intéressent le plus la communauté sont :

- les instruments de seconde génération du VLT : MUSE pour la recherche des premières briques de l'Univers, KMOS et X-Shooter comme sondes du milieu intergalactique ;
- ALMA pour sa capacité de détection des galaxies à très grand z , la détection des raies de CO pour la détermination des masses, l'étude de la dynamique et de la formation stellaire de galaxies proches. Notons un atout majeur pour le suivi scientifique d'ALMA avec le projet « Horizon » sur lequel la communauté doit pouvoir s'appuyer. Il reste que la communauté est encore peu mobilisée sur ce projet ;
- les ELTs, avec leur ouverture sur l'Univers lointain et leurs capacités spectroscopiques. Un travail de prospective important reste à faire au sein de la communauté pour ces projets ;
- LOFAR et SKA, pour la recherche des premiers objets de l'Univers, des mécanismes de réionisation ou de formation des champs magnétiques primordiaux, et pour la possibilité de construire un énorme catalogue de galaxies (de l'ordre du milliard d'objets) avec beaucoup d'applications potentielles possibles (weak lensing, etc...). L'intérêt de LOFAR reste à examiner sans doute de plus près ;
- EDELWEISS II, pour la recherche directe de matière noire ; cette expérience constitue notre meilleure chance de succès dans ce sens.

Les projets spatiaux

Avant d'évoquer de nouveaux projets, rappelons que le succès technique et scientifique des missions Planck et Herschel est une priorité tout à fait essentielle pour le PNC.

- CMB : Il reste que c'est maintenant que se prépare l'« après-Planck » avec comme objectif bien identifié la détection de la polarisation (modes B comme traceurs des ondes gravitationnelles primordiales). Que ce soit du côté américain avec EPIC ou du côté CNES avec SAMPAN, l'instrumentation d'un tel satellite serait a priori à base de matrices de bolomètres, une technologie qui reste à développer. Cela étant, le cas scientifique d'un tel projet reste difficile à évaluer (par exemple, on ne connaît pas le niveau de polarisation des avant-plans).

Mentionnons, dans la même thématique, le souhait d'une partie grandissante de la communauté de participation ponctuelle à un certain nombre d'expériences comme EBEX (projet ballon), QUAD (pôle sud, en cours), BICEP (pôle sud), BRAIN (Dôme C), mais aussi Olimpo pour la haute résolution angulaire (amas SZ) et Pilote pour l'étude des poussières dans la Galaxie (avant-plan). Enfin, l'IRAM reste identifié comme une facilité précieuse pour la haute résolution angulaire (effets secondaires, amas, suivi de Planck).

- Energie noire : au-delà du CFHTLS, l'imagerie grand champ spatiale est identifiée depuis quelques années déjà comme une priorité. La technologie est quasi « sur étagère » (grâce à GAIA en particulier). Dans la communauté française deux projets sont en discussion : une participation française à SNAP (SuperNovae Acceleration Probe) dans le cadre – ou non – d'une mission conjointe NASA/DOE, et le projet DUNE, en cours d'étude au CNES. A terme, une participation à l'une ou l'autre de ces missions est une priorité importante de notre communauté.

Autres projets

- Simulations numériques : Le projet Horizon a concrétisé les efforts de différentes parties de la communauté pour construire un projet compétitif au niveau international. La réussite de ce projet est une priorité forte du PNC pour les prochaines années.
- R&D : Le projet DCMB (Développement Concerté de Matrices de Bolomètres) dont la thématique est identifiée comme le plus demandeur d'une R&D (e.g. polarisation du CMB).

Le Programme National Galaxies (PNG)

Rappelons les thèmes prioritaires du PNG pour les années 2005-2008 :

- 1 **Galaxies résolues en étoiles** : il s'agit non seulement de notre propre Voie Lactée, mais aussi des galaxies proches, pour lesquelles la haute résolution spatiale permet de séparer les étoiles, et ainsi de remonter à leur âge, leur formation, et à l'histoire de la formation des galaxies ;
- 2 **Formation et évolution des galaxies, directement en fonction du redshift**. Cette approche permet de remonter le temps, et d'étudier en direct la physique des galaxies en fonction du temps, et de remonter jusqu'à la formation des premiers objets.

La physique des galaxies demande de plus en plus des observations multi-longueurs d'ondes, comme par exemple dans la formation des étoiles, tracées à la fois dans l'UV (GALEX), l'infrarouge (ISO, Spitzer, Herschel) et le millimétrique (IRAM, ALMA), de grands relevés (CFHT, VLT 1er ou 2ème génération), de la spectroscopie multiplex ou 3D (Giraffe, VIMOS, Sauron, MUSE, KMOS). L'observation des galaxies à grand redshift nécessite de grands télescopes, et le PNG est parmi les plus grands défenseurs des ELT. L'imagerie à haute résolution spatiale (HST, JWST) devra être couplée à la spectroscopie au sol (VLT, ELT, SKA), pour l'étude détaillée des galaxies distantes. La dynamique des composants de la Voie Lactée et l'histoire de sa formation va progresser avec les relevés de RAVE puis GAIA. Les bases de données prennent une importance capitale, aussi bien dans les observations (Hyperleida, Migale, VVDS...) que dans la modélisation (Gissel, Pégase) ou les simulations (Galics, Horizon), et la participation à l'OV est soutenue au premier plan.

Parallèlement à la prospective générale décrite par instrument, nous allons résumer ces éléments de prospective par thème scientifique, selon la problématique abordée :

Thème 1

La Voie Lactée : dynamique et histoire des composants (OHP, RAVE, GAIA)

Des programmes d'observation vont continuer à l'OHP avec SOPHIE, à haute résolution spectrale, afin d'établir de grands échantillons d'étoiles, de construire des bibliothèques stellaires (pour synthèse de population), pour un suivi/calibration de RAVE et préparation de GAIA. Le PNG soutient le

projet RAVE, qui va fournir en 2010 les vitesses radiales d'un million d'étoiles, avec une précision de mieux que 5 km/s, leur métallicité et rapports d'abondances, dans les composants disque, bulbe ou disque épais de la Galaxie. Ce relevé prépare GAIA, satellite astrométrique de l'ESA, qui obtiendra 1 milliard d'objets jusqu'à la magnitude 20. Cet ensemble de données permettra d'avoir les positions, les distances et les mouvements propres, et de remonter à la dynamique précise de la Galaxie entière. Des efforts de modélisation chimio-dynamique de la Galaxie sont en cours et des méthodes d'analyse spécifiques sont mises au point pour préparer l'exploitation de ces grands relevés.

Courants d'étoiles dans les halos (grands relevés CFHT, ESO)

Les relevés grand champ permettent de mettre en évidence des grandes structures stellaires, correspondant à des débris de marée ou des satellites déformés, comme autour de la naine du Sagittaire, celle du grand Chien, ou l'anneau de Monoceros. Les structures peuvent d'abord être identifiées par photométrie (MEGACAM, WIRCam, VST, VISTA) et ensuite étudiées en spectroscopie (VLT/Flames, VLT/VIMOS). Ces relevés s'étendent au groupe local (M31, galaxies naines), pour préciser l'étendue des structures, leurs orbites et leur histoire dynamique, ainsi que leur composition chimique (Fe, alpha), l'histoire de la formation d'étoiles, le rôle des interactions...

Histoire fossile et évolution chimique (VLT-Uves, GIRAFFE, HST, ELT)

UVES, spectrographe à grande résolution installé au VLT permet de mesurer la composition chimique précise de l'atmosphère des toutes premières étoiles qui se sont formées dans la Galaxie (Large Programme « First Stars »). Beaucoup de nouveaux résultats sont attendus avec FLAMES/GIRAFFE sur le VLT, plus particulièrement utile pour l'étude de régions denses en objets tels le bulbe galactique, et les Nuages de Magellan.

Le HST a permis, ces dernières années, un progrès considérable en permettant de résoudre individuellement les étoiles dans les galaxies du groupe local, et d'en faire des diagrammes CMD, afin de préciser les populations, leur formation, leur destin. Cette science pourra être faite bientôt à des distances bien plus grandes, comme celles des amas de Virgo ou Coma, avec les ELT.

Thème 2

Histoire de la formation d'étoiles (VLT, IRAM, Spitzer, Galex, JWST, ELT, Herschel, ALMA)

Un des résultats les plus marquants des surveys profonds de galaxies (CFRS, HST, etc.) a été de mettre en évidence l'augmentation avec le redshift du nombre de galaxies formant activement des étoiles. Ces objets prouvent qu'il y a eu évolution considérable dans l'activité stellaire des galaxies, et même dans la morphologie des galaxies en général. Des études spectroscopiques détaillées ont pu être menées au VLT, et révèlent des objets surprenants quant à leur luminosité totale (qui est celle de galaxies géantes), leur métallicité (gaz et étoiles) ou leur masse. Plusieurs sortes d'objets spéciaux différents sont sélectionnés soit en infrarouge (ISO, Spitzer), soit en UV (Galex), par des discontinuités de Lyman ou plus généralement par leur SED. Les théories sur l'évolution des galaxies avancent par des études multi-longueurs d'ondes de champs profonds (HST, XMM, IRAM, VLT etc..) et fleuriront avec les ELT. Les objets les plus distants seront étudiés en sub-millimétrique (ALMA).

Dynamique des galaxies en fonction de z , rapport baryons-DM (SKA)

La physique des galaxies peut maintenant être étudiée en direct, par exemple l'évolution des types morphologiques, la fraction de barres en fonction du redshift, la formation stellaire etc... Nous pourrions dans le futur avec SKA observer la cinématique du gaz HI-21cm jusqu'à $z=2$, et obtenir les courbes de rotation jusque dans les parties externes, qui tracent la matière noire. La fraction des baryons en fonction du redshift est une quantité cruciale pour comprendre la formation et l'évolution des galaxies.

Aujourd'hui se développent des projets qui permettent d'étudier la formation des premiers objets dans l'univers : premières étoiles et premiers AGN qui vont réioniser l'univers. La physique de la réionisation pourra être étudiée par une tomographie en HI-21cm très décalée vers le rouge (mélange d'absorption et d'émission), dont LOFAR et SKA seront les instruments.

Simulations numériques, galaxies isolées, en interaction (Grape, Horizon)

Les simulations numériques sont de plus en plus

performantes, et permettent non seulement d'étudier la dynamique non-collisionnelle des étoiles et de la matière noire, mais aussi l'hydrodynamique du gaz, avec fonctions de chauffage/refroidissement et formation d'étoiles/feedback. Ces études prendront une toute autre ampleur lors de la réalisation du projet Horizon, où la formation des galaxies sera étudiée à grande échelle dans un cube de matière noire s'étendant à tout l'horizon observable (10 milliards de particules) ; plusieurs échelles de zooms imbriqués seront utilisées afin de pouvoir explorer la physique des galaxies avec une résolution suffisante. Le projet donnera lieu à une grande base de données, qui constituera un observatoire virtuel théorique pour de nombreux instruments à venir. Il y a encore un gros déficit en machines de calcul au niveau français, et il faudrait étudier la possibilité pour l'INSU de se doter d'un centre de calcul performant.

Alimentation des AGN, croissance des trous noirs (HST, MUSE, VLTI, AO...)

On sait aujourd'hui qu'il existe un trou noir super-massif dans pratiquement toutes les galaxies, mais les phénomènes de création et d'alimentation des noyaux sont encore mal connus ; la vérification de l'existence d'un tore moléculaire requis par les modèles d'unification des divers AGN demande une grande résolution spatiale, qui commence à être atteinte aujourd'hui, avec l'optique adaptative et l'interférométrie.

NAOS-Conica et le VLTI ont commencé à donner des résultats, et vont permettre une avancée qualitative dans la compréhension des constituants de l'engin central des AGNs et en particulier du tore obscurcissant. Par ailleurs le projet OHANA d'interférométrie entre les télescopes présents sur le Mauna Kea à Hawaii vise à atteindre une résolution angulaire inégalée de 0,2 milliseconde d'arc dans l'infrarouge proche. Ceci permettrait d'accéder d'ici trois à quatre ans à des informations de tout premier plan sur l'environnement très proche de l'engin central des AGNs, et de résoudre en particulier les zones d'émission des raies larges (« BLR »), probablement très hétérogènes, et les zones de formation de jets. Les projets proposés pour le VLTI-2 sont de grand intérêt pour le PNG, surtout en infrarouge.

Le Programme National de Physique Stellaire (PNPS)

(Voir en Annexe le rapport « Astérosismologie et activité stellaire au Dôme C »)

Le texte ci-dessous présente les premiers éléments de réponse apportées par le PNPS aux questions soulevées par la CSA le 22 novembre 2005 et débattues les 1^{er} et 2 février 2006. Une réflexion plus complète sera élaborée lors de l'exercice quadriennal de prospective du PNPS prévu au printemps 2006.

T2m-T4m

Il y a eu une enquête dans la communauté, et une réflexion au sein du CS (T2m-T4m, CFHT, TBL et OHP). Trois créneaux ressortent : champs magnétiques stellaires, astérosismologie, et plus marginalement astrophysique des hautes énergies.

CFHT

Il existe une grosse pression de la communauté stellaire (4,8), un peu supérieure à la pression générale (4,1, chiffres 2006A) sur le CFHT. La physique stellaire représente 50% des nuits PI attribuées (17), i.e. hors CFHTLS.

Il semble difficile d'augmenter ce nombre de nuits. L'entrée en service de Narval devrait permettre le transfert de certains programmes sur le TBL, mais la pression devrait rester importante.

Futur du CFHT : Projet VASAO

Le PNPS affiche un grand intérêt pour l'OA dans le visible, en particulier pour de l'imagerie dans le visible à la limite de diffraction. Un spectromètre (voire un spectro-polarimètre ?) à la limite de diffraction d'un 4m serait un instrument révolutionnaire pour la physique stellaire : disques et jets (1 UA à 30 pc) étoiles jeunes, enveloppes étendues, accélérations des vents, etc.

TBL

Le PNPS souhaite l'exploitation maximale de NARVAL. Au delà de cette phase, la question n'est pas triviale.

Le PNPS met en place un groupe de travail sur la spectro-polarimétrie dont le mandat est de répondre à des questions bien précises, en particulier quant à la poursuite des programmes scientifiques du TBL au-delà de la phase d'exploitation de NARVAL (ceci pour prévoir l'éventuelle jouvence du TBL). Ceci concerne aussi ESPaDOnS et le plus long terme. Les

questions posées sont les suivantes :

- Quels sont les programmes les plus prometteurs, quelles sont les échelles de temps pour les réaliser, quelle est la communauté concernée ?
- Quels sont les moyens nécessaires et suffisants à l'horizon 2010 ? Quel est l'avenir du TBL au-delà ?
- Comment assurer la formation et le renouvellement de la communauté ?
- Quels sont les moyens nouveaux pour rester compétitif à l'horizon 2015 ?
- Quel est l'intérêt de la spectro-polarimétrie à la limite de diffraction (VASAO) du CFHT ?

OHP

Le PNPS n'identifie pas actuellement de programme pour le T152 au delà de ELPOA ; le questionnement de la communauté est en cours pour vérification.

En ce qui concerne le T193, le PNPS souhaite l'exploitation complète de l'instrument SOPHIE, sur une durée de 5 ans, ou plus si nécessaire. Une réflexion se met en place en concertation avec le PNP qui envisage une grosse utilisation (> 120 nuits/semestre).

Le PNPS ne manifeste pas d'intérêt particulier pour la photométrie, ni pour la spectroscopie à basse résolution sur un télescope de 2m.

Nançay

Les programmes de physique stellaire menés actuellement sont les suivants (pour un total un peu inférieur à 20% du temps science attribué) :

- masers OH objets jeunes et étoiles évoluées, polarisation, pour la mesure du champ magnétique ;
- HI circumstellaire : AGBs à haute latitude galactique et plus récemment: RSGs, et HI dans les Céphéides.

L'avenir des surveys maser OH est limité dans le temps. Il y a d'autres instruments qui compensent leur surface collectrice réduite par un temps d'intégration plus long, et il faut aller vers une résolution angulaire plus grande (VLA, VLBA).

- Le programme HI circumstellaire est plus nouveau (grâce à FORT), et permet de balayer une variété d'objets beaucoup plus large. Il y a de l'ordre de 5 ans minimum d'exploitation (nombre d'objets x temps de pose) sur ce thème, avec cependant une communauté stellaire radio réduite. Il faudrait inciter et former la communauté.

Le PNPS examinera la qualité scientifique d'éventuels programmes clé, qui pourraient justifier une

• *Rapports des structures*

exploitation au delà de ces quelques années. Il n'est pas opposé au principe du ticket modérateur ; les modalités de mise en place de ce dernier restent à définir.

VLT/VLT12

Le PNPS a étudié les priorités relatives des instruments de seconde génération actuellement à l'étude pour le VLT.

VITRUV : l'instrument dispose d'une meilleure résolution angulaire à 1-2,5 microns. Les courtes longueurs d'onde sont intéressantes pour la physique stellaire, même au delà de la résolution spatiale : accès à des températures plus élevées et à l'étude du gaz.

La haute résolution spectrale, de l'ordre de 10 000-30 000, est très intéressante pour les raies atomiques et moléculaires (+Optique intégrée, R&D vers l'espace).

MATISSE : l'instrument permet l'observation de la poussière à 3-20 microns ; la résolution spectrale est plus faible. Il présente une complémentarité intéressante avec Darwin, avec les mêmes fenêtres spectrales.

Les deux instruments ne sont pas forcément en concurrence, et le PNPS les met tous les deux en première priorité.

GRAVITY : l'instrument vise l'astrométrie des étoiles autour du trou noir central galactique. L'objectif est très focalisé, et l'ESO demande d'enrichir le cas scientifique. Cet instrument est moins prioritaire pour le PNPS.

OHANA

Comme la CSA, le PNPS apporte son très fort soutien à la phase II pour l'aboutissement de celle-ci, et recommande la prudence pour la phase III, qui apparaît onéreuse pour le retour attendu (faible nombre de nuits attendu, d'où peu d'objets observés). Il faut à tout le moins négocier un nombre de nuits significativement supérieur à celui de la phase II.

Dôme-C

Il faut terminer la caractérisation du site à toutes les longueurs d'onde, et démarrer une « petite » opération, en maximisant le retour/investissement

(science, rapidité de réalisation). Pour le PNPS, SIAMOIS répond à ces critères, si le coût reste au niveau prévu actuellement (environ 800 k€).

Le PNPS a mis en place en 2005 un groupe de réflexion autour de l'astérosismologie au Dôme C, et donc il existe une « feuille de route » du PNPS pour l'astérosismologie (cf. document annexe) qui va jusqu'à l'installation d'un 2m avec un spectro-polarimètre permettant des suivis 24h/24 pendant de longues durées. Il y a eu une discussion en Conseil Scientifique incluant également l'interférométrie. Les conclusions de cette discussion ont déjà été communiquées au groupe de travail ADC. Depuis cette réflexion, d'autres pistes émergent, par exemple : caméra bolométrique sub-mm sur IRAIT, qui permettrait de caractériser le site à 200 microns avec en vue l'installation d'un instrument de grande taille, permettant une résolution spatiale supérieure à celle d'Herschel. La réflexion est à poursuivre en incluant ces nouvelles pistes.

Les conclusions 2005 sont les suivantes (les "NB" se rapportent à des éléments nouveaux) :

1) Le PNPS dispose avec SIAMOIS d'une proposition de projet bien structurée avec un programme scientifique parfaitement défini, une exploitation optimale des conditions d'observations ininterrompues spécifiques au Dôme C (ce qui est un aspect important au regard des coûts d'installation/exploitation), une complémentarité exempte de redondance avec l'existant au sol (Sophie, Espadons) et dans l'espace (Corot), un créneau temporel optimisé (au regard de l'année polaire internationale par exemple), une expertise existante, du manpower disponible, pour un budget moyen (800 k€, financés majoritairement par l'ANR).

A plus long terme le PNPS retient aussi le principe d'un télescope de 2m dédié, équipé d'un spectrographe de type SOPHIE/ESPADONS (une réflexion est à mener avec le PNP pour l'éventuelle détection d'exoplanètes).

2) Le projet interférométrique présente également un grand intérêt pour la physique stellaire. Les échelles de temps, beaucoup plus longues en ce qui concerne la réalisation et l'installation d'un réseau ne sont pas incompatibles avec le projet d'astérosismologie.

3) Pour les aspects observations submillimétriques, qui ont aussi été évoqués, les projets mûrissent dans la communauté.

Le programme national Physico-Chimie du Milieu Interstellaire (PCMI)

Les objectifs astrophysiques principaux de PCMI sont liés à la compréhension du milieu interstellaire et de son importance dans le cycle de la matière. La communauté PCMI s'intéresse donc :

- à des domaines de longueur d'onde de plus en plus complets, pour mieux caractériser les constituants du milieu interstellaire,
- à l'augmentation de la résolution spatiale et spectrale, pour caractériser la géométrie et de la cinématique des milieux astrophysiques étudiés en vue de leur modélisation détaillée,
- à l'augmentation de la dynamique spatiale pour la compréhension des lois d'échelles et des processus turbulents,
- à des catégories d'objets astrophysiques de plus en plus variés, comme « laboratoires » ou les effets de certains processus physiques peuvent être plus clairement identifiés et modélisés.

En raison de ces exigences de haute dynamique spatiale et de haute résolution angulaire et spectrale, la communauté PCMI s'intéresse principalement à des grands instruments, principalement dans les domaines (sub)millimétrique et infrarouge compte tenu des températures en jeu.

A court terme, la communauté est fortement impliquée dans l'exploitation de l'IRAM, tant du 30m (pour la structure des nuages moléculaires, les jets bipolaires, etc...) que de l'interféromètre du Plateau de Bure (pour la physico-chimie des disques proto-planétaires, la structure fine du milieu interstellaire et des régions de photodissociation). Il est important de continuer les développements instrumentaux de ces télescopes, en particulier le développement de la spectro-imagerie grand champ au 30m, mais aussi l'amélioration des performances du Plateau de Bure. Les études dans le domaine sub-millimétrique sont aussi actives, via des collaborations principalement avec le CSO, mais limitées par le manque d'accès significatif à un grand télescope. L'ouverture de APEX (5 % du temps pour la communauté française) et l'accès trans-national au JCMT ne résoudront que partiellement cette limitation.

La communauté PCMI est aussi utilisatrice modérée du VLT, en particulier de ISAAC, VISIR et bientôt CRIRES. Elle regrette l'absence de spectromètre IR proche intégral de champ sur des grands télescopes, consécutif à l'arrêt de BEAR sur le CFHT.

Pour les grands projets engagés, PCMI participe activement à la préparation de Herschel (et dans une

certaine mesure de Planck, pour l'étude des avant-plans galactiques). L'exploitation optimale des données du satellite Herschel nécessite une amélioration significative de nos connaissances des spectres IR lointain des molécules, des PAHs, des petits grains et des glaces à basse température (5 à 100 K), mais aussi parfois jusqu'à 500 K (cœurs chauds près d'étoiles massives). De nombreuses actions de préparation de données fondamentales sont donc en cours : spectroscopie sub-millimétriques de molécules, calculs de surface de potentiel pour les taux de collisions moléculaires, déterminations de taux de réactions chimiques, études de chimie sur les grains, caractérisations des glaces en laboratoires, études de nano-grains, etc.... La mise en service du synchrotron SOLEIL offre des perspectives uniques dans ce domaine, de part l'existence de la ligne IR AILES pour la spectroscopie, et de la ligne DESIRS pour la mesure de taux de photo-dissociation et photo-ionisation. Le rôle des PAHs (caractérisation, formation de H₂, état d'ionisation), les interactions gaz-grains (adsorption, chimie de surface, photolyse et photo-évaporation), sont tous des problèmes pour lesquels des études expérimentales du type CRESU (PALMS), faisceaux croisés (U. Bordeaux) ou pièges à ions (Toulouse) sont nécessaires. Enfin, les contacts avec les physiciens et chimistes restent essentiels pour l'utilisation optimale de méthodes modernes en chimie quantique et excitation collisionnelle : SAPT (Symmetry Adapted Perturbation Theory), MQDT (Multichannel Quantum Defect Theory).

Ces travaux permettront une meilleure interprétation des données Herschel dès leur obtention.

Ils seront aussi en partie utilisables pour le projet ALMA. La préparation de ALMA s'effectue aussi par des actions plus ciblées vers les caractéristiques uniques de cet instrument (haute résolution angulaire, grande dynamique spatiale, couverture du domaine sub-millimétrique), et en particulier par l'utilisation actuelle du Plateau de Bure. PCMI participera activement aux 3 groupes de travail pluri-programmes de l'ASA et mettra en place un groupe interne chargé de l'astrochimie et de la structure du milieu interstellaire.

Ces actions de préparation de données fondamentales doivent être suivies d'action de développement d'outils d'analyse et de modélisation plus sophistiqués pour un retour scientifique maximal.

Pour les grands projets futurs au sol, PCMI est clairement intéressé par SKA, la bande 5 – 20 GHz étant très importante pour l'astrochimie. Le site du Dôme C est potentiellement très intéressant pour le domaine sub-millimétrique, à condition de considérer un très grand télescope se démarquant sensiblement de APEX ($d > 20$ m). L'intérêt pour les ELT est peu marqué. De très grands télescopes millimétriques et/ou sub-millimétriques permettraient d'étudier des problèmes de structure hiérarchique du milieu interstellaire, mais un mode « collecteur de photons » sur un ELT ne satisfait pas ce besoin, compte tenu du peu de temps disponible pour ce mode sur un ELT optique.

Dans le domaine spatial, plusieurs projets émergent actuellement. Une participation au projet SPICA (pilote par le Japon) est une suite logique de la forte implication dans Herschel, mais PCMI est aussi concerné par l'exploitation de Spitzer, de même que

par l'utilisation du JWST. A long terme, le projet d'interféromètre Infrarouge lointain de l'ESA FIRM (horizon > 2020) peut aussi être motivant pour une partie significative de la communauté. Cependant, l'implication dans ces deux projets ne sera clairement évaluable qu'après l'obtention des premiers résultats de Herschel. Enfin, une partie de la communauté soutient activement le projet H2EX, permettant l'étude de H_2 dans le cadre d'une mission flexible ESA.

PCMI est par essence pluridisciplinaire. Nous avons mentionné dans la préparation de Herschel la nécessité d'expériences de laboratoire, et en particulier l'intérêt présenté par le synchrotron SOLEIL pour certaines d'entre elles. Des contacts plus développés dans le domaine hydrodynamique, MHD et études de systèmes complexes seraient aussi très utiles pour les recherches sur la structure du milieu interstellaire.

Le Programme National de Planétologie (PNP)

Le Conseil scientifique du PNP a mené une première réflexion de prospective sur les moyens lourds existants et les projets à 5 ans qui concernent la planétologie. On trouvera ci-dessous les premiers éléments de réponse aux questions posées aux programmes par la CSA. Une réflexion plus complète sera élaborée lors de l'exercice quadriennal de prospective du PNP à l'automne 2006.

Moyens lourds existants

Radio télescope de Nançay

Le PNP souligne l'importance du programme-clé cométaire en place au RT, le seul au monde à mesurer régulièrement OH en radio dans les comètes. Plus de 90 comètes ont été observées depuis sa mise en service. Les mesures permettent la surveillance du taux de production de l'eau et donnent accès à l'abondance et à la distribution du gaz dans la coma. Ces paramètres servent de référence pour les calculs d'abondance chimique et de contraintes pour les modèles hydrodynamiques de la coma et les modèles thermiques du noyau. Ces observations devront donc continuer à se faire quel que soit le contexte.

Le PNP est d'accord pour la mise en place d'un ticket modérateur financé par les programmes nationaux sous réserve d'un transfert de fonds correspondant. Il est aussi d'accord pour expertiser les futurs programmes-clés qui seront proposés par la Direction du RT. Le PNP souligne qu'il faudra veiller à ce que les moyens humains et financiers existent

pour assurer les programmes-clés qui seront validés par les Programmes Nationaux.

Observatoire de Haute Provence

Le PNP rappelle que l'exploitation de SOPHIE est de toute première priorité pour sa communauté, et qu'il est essentiel de maintenir la phase d'exploitation de l'instrument jusqu'à son terme, sans fixer de date butoir arbitraire à son achèvement. Il faut attendre de connaître l'estimation des performances de l'instrument sur le ciel, du nombre d'étoiles observables et de la compétition internationale pour avoir une idée plus précise de la durée d'exploitation souhaitable. Tout doit être mis en œuvre pour assurer le succès de SOPHIE, notamment la jouvence du T193 et le maintien du T120 pour la photométrie des transits. Le PNP soutient la mise en place du consortium SOPHIE/Exoplanètes qui permettra d'optimiser le retour scientifique de l'instrument. Le PNP a toutefois noté que le nombre de nuits souhaité par le consortium était très élevé et nécessiterait une augmentation de son budget si l'ensemble des projets exoplanètes était validé par le Comité Scientifique.

Le PNP n'a pas identifié de projets en planétologie qui pourraient être menés sur le T152 après l'ELPOA.

À la demande du CSSO, le Comité Scientifique du PNP a mené une réflexion sur l'intérêt pour la planétologie d'un éventuel télescope robotisé (document envoyé à la direction de l'OHP en octobre 2005). Un télescope automatique ou semi-

automatique apparaît comme une solution intéressante pour des programmes sur alerte (e.g. apparition de nouvelles comètes, occultations stellaires) et des programmes systématiques sur une longue période (e.g. météorologie planétaire, transits exoplanétaires). Il semble par ailleurs important que notre communauté acquière un savoir-faire dans le domaine des télescopes robotisés, avec en perspective des projets futurs dans des sites plus difficiles d'accès comme le Dôme C. L'OHP n'est toutefois pas forcément le meilleur site pour un tel télescope compte tenu du « seeing » et de la transparence du ciel qui pourraient compromettre les programmes d'imagerie planétaire.

Télescope Bernard Lyot

La communauté PNP est pour l'instant très peu utilisatrice du TBL et n'émet donc pas de recommandations fortes. Il semble toutefois nécessaire d'assurer la pleine exploitation scientifique de l'instrument NARVAL sans fixer de date butoir pour la fin de son exploitation.

Télescope Canada-France-Hawaii

La couverture totale du ciel apportée par le projet VASAO d'optique adaptative dans le visible avec étoile laser a un intérêt scientifique évident (e.g. étude des objets de Kuiper binaires). Avec les éléments dont il dispose, le Comité Scientifique du PNP n'a toutefois pas identifié d'avantage décisif au domaine visible par rapport à l'infrarouge. Le visible apparaît moins discriminant pour les signatures spectrales des surfaces que l'infrarouge. Si la couverture complète du ciel était disponible au VLT à la même échéance, l'avantage irait plutôt à l'optique adaptative en infrarouge au VLT, compte tenu de la plus grande taille du télescope. On peut noter toutefois que VASAO intéresserait probablement plus la communauté PNP que les programmes grand champ actuels du CFHT (MEGACAM et WIRCAM).

Projets prioritaires à 5 ans

ALMA

Le Comité Scientifique du PNP soutient l'action d'information et de coordination de l'Action Spécifique ALMA. Dans ce cadre, un atelier doit se tenir à Meudon en juin 2006 pour sensibiliser et préparer les planétologues à l'utilisation d'ALMA.

VLT 2ème génération

Au PNP, la thématique concernée par les différents projets est la formation planétaire avec le sondage interne des disques proto-planétaires en deçà de 10 UA. Les projets d'interféromètre imageur MATISSE et VITRUV sont clairement complémentaires. MATISSE, travaillant à 3, 5 et 20 μm , pourra imager

les disques au-delà de 1-2 UA, ce qui permettra de mieux comprendre la nature et la physique des grains de poussières (e.g. composition, cristallisation) dans la zone de formation des planètes, tandis que VITRUV dans l'infrarouge proche sondera très près de l'étoile (0,1-0,5 UA) les régions chaudes où la poussière se sublime. Le PNP est intéressé par les deux projets, mais n'émet pas de priorité compte tenu de leur complémentarité. Pour optimiser le retour scientifique dans la communauté française, il recommande d'inclure des spécialistes des glaces et poussières astrophysiques (dont mesures de laboratoire) dans les consortia associés aux projets.

SKA

SKA est l'un des projets-phares de la communauté radioastronomique décimétrique/centimétrique mondiale à l'horizon 2020. Le PNP souligne son intérêt pour ce projet qui permettra des avancées notamment sur les systèmes planétaires jeunes, les disques, les exoplanètes autour d'étoiles magnétiques et les comètes (à noter que l'étude des disques proto-planétaires nécessite les bandes haute fréquence (20-30 GHz) de l'interféromètre).

Astronomie au Dôme C

Le Comité Scientifique du PNP est d'accord avec les recommandations du groupe ADC : terminer la caractérisation du site ; envisager de petites opérations ; définir rapidement une feuille de route. Dans ce cadre, il soutient le projet A STEP de détection d'exoplanètes par transits, une opération non dépendante des problèmes de « seeing » et qui permettra une caractérisation photométrique du site. Pour le long terme, le PNP avait mené une première réflexion en 2004 à l'occasion du colloque Antarctique/Dôme C de Toulouse. Les pistes possibles étaient un grand (2-4 m ?) télescope infrarouge avec de la haute résolution spectrale (notamment pour la spectro-imagerie des atmosphères planétaires), la sismologie des planètes géantes (pas encore d'actualité dans l'attente des résultats de l'expérience SYMPA) et de nombreux projets liés à l'étude des exoplanètes par interférométrie et photométrie des transits. Cette réflexion devra être réactualisée en 2006. Le Comité Scientifique du PNP propose de déléguer la réflexion sur les projets exoplanètes au groupe conjoint « Exoplanètes » considérant qu'il regroupe l'expertise scientifique et technique.

ELT

Le projet des ELT est naturellement important pour l'étude des exoplanètes et de la formation des systèmes planétaires. Une étude de spectro-imageur dédié à cette thématique est en cours, impliquant plusieurs laboratoires français (EPICS, Earthlike Planets Imaging Camera Spectrograph).

Le Programme National Soleil-Terre (PNST)

Le Programme National Soleil-Terre est né en 1998 de la fusion des groupements de recherche « Magnétisme solaire et stellaire » et « Plasmae » pour stimuler les échanges de ces deux communautés qui travaillaient aux deux extrémités de la chaîne des relations Soleil-Terre. Le programme a été renouvelé en 2002, puis en 2006.

Les thèmes scientifiques sont liés à l'étude du contrôle de l'environnement ionisé terrestre par l'activité solaire et ses variations. Ces thèmes sont vastes et complexes et le programme ne comprend ni l'étude du cœur du Soleil (qui relève du PNPS) ni celle de l'atmosphère terrestre en dessous de 50 à 100 km d'altitude. De façon plus détaillée, les thèmes sont :

- la formation et l'émergence du champ magnétique solaire en plaçant cette étude dans une perspective stellaire plus générale ;
- l'activité magnétique solaire : instabilités magnétiques, éruptions, éjections de masse, accélération de particules énergétiques ;
- le chauffage de la couronne et la formation du vent solaire ;
- l'interaction du vent solaire avec le système complexe formé par la magnétosphère et la haute atmosphère terrestre avec ses composantes neutre et ionisée ;
- l'étude des processus fondamentaux dans les plasmas naturels : turbulence et chauffage dans les plasmas, reconnexion magnétique, filamentation, ondes de choc ;
- l'étude coordonnée des relations Soleil-Terre et de la météorologie de l'espace.

Parmi les résultats récents, nous pouvons mentionner quelques résultats concernant les mesures récentes de second spectre solaire, de champ magnétique dans les protubérances et dans les taches obtenues avec le télescope solaire franco-italien THEMIS, les résultats obtenus par imagerie multi-longueurs d'onde (radio aux X) et la modélisation des structures magnétiques sur le déclenchement des éjections de masse coronale, la mesure des vitesses d'écoulement du plasma avec SOHO/UVCS dans les régions « plumes » et « interplumes » des trous coronaires polaires. En physique magnétosphérique, CLUSTER a ouvert une nouvelle ère en montrant l'importance capitale des petites échelles dans la physique des grandes structures de l'environnement terrestre : ondes de choc, magnétopause, cornets polaires, queue géomagnétique. Les observations *in situ* de CLUSTER, combinées aux cartes de la convection magnétosphérique fournies par le réseau de radars

auroraux SuperDARN et les sondages des radars EISCAT, ont permis des études détaillées de la réponse du système magnétosphérique aux variations du vent solaire. En ce qui concerne l'étude des relations Soleil-Terre, on peut noter les résultats sur la comparaison du contenu électronique total dans l'ionosphère déduit des radars ionosphériques et du GPS, contenu important pour les télécommunications et l'étude de la reconstruction du flux EUV du Soleil à partir de la mesure de quelques raies.

Dans les prochaines années, la mesure du champ magnétique dans l'atmosphère solaire continuera à être un des thèmes fédérateurs de la communauté PNST grâce à la poursuite de travaux théoriques (par exemple transfert du rayonnement polarisé dans des milieux 2D/3D voire turbulents) et l'arrivée de nouvelles données de magnétographes vectoriels, notamment celles du satellite japonais SolarB. L'exploitation des données de THEMIS sera poursuivie en mettant l'accent sur le principal atout de THEMIS : la mesure simultanée de la polarisation dans plusieurs raies. Le savoir-faire de la communauté est un atout pour le développement de collaborations dans le cadre du développement des instruments du futur tels que l'ATST. La communauté doit réfléchir à son implication dans ce projet dans une perspective post-THEMIS et dans un contexte européen. Au delà de la mesure du champ magnétique photosphérique, de nouveaux défis s'ouvrent avec la mesure du champ magnétique coronal : possibilités de mesures coronographiques de l'effet Zeeman dans le proche IR (étude du site du Dôme C avec un Sky Brightness Monitor dans la perspective d'un projet international de coronographie) ; mesures dans le domaine radioélectrique avec FASR et à plus long terme dans le cadre de développement de nouvelles missions spatiales ; mesures du champ magnétique dans la zone de transition et la couronne par polarimétrie UV. La combinaison d'imagerie à grande échelle des cellules convectives du soleil « calme » au moyen de CALAS à la LJR du Pic du Midi et de la magnétographie grand champ avec Solar Dynamics Observatory (SDO) devrait permettre de comprendre l'émergence du champ magnétique calme. L'effort de comparaison des magnétismes solaire et stellaires sera poursuivi grâce à l'exploitation des données du spectro-polarimètre stellaire ESPaDOnS et à la mise en service de NARVAL au TBL.

L'étude de l'activité magnétique du Soleil, de ses répercussions dans le milieu interplanétaire et de la formation du vent solaire est un autre thème

féderateur du PNST. Des progrès observationnels et théoriques sur le déclenchement des instabilités magnétiques sont à attendre avec le développement de nouvelles simulations numériques MHD et le suivi des connectivités magnétiques combinées à l'exploitation de données dans tout le spectre électromagnétique (THEMIS, données XUV de SolarB, expériences stéréoscopiques de SECCHI/STEREO, imagerie et coronographie UV de LYOT sur le projet de micro-satellite franco-chinois SMESE). La compréhension des processus d'accélération des particules énergétiques dans la couronne et le milieu interplanétaire bénéficiera de la poursuite de l'exploitation des données de spectro-imagerie X/γ de RHESSI et des données du Radiohéliographe de Nançay mais aussi les nouveaux diagnostics qu'apporteront les observations bi-satellitaires de la mission STEREO (lancée en 2006). A plus long terme, ce thème bénéficiera d'observations inédites avec des instruments dont les développements devraient se poursuivre dans les années qui viennent : FASR (imagerie radio du soleil entre 0.1 et 30 GHz), observations en IR lointain (2-9 THz) avec l'expérience DESIR sur SMESE, détection de neutrons d'origine solaire de quelques MeV à bord de Solar Orbiter. L'étude du chauffage de la couronne et de l'accélération du vent solaire bénéficiera également de l'exploitation des données bi-satellitaire de STEREO ainsi que de l'exploitation de la 3ème orbite d'ULYSSE. La préparation de l'expérience Solar Orbiter de l'ESA, ainsi que la réflexion sur un projet de sonde solaire dans le contexte de Cosmic Vision, seront également à l'ordre du jour.

L'étude des « interactions vent solaire-magnétosphère-ionosphère » est aussi un des thèmes fédérateurs de la communauté PNST. L'exploitation des données satellitaires de CLUSTER, Double Star et des données sol des réseaux de radars SuperDARN et EISCAT sera poursuivie en liaison avec le développement de recherches théoriques et de modélisation. Elle portera sur l'étude des frontières et des interfaces de la magnétosphère terrestre avec le vent solaire et l'étude du couplage des plasmas de la queue magnétosphérique et de l'ionosphère aurorale. L'intérêt des observations multi-satellitaires est démontré par les résultats de CLUSTER et c'est avec ce type de mission que la communauté poursuivra l'exploitation de la magnétosphère, tout d'abord avec THEMIS (Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms) lancé en 2006, puis MMS (Magnetospheric Multiscale Mission) dont le lancement est prévu en 2012. Dans le cadre de Cosmic Vision, le projet Cross-Scale en collaboration avec la JAXA est en cours de réflexion. L'interface de la communauté PNST avec celle du PNP devrait croître dans les prochaines années avec l'analyse des

mesures de plasmas et d'ondes faites par la sonde CASSINI dans la magnétosphère géante de Saturne et avec la préparation de la mission BepiColombo vers la magnétosphère miniature de Mercure. L'étude des processus de couplage entre l'ionosphère et l'atmosphère terrestres doit bénéficier de la mise en service au Dôme C, en 2007, d'un nouveau radar SuperDARN bi-faisceau permettant de compléter la couverture en longitude de la mesure de la convection dans l'ionosphère et de développer des études comparatives inter-hémisphères. Avec les mesures du micro-satellite TARANIS s'ouvrira une thématique tout à fait nouvelle avec l'observation de phénomènes puissants mais fugitifs se produisant aux interfaces atmosphère/thermosphère/ionosphère et magnétosphère (sprites, elfes,...).

Le thème transversal de la météorologie de l'espace va aussi bénéficier de l'arrivée de nouvelles données pour étudier les différents maillons de la chaîne des relations Soleil-Terre : observations solaires de STEREO (2006) et SDO (2007) pour l'étude des éjections de masse coronale, du satellite technologique PROBA2 (2007) de l'ESA pour l'imagerie UV haute cadence, de PICARD et TARANIS pour les études du lien entre activité solaire, irradiance et climat et du couplage stratosphère/ionosphère. Les instruments sol tels que SuperDARN, le radiohéliographe de Nançay continueront également à être utilisés pour la confection de cartes de convection ionosphérique et les détections radio des déclenchement et propagation des éjections de masse coronale. Les besoins de cette thématique sont à prendre en compte lors de la définition des modes d'observation d'un instrument ainsi que des bases de données et observatoires virtuels.

Le PNST rassemble aujourd'hui un peu plus de 200 chercheurs dont 30% de jeunes occupant des postes contractuels (doctorants et post-docs). Les trois quart de cet effectif sont répartis dans 8 équipes de quinze à vingt chercheurs chacune et appartenant pour la plupart à des laboratoires spatiaux. Le dernier quart est constitué par des équipes de 4 à 6 personnes, et par une demi-douzaine de chercheurs isolés. Pour maintenir une communauté de 150 chercheurs titulaires actifs entre 30 et 65 ans, il faudrait recruter en moyenne 4,3 chercheurs/an tous organismes confondus. Entre 2002 et 2005, il y eut 9 recrutements dans notre discipline, c'est-à-dire 2,25/an alors que la médiane de l'effectif des chercheurs titulaires de notre communauté se situe entre 55 et 56 ans. Ce constat alarmant des ressources humaines du PNST est le principal sujet d'inquiétude alors que l'activité scientifique est particulièrement dynamique et que les projets et les doctorants sont nombreux.

Une dernière remarque concerne les contours du PNST qui comprend des interfaces avec en particulier le PNP pour l'étude des magnétosphères planétaires, le PNPS pour l'étude du cœur du Soleil, l'héliosismologie et le magnétisme solaire. D'une manière générale, il faut éviter la marginalisation des thèmes aux interfaces et distinguer les expertises que les programmes sont amenés à faire et la distribution

des ressources qu'ils gèrent. Une solution est que les Comités Scientifiques du PNST et/ou du PNP/PNPS aient un membre en commun (ce qui est déjà le cas) mais que ce membre soit habilité à rapporter au Comité Scientifique qui se réunit en second l'avis du premier. Concernant le soutien à de grands projets aux interfaces, l'examen commun et concerté par deux programmes serait souhaitable.

L'Action Spécifique Haute Résolution Angulaire (ASHRA)

On trouvera ci-dessous les premiers éléments de réponse fournis par l'ASHRA aux questions posées par la CSA aux Programmes Nationaux et aux Actions Spécifiques.

Moyens lourds existants

ESO

L'ASHRA souligne le rôle essentiel que doit jouer le Comité français de l'ESO (CSF), et souhaite continuer à y être représentée. Une diffusion plus large des informations serait souhaitable.

L'opportunité de centres d'aide aux utilisateurs est à étudier, sur la base de l'expérience très positive du JMMC pour le VLTI.

CFHT

L'ASHRA note que le passage à l'OA dans le visible serait favorisé au CFHT du fait de la taille du télescope et de la qualité du site. Associée au tir laser pour la mesure de tilt, elle offre la perspective d'une bonne couverture du ciel, avec de meilleures magnitudes limites. Le projet d'OA visible au CFHT offre l'avantage d'une niche non explorée par l'ESO, susceptible d'ouvrir l'accès aux très grands rapports de Strehl et de fournir un impact positif sur nos connaissances de l'OA en visible.

L'ASHRA souligne donc le fort intérêt potentiel de VASAO mais insiste sur le lien logique du couplage VASAO/Tir Laser. Il faut aussi rappeler que le projet VASAO implique le succès du projet de R&D ELPOA actuellement en développement à l'OHP.

OHP

L'ASHRA rappelle que le T152 joue un rôle crucial pour la phase actuelle d'ELPOA, de même qu'il a servi de banc d'essai à de nombreux projets d'OA dans le passé (OA pre-ADONIS, Pupil Shearing, BOA (ONERA), SPID). L'ASHRA réaffirme donc l'intérêt de l'OHP comme plateforme instrumentée pour la R&D (bien que ces besoins ne justifient pas la pleine utilisation d'un télescope). Il convient de redéfinir quelle doit être la remise à niveau minimale pour le T152 permettant la réalisation de la R&D ELPOA.

Projets futurs

La communauté a besoin d'un site de démonstration sur le ciel des projets de R&D. L'OHP serait bien placé pour remplir cette fonction. Le montage financier de l'équipement du site devrait faire l'objet d'une réflexion à l'échelle européenne (par exemple via OPTICON.)

Activités OA en France

L'ASHRA soutient le projet de montage d'un GdR OA, et note que le lien ASHRA-GdR OA est essentiel pour la cohérence de la R&D et des projets d'instruments. Il faut noter que le besoin de recrutement se fait sentir pour l'ensemble des activités HRA, y compris pour l'interférométrie.

Projets futurs

ELT

L'ASHRA note très positivement la réorientation du projet OWL vers un projet à la fois ambitieux et réaliste. Elle note que la communauté a contribué à rendre possible cette évolution et que l'objectif actuel est en plein accord avec les recommandations de La Colle sur Loup. Elle note que l'intérêt de l'interférométrie grandes bases (de l'ordre du km) se trouve renforcé du fait de la diminution du diamètre prévu pour les ELTs.

Une réflexion serait souhaitable sur l'opportunité de mettre sur pied un centre ELT.

VLTI-2

L'ASHRA note le retour scientifique croissant des instruments du VLTI ainsi que la pression croissante à l'OPC pour leur utilisation.

En ce qui concerne le VLTI-2, la mobilisation des équipes françaises est forte. Les priorités de la communauté française devront être définies par les programmes nationaux, mais devront prendre en compte les résultats des études de phase A.

OHANA

Conformément aux conclusions de La Colle sur Loup, l'ASHRA recommande une revue de projet pour la

les projets en cours suivants (chronologiquement) : la réalisation de SOPHIE (vitesses radiales sur le 193 de l'OHP), le lancement de COROT fin 2006 (mesure de transits par photométrie visible), la réalisation de VLT-PF à l'horizon 2010 (imagerie à haut contraste). Au-delà, ALMA à l'horizon 2012 (interférométrie millimétrique, formation planétaire), JWST autour de 2012 (spectroscopie haute résolution, imagerie thermique à grand contraste) et GAIA à partir de 2015 (astrométrie spatiale) apporteront aussi des données précieuses à l'étude des exoplanètes. L'ensemble de ce paysage promet des avancées spectaculaires pour la découverte des exoplanètes, leur caractérisation et la compréhension des mécanismes de leur formation. L'accompagnement de ces grands projets est indispensable. Il est important de veiller à la disponibilité d'équipe d'exploitation scientifique, soutenue et bien coordonnée pour assurer un bon retour scientifique sur les projets lourds à fort investissement français comme COROT (qui nécessitera un suivi systématique des candidats transits par photométrie, et spectroscopie haute résolution) et VLT-PF. A une échelle d'investissement différente, nous recommandons de poursuivre l'exploration des différentes voies de recherches, y compris des méthodes dites alternatives dans le cadre de petits programmes ou de collaborations sur des projets plus ambitieux qui, au niveau national, requièrent pour l'instant des budgets modestes.

Pour l'avenir, en termes d'implication dans des projets non encore définis, il nous semble stratégiquement important de préciser et consolider notre positionnement, en particulier sur les axes suivants :

- dans le domaine de la spectroscopie haute résolution (incluant la vélocimétrie radiale) et de la photométrie (transits planétaires/microlentilles gravitationnelles), assurer la poursuite de potentiel d'observations de grands relevés (statistique) et de long terme, au-delà des projets actuels ;
- positionnement pour la préparation ELT : l'imagerie à grand contraste est un des enjeux importants pour les ELTs ; la France peut potentiellement être un contributeur majeur pour ces développements et au centre de son exploitation. Il faut veiller à préparer solidement, dès maintenant un tel positionnement ;
- interférométrie : la situation est compliquée par les incertitudes sur la mission ESA DARWIN, sans remettre en question la qualité de l'expertise française. Un plan de route clair devrait être établi en liaison avec l'ESA, incluant la conception d'un instrument pilote, sol ou espace. Ce plan de route

devrait inclure la détermination de la fréquence d'existence de planètes telluriques et la magnitude de l'émission zodiacale des systèmes exoplanétaires recherchés ;

- de manière transversale, le Dôme C est un site d'exception, pour lequel la France (avec l'Italie) jouit actuellement d'un accès privilégié. Plusieurs projets avec un retour fort pour les exoplanètes sont proposés sur ce site. Cette piste paraît importante à préciser, en prenant en compte les différentes échelles de temps de manière réaliste afin de phaser les différents projets plutôt que de les exclure, et en intégrant le potentiel de collaborations et participations internationales. Ces 4 points représentent certainement des axes essentiels d'organisation nécessaire dans les 2 ans à venir.

Il est essentiel de souligner d'autre part que la recherche sur les exoplanètes est intimement liée à celle sur leurs étoiles parentes (composition, structure, mode de formation, binarité, observation de disques protoplanétaires...etc.). Physique stellaire et planétologie sont, à ce niveau, indissociables. Il est important que cette dualité soit reflétée au niveau des structures, en particulier des programmes nationaux, par une meilleure représentation des experts en exoplanétologie dans les divers comités ainsi que par une évaluation croisée des demandes dans le sujet.

Globalement, un bon équilibre instrumentation/observations/théorie est indispensable. La France est bien positionnée de ce point de vue, avec en particulier des synergies fortes entre astronomie, planétologie et géochimie. Alors que le thème des origines des planètes et de la vie est proposé, à juste titre, pour devenir un des thèmes prioritaires du CNRS, il convient d'encourager fortement ces actions interdisciplinaires. Au niveau des disques protoplanétaires, des outils d'analyse manquent pour maximiser le retour scientifique des observations de très bon niveau faites par des équipes françaises. Il devient, par ailleurs, tout à fait urgent de développer, au niveau national, des outils de modélisation de la formation planétaire capables de prédire la fréquence de formation des planètes et leurs caractéristiques et d'être ainsi confrontés aux observations présentes et à venir.

La France présente ainsi des atouts évidents dans le cadre de la recherche autour des exoplanètes qu'il convient de faire fructifier par la poursuite du soutien de cette thématique.

Structuration de l'Astronomie Fondamentale

Il faut rappeler que l'astrométrie, la mécanique céleste, la géodésie spatiale, la métrologie de l'espace et du temps — méthodes de l'Astronomie Fondamentale — sont historiquement parmi les points forts de la communauté astronomique française. L'implication française dans les services internationaux tels que : Ephémérides planétaires, IERS-pôle de rotation, Systèmes de référence de Temps et d'Espace (temps atomique, horloges, et repères céleste et terrestre) est effective et forte ; elle est accompagnée par un soutien aux projets sol et spatiaux (par exemple PHARAO/ACES ou la télémétrie laser), notamment avec une forte participation du CNES. La métrologie Espace&Temps (ou métrologie de l'Univers proche) apporte à l'Astronomie les réalisations des Systèmes de Référence spatio-temporels, et leur maintien via des services reconnus à l'UAI et l'UGGI et aussi à l'AIG.

A partir du colloque de La Colle-sur-Loup, outre le développement global de la discipline, nous avons cherché à renforcer les potentiels liés : à la méthodologie (par exemple en mécanique céleste : théories de translation et de rotation des corps), la R&D (horloges, lasers, micro-ondes, etc.), aux techniques spatiales (suivi des analyses et tâches de service), à l'assimilation et la combinaison de données issues de différents capteurs (dont la recherche de signaux très faibles). Le mi-parcours est donc l'occasion de faire un point : comment ce renforcement s'est-il opéré et quels en ont été les résultats.

L'évolution récente de la discipline est importante sur le plan méthodologique (nouvelles théories, méthodes de réduction et d'estimation, et problèmes inverses). Elle est aussi très importante sur le plan de l'estimation et du suivi à la fois des Références et des Constantes fondamentales (Univers et planète). Elle s'est traduite notamment par la mise en place de nouveaux groupes de travail : « Ephémérides planétaires » à l'OP (IMCCE et SYRTE), GAIA pour le repère céleste et les petits corps, « Repère et pôle de rotation, par combinaison des techniques » et « Observatoire Virtuel en Géodésie » avec le SYRTE et l'OCA, et « Laser » avec l'OCA, l'IMCCE, le SYRTE et le GRGS. Ceci, sans oublier la poursuite et le renforcement des relations avec le GdR GREX (Gravitation Expérimentale) sous la forme de journées d'échanges, de travaux et de projets communs (par ex. MICROSCOPE et PHARAO/ACES), et avec le GRGS pour le suivi des techniques et des projets spatiaux.

L'Astronomie Fondamentale est une assez petite communauté en nombre (environ 5% du secteur Astronomie Astrophysique, tel que présenté au colloque de La Colle sur Loup), mais elle a un rôle essentiel. Par ailleurs, si on y ajoute les géodésiens (IGN, ESGT, ...), les mécaniciens spatiaux (CNES, Alcatel, ...), cette communauté devient très importante dans son nombre et dans son rôle. Elle a, de fait, des débouchés assez variés, grâce aux nouvelles technologies appliquées à l'Observation de la Terre (GPS-GLONASS/GALILEO, GRACE, GOCE, CRYOSAT, ...) et à la planétologie. Cette communauté est affaiblie par les départs à la retraite et par le manque relatif d'étudiants et de formations doctorales. De ce point de vue, le Master (Ile de France) de l'Observatoire de Paris a joué et joue toujours un rôle extrêmement important. Il faut donc avoir un souci très aigu d'accueillir des étudiants en thèse dans les équipes et laboratoires concernés, et de remplacer les départs ; ceci pour les aspects scientifiques et technologiques.

Depuis 2003, un certain nombre d'évolutions ont eu lieu, dont une conjonction de projets spatiaux pour les 2-3 années à venir et des résultats importants et très appréciés au plan européen. Tout ceci a eu un impact important sur la communauté Astronomie Fondamentale et a permis de rendre encore plus fort son lien avec la Physique Fondamentale en amont et les Astro- et Géo- physiques en aval.

Les évolutions structurelles du CNRS, globale et locale comme la fin du GdR GREX cette année et la fin d'AGRET en 2002, conduisent à envisager un Programme National large du type : « Métrologie Espace&Temps et Physique Fondamentale : pour l'Astrophysique et la Géophysique ». Cette évolution est due au besoin (qui n'est pas nouveau) qui est devenu plus pertinent et concret aujourd'hui. La vision claire et partagée de l'avenir de l'Astronomie Fondamentale viendra d'opérations structurantes avec l'ensemble des acteurs et des établissements, schématiquement à : Besançon, Bordeaux, Grasse, et Paris. Elle viendra bien sûr également de projets, dont spatiaux notamment dans le système solaire, projets qui joueront donc aussi un rôle très structurant.

Actuellement, l'Astronomie Fondamentale est très fragilisée par de nombreux départs à la retraite à la fin des années 1990. Le CNAP, avec 4 postes d'AA sur 5 ans, a permis de relancer les choses, mais il faut absolument continuer l'effort sur plusieurs années.

• *Rapports des structures*

	Laboratoires	Temps-Fréq	Syst. Référence	Ephémérides
Besançon	Besançon	x		x
Bordeaux	L3AB	x		(x)
OCA	GEMINI	x	x	x (satellites artif.)
Obs. Paris :	SYRTE IMCCE	x	x	x

Laboratoires impliqués dans le secteur de l'Astronomie Fondamentale (panorama simplifié)

Perspectives à 5 ans

Les développements théoriques en Physique Fondamentale sont encore extrêmement déconnectés de la vérification expérimentale. Cependant, il paraît déjà clair que les énergies et/ou échelles requises pour cette vérification ne pourront pas toujours être reproduites en laboratoire. Les spécialistes des théories de la gravitation (et plus généralement en physique fondamentale) sont fortement demandeurs de tests bien plus précis (mieux que 10^{-12} en précision relative). Par exemple, la mission MICROSCOPE (MICRO Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Equivalence) a pour but de tester le principe d'équivalence dans l'espace avec une précision de 10^{-15} . A long terme, des données de télémétrie laser sur la Lune constituent une composante importante et complémentaire de MICROSCOPE dans la recherche sur le Principe d'Equivalence Fort.

Ces études doivent s'intégrer également dans le contexte scientifique national du temps fréquence, en particulier celui des techniques de transfert de temps futures. En effet, un réseau d'horloges ultra stables au sol, secondé par une horloge spatiale (rubidium, maser, ou atomes froids) en orbite autour de la Terre, et un lien optique et/ou micro-onde haute performance, permettent, en dehors des aspects technologiques, plusieurs programmes scientifiques comme: la mesure de l'anisotropie de la vitesse de la lumière ; l'augmentation de la sensibilité des observations VLBI, la mesure de la dérive dans le temps de $a = e^2/hc$; l'amélioration ou la fabrication d'échelles de temps, l'amélioration des modèles de propagation atmosphérique ; l'étude de la turbulence

atmosphérique.

Ensuite, la réalisation du système de référence inertiel (grâce à : VLBI, GAIA, la dynamique planétaire, ...), doit pouvoir progresser, et les méthodes de combinaison devront aussi s'améliorer afin de connecter le futur système accessible par GAIA, à $10\mu\text{as}$, au système actuel (ICRS) qui est à environ $200\mu\text{as}$. Pour le repère terrestre, le positionnement par GPS&GALILEO, devrait permettre de densifier le repère mais pas de le rendre nécessairement plus exact. Ce dernier point viendra d'une meilleure combinaison des données fondamentales produites par VLBI et la télémétrie laser, avec les données de type micro-ondes. Il est donc également nécessaire pour cela de travailler sur la combinaison d'observations issues de différents capteurs, sur la synergie avec des moyens de mesure complémentaires (réseaux au sol, avions, ballons) et sur l'assimilation dans les modèles.

Enfin, en mécanique céleste et spatiale, les théories planétaires devraient faire un bond en précision tant sur les aspects de trajectographie que sur les aspects de rotation, notamment pour Vénus et Mercure (ce dans l'objectif de la mission BepiColombo – version orbiteur planétaire sur une orbite circulaire polaire basse). La modélisation dynamique des systèmes planétaires, celles des systèmes de satellites des planètes (dont les satellites artificiels et les familles de débris spatiaux) et astéroïdes (géocroiseurs, essais météoritiques, prédiction des pluies et risques majeurs), l'exploitation des observations spatiales et celles de haute résolution angulaire sont autant d'axes prometteurs.

Interfaces avec les autres disciplines

Relations avec les Astroparticules

Le domaine astroparticule est un des thèmes prioritaires du CNRS (voir le chapitre « Les thèmes prioritaires du CNRS »), et la communauté scientifique concernée est structurée par un programme interdisciplinaire du CNRS qui s'appuie lui-même sur le programme national de cosmologie et le GdR Phénomènes Cosmiques de Hautes Energies, ainsi que d'une commission interdisciplinaire pour le recrutement de chercheurs.

Le programme interdisciplinaire du CNRS Astroparticules apparaît comme élément fédérateur des actions menées par le CNRS, les Universités, le CEA et le CNES dans ce secteur. Le mandat est : i) de piloter l'animation scientifique du domaine « astroparticules » et l'exploitation des instruments dans leur configuration actuelle en incluant dans son périmètre certains aspects de cosmologie, d'astrophysique nucléaire et l'extension de la problématique au domaine spatial, ii) de coordonner la structuration du traitement des données, de la simulation numérique lourde et de bases de données liés aux astroparticules et la cosmologie, iii) de préparer, via des opérations de R&D, la génération ultérieure d'instruments, iv) d'organiser la prospective de la thématique et de donner un avis sur les futurs grands équipements, ceci dans un contexte européen et international. Le CNRS conduit une vingtaine de programmes interdisciplinaires ; leur enveloppe annuelle est de l'ordre de 20 millions d'euros HT, soit 9% des moyens destinés aux laboratoires. Le budget annuel du programme Astroparticules est de 800 k€. Le programme Astroparticules fonctionne sur la base d'appels d'offres mais environ 50% de sa dotation est consacré à la finalisation des expériences en cours (contribution française à AUGER) et au financement du groupement de recherche « Phénomènes cosmiques de haute énergie ». Le reste est attribué prioritairement au suivi des expériences en cours, aux actions de R&D, à l'aide au démarrage de grandes opérations de calcul ainsi qu'aux actions interdisciplinaires avec d'autres domaines de

recherche tels que les sciences du vivant. Le programme Astroparticules, seul programme interdisciplinaire en recherche fondamentale (et donc le seul impliquant l'astronomie), arrivera à échéance en 2007.

Les liens interdisciplinaires dans ce domaine existent de longue date ; les tendances que le colloque de La Colle sur Loup avait soulignées se sont confirmées. En effet, les diverses communautés travaillent ensemble depuis très longtemps en cosmologie, avec le Programme National de Cosmologie qui a succédé au GdR Cosmologie ; la structuration est plus récente dans le domaine des hautes énergies, avec la création du GdR PCHE, mais les progrès ont été rapides. Le recrutement de chercheurs par la CID 47 permet de développer l'interdisciplinarité à la base, en permettant des transferts de personnes et donc le transfert de culture d'une discipline vers une autre. Des regroupements ou des créations de laboratoires à vocation interdisciplinaire, comme le laboratoire Astroparticule et Cosmologie, inauguré en 2006, vont également en ce sens. Des différences d'approches et de cultures subsistent cependant, même si des avancées sur la question sensible de mise à disposition des données et d'ouverture des instruments ont eu lieu (souvent sous la pression des agences).

Vu l'importance du thème Astroparticules et la participation croissante des physiciens de particules dans de grands projets d'astronomie spatiale et au sol, un exercice commun de prospective associant les agences et les instituts est très souhaitable. La CID 47 avait organisé en 2003/2004 une prospective Astroparticules finalisé les 5, 6 et 7 avril 2004 par un colloque à La Londe les Maures. Cette réflexion de prospective devrait servir de référence pour l'intégration des efforts des communautés concernées. Les deux instituts concernés, l'INSU et l'IN2P3, devraient réfléchir au prolongement possible de cette prospective, par exemple en utilisant le cadre du programme Astroparticules.

Relations avec la communauté des STIC

Les relations de l'astronomie avec les STIC sont très diversifiées et couvrent les domaines des deux chapitres « Recherche spatiale » et « R&D en astronomie ».

Les collaborations avec les STIC jouent un rôle important dans les R&D Haute Résolution Angulaire

et instrumentation dans de multiples domaines des nano- et micro-technologies et de l'optique : fibres optiques (fibres à cristaux photoniques en particulier) ; optique intégrée (Darwin, VITRUV, Projet Antarctique) ; miroirs déformables et toutes les questions d'actionneurs associées ; automatismes pour l'optique adaptative ; micro-switch et fentes

• Interfaces avec les autres disciplines

(R&D instruments ELT), temps-fréquence par fibres et optique intégrée, etc... De nombreux laboratoires astronomie et STIC sont concernés (le bilan a été fait dans le cadre R & D). Certaines collaborations ont même récemment débouché sur des prises de brevets conjoints entre Astronomie et STIC.

On peut également citer les collaborations anciennes dans le domaine du traitement d'images, qui continuent à se développer avec, par exemple, les actions « Astro-statistiques » au GdR ISIS (Information, Signal, Images et viSion), ou des projets labellisés par les ACI citées ci-dessous.

Un domaine de collaboration nouveau s'est ouvert avec le développement de la Grille. Avec la mise en oeuvre de l'Observatoire Virtuel, qui vise à donner un accès transparent à l'ensemble de l'information disponible, et les travaux sur les standards d'interopérabilité menés par l'International Virtual Observatory Alliance, l'astronomie est en pointe dans le développement des grilles disciplinaires de données et de service, au-delà des aspects habituels liés au calcul massif qui sont aussi importants pour la modélisation et le traitement systématique des données. Ces deux aspects étaient couverts par l'ACI

Grille de Recherches Informatiques et de Données (ACI GRID, 2001, 2002). L'utilisation par les astronomes de la Grille expérimentale GRID 5000, en cours d'implémentation, doit être explorée. Nos données massives, hétérogènes et distribuées sont pour l'essentiel libre de droit, ce qui en fait un « terrain de jeu » remarquable pour tous les problèmes liés au passage à l'échelle, domaine de l'ACI Masses de Données (ACI MD, 2003, 2004) où plusieurs projets très différents pilotés par des astronomes ont été labellisés.

De façon générale, les collaborations se mettent en place au cas par cas, avec des équipes STIC qui travaillent dans des domaines très différents. Faut-il aller plus loin et tenter de créer un cadre de collaboration institutionnel « astro-informatique », comme il existe la bio-informatique ? En particulier, la problématique de l'Observatoire Virtuel astronomique commence à être bien connue de la communauté STIC. L'échec de la proposition « OV France » assez générale présentée en 2005 à l'Appel d'Offre ANR Masses de Données : Modélisation, Simulation, Applications, à laquelle plusieurs experts STIC avaient accepté de participer, doit être évalué avant d'aller plus loin dans cette voie.

Relations avec les physiciens et les chimistes

L'exploitation optimale des données du satellite Herschel nécessite une amélioration significative de nos connaissances des spectres IR lointain des molécules, des PAHs, des petits grains et des glaces à basse température (5 à 100 K), mais aussi parfois jusqu'à 500 K (« hot cores » près d'étoiles massives). La mise en service du synchrotron SOLEIL offre des perspectives uniques dans ce domaine, de par l'existence de la ligne IR AILES.

Un grand nombre de questions restent ouvertes pour la compréhension de la physico-chimie du milieu interstellaire. La mesure de taux de photo-dissociation et photo-ionisation (par exemple sur la ligne DESIRS de SOLEIL), le rôle des PAHs

(caractérisation, formation de H₂, état d'ionisation), les interactions gaz grains (adsorption, chimie de surface, photolyse et photo-évaporation) sont tous des problèmes pour lesquels des études expérimentales du type CRESU (PALMS), faisceaux croisés (U. Bordeaux) ou pièges à ions (Toulouse) sont nécessaires.

Enfin, les contacts avec les physiciens et chimistes restent essentiels pour l'utilisation optimale de méthodes modernes en chimie quantique et excitation. Des contacts plus développés dans le domaine hydrodynamique, MHD et systèmes complexes seraient aussi nécessaires.

Relations avec les Sciences de la Planète

Les relations de l'astronomie avec les Sciences de la Planète se situent principalement, mais pas uniquement, dans la thématique de la planétologie.

Parmi les thématiques communes qui débordent de loin ce cadre, on peut citer la physique des très hautes pressions, avec des synergies en terme

d'équations d'état entre l'intérieur de la Terre, les intérieurs planétaires (y compris les gros satellites) et les intérieurs stellaires. La problématique de l'origine et de l'évolution des champs magnétiques est très active pour la Terre, avec l'apport des théories dynamo, puis celui des processus chaotiques, en particulier pour interpréter les inversions du champ

magnétique terrestre. La simulation lourde en 3D des équations de la magnétohydrodynamique s'applique également aux intérieurs stellaires. Cette thématique a connu un regain d'actualité avec la découverte de champs magnétiques dipolaires autour d'un nombre toujours plus grand d'objets de relativement petite taille avec les observations de Galileo, et plus récemment de Cassini. Ces résultats démontrent l'existence de courants de convection à l'intérieur d'objets supposés trop petits pour conserver un noyau liquide, à moins de remettre en cause le modèle « dynamo ». La mission BepiColombo vers Mercure, avec ses deux orbiteurs dont l'un en orbite faiblement excentrique, devrait apporter des éléments nouveaux vers la fin de la décennie 2010-2020.

En ce qui concerne la planétologie comparée des atmosphères, des éléments nouveaux ont été apportés par les missions martiennes (en particulier Mars Express) sur les composants mineurs, les profils de concentration et les interactions surface-atmosphère (condensation et sublimation des calottes saisonnières). La sonde de descente Huygens, sous responsabilité européenne, a obtenu des données jusqu'à la surface dans la seule atmosphère majoritairement constituée d'azote (en dehors de celle de la Terre bien sûr) de notre système solaire. En parallèle, la mission Cassini, qui va se poursuivre au moins jusqu'en 2010, effectue une couverture globale de l'UV à l'IR lointain des atmosphères de Saturne et Titan. La principale autre perspective à moyen terme est la mise en orbite de Venus Express autour de Vénus. Cette mission, lancée avec succès en novembre 2005, a mené avec succès, en mai-juin 2006, ses premières observations scientifiques principalement dédiées à l'atmosphère de la planète.

La planétologie comparée des surfaces a été profondément renouvelée par les missions spatiales de 2003-2004. La mission orbitale Mars Express (ESA) et les véhicules Spirit et Opportunity (NASA) ont obtenu des résultats complémentaires et concordants, qui démontrent que l'eau liquide n'a joué un rôle majeur que lors des premières étapes de l'histoire géologique de la planète Mars. Les principales perspectives se situent en 2009 (ou plus probablement en 2011), avec la mission Mars Surface Laboratory de la NASA et son véhicule de plusieurs centaines de kg doté d'une large autonomie, puis en 2011-2013 avec le programme « ExoMars », approuvé en décembre 2005 par le conseil des ministres des pays membres de l'ESA, et qui vise lui aussi à déployer un véhicule comportant une importante composante d'exobiologie. La communauté ST participe à la préparation de ce programme par son expertise minéralogique et géochimique dans la

définition de systèmes embarqués pour l'analyse *in situ* de surfaces planétaires.

A court terme, les principales perspectives de l'exobiologie se situent donc dans le contexte de l'exploration de Mars. Les résultats de Mars Express, affinés dès la fin 2006 par les observations à haute résolution de la mission américaine Mars Reconnaissance Orbiter, permettront de définir les sites les plus intéressants pour ces objectifs, en sélectionnant ceux qui présentent les preuves d'une activité hydrique importante (en particulier les minéraux des argiles, récemment découverts par OMEGA/Mex). Ces thématiques ont des liens évidents avec les études sur la Terre primitive ainsi que celles de la vie dans des milieux extrêmes, thématiques prises en compte depuis quatre ans dans les objectifs du Programme National de Planétologie de l'INSU et du GdR Exobiologie. Les observations de Galileo, puis celles de Cassini, démontrent l'existence d'océans enfouis sous la surface des satellites de glace du système solaire externe. A plus long terme, on peut imaginer des missions dédiées à la caractérisation de tels environnements, en particulier sur Europe. L'océan sub-glaciaire de ce satellite de Jupiter serait en effet le plus proche de la surface.

La communauté ST est également fortement impliquée en planétologie dans le domaine de l'analyse de la matière extra-terrestre. Ce type de matière est de deux ordres : les chutes naturelles (météorites, micrométéorites) et la collecte en haute atmosphère (IDPs), qui permettent de documenter des objets naturels dans la région terrestre, et les retours d'échantillons extraterrestres lors de missions spatiales dédiées. L'analyse de plus en plus fine de matière météoritique permet d'explorer l'origine de la matière dans le système solaire et son évolution dans le système solaire jeune (origines nucléosynthétiques, rôle de l'irradiation précoce, origine de la matière organique des météorites). La communauté ST française se situe très favorablement dans le contexte international, avec des premières mondiales dans la découverte de radioactivités éteintes permettant de contraindre l'origine de cette matière ainsi que la chronologie fine de la naissance du système solaire. Dans ce domaine s'est mise en place une interaction forte avec la communauté AA sur la thématique de la formation du système solaire.

La communauté ST a développé une expertise reconnue internationalement dans la caractérisation chimique et isotopique d'échantillons ramenés par des missions spatiales. Cette expérience a permis à des équipes françaises d'être sélectionnées comme laboratoires d'accueil pour les grandes missions de retour d'échantillons extraterrestres actuelles. Après

• Interfaces avec les autres disciplines

les échantillons de vent solaire implanté dans des cibles exposées dans l'espace (Genesis), le succès de la mission Stardust, avec de nombreux grains cométaires récupérés lors du survol de la comète Wild-2, constitue une perspective particulièrement intéressante.

La synergie entre Astronomie et Sciences de la Planète va se renforcer avec le développement des études sur les planètes extrasolaires. Après une phase principalement dédiée aux planètes de grande taille, les plus faciles à détecter, le lancement de COROT (2006) puis celui de Kepler (2008) devraient permettre d'identifier des planètes de type terrestre. Le caractère atypique ou générique de notre propre

système solaire, avec ses orbites quasi circulaires, pourrait alors être établi pour les planètes de la zone « habitable », ce qui pourrait conditionner la probabilité d'apparition de la vie. Les résultats récents sur les atmosphères des Jupiters chauds devraient à terme pouvoir être reproduits pour les atmosphères de planètes telluriques, avec des conséquences importantes sur la planétologie comparée et la planétologie. Ces objectifs requièrent une mission ambitieuse mettant en œuvre des méthodes interférométrique (TPF/Darwin) qui sera clairement candidate lors de l'appel à proposition que va lancer l'Agence Spatiale Européenne pour la période 2015-2020.

Relations avec l'exobiologie

L'exobiologie a pour objet l'étude de la vie dans l'Univers. Elle concerne l'étude des conditions et des processus ayant conduit à l'émergence du vivant sur la Terre, et plus généralement l'étude de l'évolution de la matière organique vers une complexité pouvant déboucher sur l'apparition de la vie. Elle inclut aussi l'étude de la vie dans les conditions extrêmes, l'étude des signatures, en particulier chimiques, morphologiques ou spectrales, pouvant indiquer la présence d'une vie passée ou actuelle, et la recherche de sites, dans le système solaire ou ailleurs, où la vie pourrait être apparue dans le passé ou être encore présente. L'exobiologie relève donc de domaines de compétence très variés (astrophysique, sciences de la Terre, chimie, biologie) et utilise un large éventail de méthodes d'étude (observations astronomiques depuis le sol et l'espace, analyse d'échantillons météoritiques, expériences de laboratoire, modélisation...).

Créé en 1999, le GdR Exobiologie s'est donné pour objectif de coordonner les actions relevant du domaine de l'exobiologie en France et d'inciter des coopérations autour de cette thématique. Les axes prioritaires ont été définis au cours d'un colloque national tenu en 2002. La communauté astronomique est bien représentée dans le GdR : sur les 19 membres du Conseil du GdR, 10 sont des

astronomes ; sur les quelque 150 membres du GdR, environ le tiers sont des astronomes.

La mise en place, au cours des huit dernières années, de quatre écoles thématiques du CNRS consacrées à l'exobiologie a notablement contribué à rapprocher les communautés concernées et à attirer vers cette thématique des chercheurs d'horizons divers. Initiées par des astrophysiciens, ces rencontres ont donné lieu à des actes de colloque qui font référence dans le domaine. La participation à ces écoles (61% SDU, 18% SC, 16% SDV en 2005) y traduit une réelle interdisciplinarité.

Dans le futur, l'exobiologie est amenée à connaître une nouvelle dimension. D'une part, l'exploration spatiale se poursuit vers les sites du système solaire potentiellement intéressants pour l'exobiologie (Mars, Europe, Titan, comètes...). D'autre part, le lancement prochain de la mission spatiale française COROT devrait ouvrir une nouvelle dimension à la recherche des exoterras ; plus tard, la mission européenne Darwin tentera d'étudier leur capacité potentielle à abriter la vie. La communauté française présente de sérieux atouts dans ce domaine, tant sur le plan théorique qu'instrumental et observationnel, et devrait être à même d'y jouer pleinement son rôle.

Relations avec la Physique Fondamentale

Lors du Colloque de La Colle sur Loup, bien que consacré à l'astronomie et l'astrophysique, la physique fondamentale a été présente dans différents contextes : de façon explicite avec la prospective spatiale des grandes missions relevant de la

physique, mais avec une forte composante sinon d'astronomie, au moins d'astronomes, comme MICROSCOPE pour le test du principe d'équivalence, ACES/PHARAO pour les horloges à atomes froids dans l'espace, LISA pour les ondes gravitationnelles,

T2L2 pour le transfert de temps. On retrouve également cette thématique de physique de manière implicite dans les travaux sur la métrologie des fréquences, la télémétrie laser et la théorie de la gravitation, le développement de l'interférométrie atomique, la physique atomique et ses relations avec la physique stellaire, les tests de la relativité générale avec GAIA, les sujets très proches des mathématiques dans les systèmes dynamiques. Plusieurs questions fondamentales venant en exergue du rapport ont un lien étroit avec la physique : identité et densité de la matière ou de l'énergie sombre ; physique des phénomènes les plus énergétiques de l'Univers ; structure de l'Univers dans son ensemble.

Depuis le colloque de prospective, différents éléments sont venus conforter ces liens comme le démarrage effectif de l'UMR interdisciplinaire APC avec ses propres locaux. La réforme en cours du CNRS devrait (au moins sur le papier) limiter les effets pervers des frontières entre secteurs. Ce qui est en partie réussi avec le thème astro-particule et des recrutements associés, n'a pas son équivalent pour les relations entre AA et les autres disciplines fondamentales comme la physique (atomes et molécules, laser et optique, photonique, micro- et nano-technologie) ou les mathématiques.

Pour les expériences spatiales les incertitudes

programmatisées du CNES ont été levées et le colloque de prospective de juillet 2004 a largement abordé la physique fondamentale dans l'espace. Aujourd'hui, la situation est clarifiée pour MICROSCOPE avec un lancement fin 2008 (implication OCA/Gemini pour la communauté INSU) et T2L2 est maintenant un projet spatial approuvé avec une opportunité de vol sur Jason-2 (T2L2, initiés par les activités temps-fréquences, sera à la base de nombreuses applications comme la diffusion d'échelles de temps, la navigation, les télécommunications et les expériences de physique fondamentale). Le démarrage de la station MEO (transformation de la station laser-lune du Calern) avec des objectifs en physique fondamentale et transfert de temps a eu lieu avec un premier financement sur les opérations nouvelles. ACES/PHARAO a été formellement approuvé par le CA du CNES, mais outre les difficultés techniques et financières, le projet est dépendant de l'accès à l'ISS. Enfin, concernant LISA, un groupement LISA-France a été mis en place avec des physiciens, astrophysiciens couvrant les domaines théoriques, l'instrumentation spatiale et le traitement du signal. Pour le futur, d'autres relations astronomie-physique sont en émergence autour de l'anomalie Pioneer avec la constitution d'un groupe de travail international et participation française notable de physiciens et d'astronomes.

Relations avec l'ingénierie

L'astronomie/astrophysique place ses relations avec l'ingénierie au travers du développement de l'instrumentation et du processus de traitement des données. Si la division AA applique en général des technologies aval à ses propres besoins, elle peut aussi initier des technologies nouvelles.

La prospection de AA vers les domaines de l'ingénierie paraît peu fructueuse, et relève plus de la veille que de la recherche systématique et se fait de façon ponctuelle, ce qui peut conduire à voir les labos AA développer des techniques relevant de secteurs majeurs sur ces sujets. Il faut par conséquent, comme c'est le cas pour la construction d'instruments spécifiques, que l'accès aux techniques et technologies avancées développées ou en cours de développement dans les autres secteurs, tels que les anciens SPI, SPM soit mieux structuré.

Des collaborations réelles existent déjà, en instrumentation sol et spatiale, et en R&D. Citons par exemple ELPOA avec SPM, la R&D matrice de bolomètres avec SPI, Archeops, puis HFI Planck avec SPM, le développement de micro miroirs déformables

avec SPI, l'utilisation des STIC dans le domaine de traitement de l'information, les collaborations techniques nées du programme Astroparticules. Ce dernier exemple, basé à l'origine sur un rapprochement scientifique, est très porteur, et, même s'il reste restreint aux partenaires qui coopèrent, ouvre une voie de réflexion sur l'organisation des disciplines.

L'accès à l'ingénierie dans le contexte actuel reste essentiellement conjoncturel et initié par une convergence scientifique qui implique des besoins spécifiques non maîtrisés par le demandeur in fine, c'est-à-dire AA, et donc des délais et/ou l'impossibilité d'entreprendre ou de continuer la coopération.

Quelles solutions apporter pour créer une synergie plus efficace ?

-Donner aux utilisateurs aval (AA) la visibilité sur les recherches amont. La création d'un Département large englobant l'ingénierie et la possibilité de multi-appartenance des laboratoires pourrait permettre de mieux

• *Interfaces avec les autres disciplines*

structurer les relations inter-départements mais à condition que des structures appropriées soient créées, par exemple des centres de compétences de type CNES dotés de moyens permettant d'assurer la veille technologique et la diffusion de l'information. Les réseaux du CNRS semblent plutôt jouer un rôle de formation.

- Faciliter les collaborations en sortant, lorsque c'est possible, de la pure logique de collaboration scientifique et facilitant des prestations contractuelles de type ONERA ou certains services du CEA. Cette approche, si elle appelle une certaine rigidité de type industriel, est la plupart du temps fructueuse et bien maîtrisée : les coûts réels apparaissent, les délais sont en

général tenus, parce qu'évalués avec réalisme, et le résultat final réévalué voisin des objectifs. Cette approche est également valorisante pour le contractant qui joue son rôle dans la collaboration. Il existe actuellement au CNRS, quelques services qui fonctionnent sur un mode voisin, en donnant satisfaction aux communautés qu'ils servent. Le SERAS à Grenoble en est un exemple. Ce n'est pas la règle et malgré tout, ils sont gérés par et pour un groupe de laboratoires.

- Développer des structures comme les GIS qui permettent de simplifier les relations et particulièrement les aspects budgétaire et personnel.

L'Europe de l'astronomie

Voir les Annexes :

1. Liste des projets communautaires acceptés dans le cadre du 6ème PCRD

2. ASTRONET : Organisation et objectifs

3. Contribution souhaitée par la communauté nationale à la politique spatiale de l'UE et au 7ème PCRD

Relations avec les Astroparticules

Le colloque de La Colle sur Loup avait affirmé avec force l'importance pour la communauté astronomique française de prendre toute sa part dans la construction d'un « Espace Européen de l'Astronomie » (EEA), contribution naturelle de notre discipline à la construction de l'Espace Européen de la Recherche. Il avait également rappelé la pertinence pour l'astronomie de l'échelle européenne de l'organisation de la recherche, qui est celle à laquelle se situent la plus grande partie des investissements dans les très grands instruments d'aujourd'hui et de demain.

Le colloque concluait ce chapitre de sa réflexion sur l'affichage de cinq priorités pour les actions à conduire. Il était proposé de préciser ce plan d'action dans le cadre d'une Ecole de Formation du CNRS qui réunirait l'ensemble des acteurs de la construction de l'Europe de l'Astronomie :

- laboratoires et fédérations/Etablissements/OSUs ;
- instituts nationaux (CNRS-INSU, CNRS-IN2P3, CNES, CEA, ONERA...) ;
- sociétés savantes européennes et clubs d'organismes (EAS, ESF) ;
- organismes internationaux (ESA, ESO, IRAM).

Cette école de formation s'est effectivement tenue du 29 novembre au 1er décembre 2004 à La Rochelle. Elle a été un grand succès, en ce sens qu'elle a effectivement réuni l'ensemble des acteurs de l'EEA autour d'une réflexion commune à laquelle tous ont contribué très activement. Il en est résulté un bilan des actions en cours (essentiellement dans le cadre du 6ème PCRD), et un plan d'action approfondi issu de cette concertation large. Nous présentons ici ce bilan et ce plan d'action ci-dessous, tels qu'on peut les actualiser un an après La Rochelle compte tenu des actions qui ont suivi.

Un bilan synthétique des actions

Les Journées de la Rochelle ont vu la présentation de 12 projets communautaires (sur 16 recensés et 14 prévus). Dix ont été décidés et sont en cours, et 2 ont été refusés. La liste de ces projets est présentée en annexe.

Ces interventions ont montré dans leur ensemble :

- Une adhésion fortement réaffirmée à l'objectif politique de constitution d'un Espace Européen de la Recherche.
- La nécessité de généraliser la dynamique de coordination entre les Etats-membres et leurs communautés scientifiques, en particulier par la tenue d'ateliers communs pour l'échange d'informations.
- La volonté de constituer au niveau français des équipes de « masses critiques » et de privilégier des complémentarités en régions (effet de levier, notamment financier, avec des investissements privés en recherche, très prisés au niveau européen).
- Une demande forte des participants pour une aide des Organismes et Etablissements leur permettant de maximiser leurs chances de succès dans la réponse aux appels d'offres de la Commission.

Le 6ème PCRD devait permettre à l'astronomie nationale et européenne d'améliorer son

positionnement et son efficacité, via le soutien à des programmes nationaux, la participation à des programmes technologiques (ex: microtechnologies, optique adaptative) et à des grands équipements (ex, Radionet, Astroparticules...), la mise en place de nouveaux programmes spécifiques (ex: météorologie de l'espace, cadre COST), la consolidation des communautés à l'échelle européenne. Face à ces attentes, l'astronomie française est restée quelque peu handicapée par un sous-dimensionnement des moyens de gestion dans les laboratoires, par un certain déficit de présence dans les instances communautaires à Bruxelles, et par un déficit de PI français dans les actions. Ce jugement se tempère par le fait que le 6ème PCRD n'offrait pas les conditions idéales pour un bon positionnement des équipes d'astronomie dans les cadres prédéfinis, essentiellement en raison de l'affichage des priorités de l'Action 1 (« Intégrer ») sur des thèmes très appliqués dans lesquels l'astronomie ne peut s'inscrire que marginalement.

D'où le besoin de deux types d'actions au niveau du CNRS :

- une réflexion en amont de la définition du 7ème PCRD, pour permettre de proposer des actions et des modes d'intervention adaptés aux besoins de

• *L'Europe de l'astronomie*

l'astronomie dans les programmes de travail du 7ème PCRD. Le projet ASTRONET, débattu et recommandé à La Rochelle, doit permettre de répondre à ces préoccupations au niveau de la coordination des positions nationales sur cet objectif et de la préparation concertée d'une prospective européenne des grands équipements.

- des actions de formations spécifiques, qui ont été demandées par les participants :
 - la formation de chefs de projet européen, et chefs de projet management ;
 - la formation d'experts européens pour conseils, surtout pendant les phases de préparation et de soumission d'un projet, qui induisent un volume important de travail administratif ;
 - la constitution d'un réseau spécifique d'« ingénieurs-europe ». Les articulations entre les actions en cours sont encore inexistantes (ou embryonnaires) : elles permettraient une meilleure synergie, ou pourraient conduire à des économies (de moyens, de temps...).

Malgré ces réserves, les actions acceptées et en cours montrent que le soutien européen est largement apprécié. Dans les appels d'offre, les équipes françaises sont souvent très largement arrivées en tête (ex: 3ème sur 118 dans le cas de l'« ELT-Design Study »). Le cadre européen est jugé dynamique, stimulant (compétition internationale) et surtout pertinent : flexibilité pour l'ajustement des tâches en cours de programme ; possibilité d'évolution rapide du contenu ; souplesse administrative pour la sous-traitance ou pour l'embauche de personnel temporaire qualifié sur une tâche particulière.

Globalement, le premier bilan du 6ème PCRD est

donc plutôt satisfaisant au niveau financier, avec un retour fort. Il peut se détailler comme suit au niveau des différentes actions :

- **Action « Intégrer »** : même si la couverture des thèmes intéressant l'astronomie y est très limitée, les participations françaises aux REX et PI aident au développement de technologies qui nous intéressent dans les domaines du temps-fréquence (préparation de Galiléo), des micro-technologies et de l'optique adaptative.
- **Action « Structurer »** : l'ensemble des actions de soutien aux grandes infrastructures de recherche est très positif. Les réseaux I3 et CA Opticon, Radionet, ILIAS et Europlanet (les deux derniers coordonnés par le CNRS) et l'action pour un Observatoire Virtuel Européen présentent une base de coopération large pour l'astronomie optique et radio, les grands équipements en astroparticules et les missions spatiales d'exploration planétaire. Les « Design Studies » permettent de préparer les grandes infrastructures sol de l'avenir (ELT, ATST, SKA...). Il faudra pour le 7ème PCRD capitaliser sur ces actions et étendre le dispositif aux missions spatiales en astronomie, à leur préparation (moyens d'essai) et à leur exploitation optimale (observatoires virtuels à large couverture thématique). Le bilan est plus mitigé sur les actions de formation. Le réseau de formation EN3S, non sélectionné cette fois, est une action à poursuivre.
- **Action « Renforcer les bases »** : il manquait clairement un instrument de coordination des politiques nationales en astronomie, d'où la très forte recommandation d'un ERANET pour l'astronomie : ASTRONET a ainsi été sélectionné, à l'initiative du CNRS.

Le plan d'action européen actualisé

Nous le déclinons sur les trois axes de la réflexion de La Rochelle, qui s'inscrivent dans les trois échelles territoriales pertinentes en optimisant les complémentarités entre les actions à ces trois échelles.

Axe 1. Le niveau international

Construire une stratégie européenne et consolider la « communauté astronomique » européenne

- Coordonner les politiques nationales au moyen d'un ERANET en astronomie pour :
 - coordonner la politique scientifique des organismes (vers une "feuille" de route

européenne des grandes infrastructures) ;

- être un acteur dans la préparation et la coordination des actions futures de l'Union Européenne.
C'est le rôle dévolu à ASTRONET, proposé et coordonné par le CNRS et en cours de mise en place. Son organisation et ses objectifs sont présentés en annexe.
- Consolider les réseaux d'infrastructure existants :
 - étendre la couverture de ces I3 à l'ensemble des domaines effectivement couverts par des grandes infrastructures européennes, en particulier le domaine spatial;
 - perfectionner et promouvoir les études techniques et scientifiques dans les grands

- projets du futur dans les domaines où la participation française est forte;
- Intégrer la dimension spatiale dans l'ensemble des actions et réflexions pour l'astronomie européenne : un texte sur la contribution souhaitée par la communauté nationale d'étude et d'exploration de l'Univers à la politique spatiale de l'Union Européenne. et au 7ème PCRD est joint en annexe. Rédigé par le sous-groupe « Sciences spatiales » du GTN « Aéronautique et Espace » du Ministère, il propose les orientations de base, et va être actualisé dans les mois à venir dans le cadre de la préparation des programmes de travail du 7ème PCRD.
 - Participer activement à l'ERC:
 - soutenir la recherche fondamentale sous forme d'allocations compétitives pour des équipes, sur des appels totalement ouverts évalués par des groupes d'experts *ad hoc*;
 - proposer, via les sociétés savantes, des membres représentants des thématiques scientifiques très larges, nommés sous la responsabilité de la Commission européenne.

Axe 2. Le niveau national

Assurer le retour scientifique optimal pour la communauté française et asseoir la dimension culturelle :

- Créer un groupe de coordination, pour produire une Prospective intégrant sol et spatial, astrophysique, planétologie physique fondamentale et astroparticules, et assurant une liaison avec Astronet;
- Assurer une bonne coordination INSU/IN2P3 dans le cadre du programme interdisciplinaire Astroparticules;
- Obtenir des instances (CNRS, INSU, Ministère) un soutien fort à la préparation des dossiers européens et au suivi des actions européennes par des moyens budgétaires et humains

appropriés.

- Développer une action volontariste, interministérielle, pilotée par l'INSU, pour la préservation et l'utilisation rationnelle du patrimoine scientifique des observatoires, la diffusion de la culture scientifique, le tout dans le cadre d'une ouverture large sur la société européenne.

Axe 3. Le niveau régional

Promouvoir la formation scientifique et l'innovation :

- Participer à la création de pôles régionaux PRES (Pôles de Recherche et d'Enseignement Supérieurs) largement ouverts sur l'Europe, en y valorisant les apports spécifiques de l'astronomie, et en partenariat avec d'autres acteurs locaux de la recherche, de la formation et de l'innovation.
- Intégrer la dimension enseignement de l'astronomie au niveau des PRES dans les 3 cycles L, M et D.
- S'organiser avec les autres acteurs locaux pour favoriser le recrutement, dans les bassins d'emploi régionaux, de post-doctorants formés dans le cadre de réseaux européens.
- Participer à la création de réseaux européens de formation pour les ingénieurs et chercheurs.

Les deux années à venir devraient être consacrées à achever la mise en œuvre de ces recommandations.

La définition très rapide d'une cellule de stratégie européenne auprès de l'INSU/AA, coordonnant le suivi de ces actions, est indispensable. Elle devra être construite en assurant les liaisons nécessaires avec les programmes, l'IN2P3 et les structures régionales qui s'impliqueront dans cette démarche.

La première tâche de cette cellule devrait être l'organisation en 2006 d'un Séminaire consacré à la préparation du 7ème PCRD, en reprenant un mode de travail qui a démontré son efficacité avec l'Ecole de Formation de La Rochelle.

Recommandations

On constate une très forte montée en puissance de l'implication des équipes françaises dans les actions du 6ème PCRD ; une école de formation du CNRS s'est tenue à La Rochelle en novembre 2004 pour faire le bilan des actions en cours et définir un plan d'actions. Un poste d'ingénieur a été dégagé à l'INSU pour aider les proposant à la préparation et à la gestion des dossiers. Parmi les points positifs, il faut aussi mentionner l'acceptation par l'Union

Européenne de l'Eranet ASTRONET créé à l'initiative de la France et visant à coordonner les agences impliquées dans l'astronomie.

L'objectif est maintenant d'optimiser au niveau de la communauté française la préparation au 7ème PCRD. La communauté soutient fortement l'initiative de l'INSU visant à organiser un Séminaire national fin 2006.

Communication

**Institut National
des Sciences de l'Univers**

**Centre National
de la Recherche
Scientifique**

3, rue Michel-Ange - BP 287
75766 Paris cedex 16

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

Octobre 2006