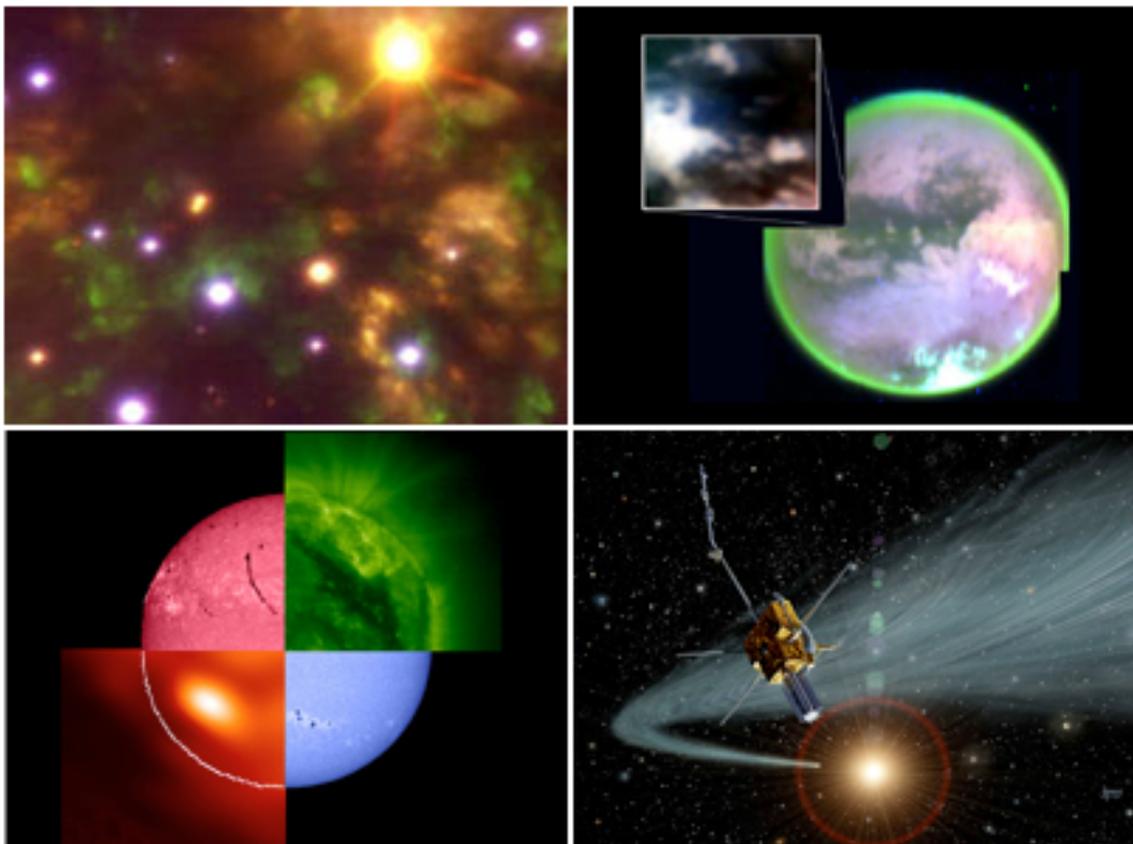


## UMR CNRS 8109

Observatoire de Paris – Université Pierre et Marie Curie – Université Paris-Diderot

# PROJET 2010 – 2013



LESIA – UMR CNRS 8109 – Observatoire de Paris, 5, place Jules Janssen – 92195 Meudon Cedex  
Tél : +33 1 45 07 77 01 - fax : +33 1 45 07 28 06 - mél : [direction.lesia@obspm.fr](mailto:direction.lesia@obspm.fr)



## Contractualisation Vague D 2010-2013

### PROJET 2010-2013

1. PERSPECTIVES 2010-2013 .....	4
2. POLE DE PHYSIQUE DES PLASMAS .....	6
2.1. <i>Introduction</i> .....	6
2.2. <i>Les défis scientifiques</i> .....	7
2.3. <i>Vent solaire et milieu interplanétaire</i> .....	7
2.4. <i>Environnements plasmas planétaires</i> .....	8
2.5. <i>Théorie et Simulations</i> .....	9
3. POLE DE PLANETOLOGIE .....	10
3.1. <i>Mission en cours et en développement</i> .....	10
3.1. <i>Herschel</i> .....	11
3.2. <i>Grands Projets au sol</i> .....	11
3.3. <i>Cosmic Vision 2015-2015</i> .....	12
4. POLE DE PHYSIQUE SOLAIRE .....	13
4.1. <i>Un programme scientifique fédérateur et pertinent</i> : .....	13
4.2. <i>Des projets pour porter le programme scientifique</i> : .....	14
4.3. <i>Une phase charnière pour la physique solaire à Meudon</i> : .....	15
5. POLE ASTRONOMIE .....	16
5.1. <i>Prospective interférométrie</i> .....	16
5.2. <i>Prospective coronographie</i> .....	17
5.3. <i>Prospective optique adaptative</i> .....	17
5.4. <i>Sismologie au sol</i> .....	18
5.5. <i>Plato</i> .....	18
6. HYGIENE ET SECURITE .....	19

*Ce dossier “PROJET 2010-2013“ pour le LESIA regroupe les parties touchant à la prospective extraites du document principal “BILAN janvier 2006-juin 2008 et PROJET 2010-2013“. En effet, dans un laboratoire directement impliqué dans la recherche spatiale et dans la grande instrumentation au sol, il est fréquent que les projets s’étalent sur 10 ans, 15 ans, voire plus ; donc couramment plus de trois quadriennaux. Par exemple, les opérations de la sonde Ulysses, lancée en novembre 1990 se sont terminées en juillet 2008, et la construction avait débuté au LESIA au début des années 1980, soit plus de 25 ans d’activités autour d’Ulysses. Plusieurs grandes missions actuelles dans lesquelles le laboratoire est engagé techniquement et scientifiquement, sont également sur le long terme (Rosetta, BepiColombo). La prospective, la R&D, les développements instrumentaux, l’exploitation scientifique optimale, fondée sur une grande connaissance instrumentale sont très étroitement imbriqués, et même s’ils peuvent être dissociés, une lecture groupée fait mieux ressortir les activités du laboratoire et son impact de premier plan dans l’arène internationale.*

## **1. Perspectives 2010-2013**

Dans les années qui viennent, et en particulier lors du prochain quadriennal, le LESIA va continuer à s’impliquer dans les thématiques fortes de la prochaine décennie, se positionnant ainsi sur des projets porteurs dont l’horizon va bien au-delà de 2013. Pour ce faire, le fonctionnement du laboratoire restera axé d’une part sur le **développement de filières instrumentales** qui constitue la démarche fondamentale du LESIA, et d’autre part sur le renforcement des **pôles d’excellence** d’interprétation des données, de **simulation**, de **modélisation** et de **théorie**.

Ainsi, dans le domaine de l’exploration spatiale, le LESIA participe aux programmes majeurs du CNES, de l’ESA, de la NASA, de la JAXA/ISAS, et entame des collaborations avec le CNSA (Chine), ce qui permet d’esquisser les lignes et projets qui vont marquer les activités du LESIA dans les années qui viennent :

- exploration de l’héliosphère interne (Solar Orbiter/RPWS, Solar Probe +, PHOIBOS) ; exploration des magnétosphères terrestre et planétaires (BepiColombo/SORBET, MMS, JUNO, JASSI, JIMO, Missions CV CrossScale et Laplace) ; sonde interstellaire, imagerie radio à grande longueur d’ondes ; développement de programmes au sol de pointe (LOFAR/LSS, SKA, gerbes cosmiques, surveillance solaire, recherche d’exo-planètes par techniques radio, ...).
- exploration des planètes et des petits corps, qui si elle rentre dans une phase d’exploitation intensive, n’en est pas moins orientée vers le futur, (Programmes Rosetta (exploitation), BepiColombo/SIMBIO-SYS, MicrOmega/ExoMars, implication dans Herschel/HIFI, ALMA et SKA, poursuite de la filière spectro-imageur miniaturisé, Missions CV Tandem (PI) et Laplace, Mission CV MarcoPolo (PI).
- magnétisme solaire (engagement dans EST-DS et positionnement pour l’EST et les grands instruments solaires optiques du futur, à travers une utilisation importante du télescope THEMIS, tant pour les observations que pour la mise au point de techniques de spectro-

polarimétrie) ; imagerie radio solaire (FASR, collaboration avec la Chine, interférométrie spatiale) ; Hautes énergies avec une implication dans STIX sur l'Orbiteur Solaire et développement d'une instrumentation en infra-rouge lointain (opportunité de collaboration avec la Chine en matière spatiale : DESIR sur SMESE) ; redémarrage d'une activité de service de Préviation de l'Activité Solaire (en relation avec le CNES).

- optique adaptative et coronographie : développements particulièrement novateurs dans les prochaines années avec études pour les ELT, exploitation du banc SESAME, participations majeures aux ELT dans EAGLE avec en particulier CANARY, dans EPICS, forte implication dans SPHERE et GRAVITY (VLTI), continuation du programme ŒIL, avec soutien au passage au stade clinique et au stade R&D OA-OCT. Implication dans SPIROU au CFHT.
- interférométrie : passage à 'OHANA-II, préparation à PEGASE, DARWIN
- astérosismologie et exoplanètes avec la Mission CV PLATON (PI), instrumentation Dôme C avec SIAMOIS et ALADDIN.

Ces projets scientifiques sont décrits avec plus de détails dans la Section II, au titre de chacun des pôles du laboratoire.

Nous devons tenir compte dans cette démarche du changement de contexte qu'induit la multiplication des intervenants spatiaux. Le LESIA est particulièrement préparé à cette évolution avec sa culture de partenariat et ses collaborations significatives avec l'Asie, en particulier Chine et Japon. Il reste à inventer les solutions pour garder une vue d'ensemble sur sa discipline en conservant des relations avec les principaux acteurs du Spatial, tout en maintenant sa vocation instrumentale, ce qui interdit toute dispersion. Il s'agit d'un challenge important qui mobilisera toutes les énergies.

Le programme scientifique du LESIA pour la période du prochain quadriennal (2010-2013) est donc bien tracé à la fois par la poursuite des programmes en cours ou en gestation et par la préparation intensive des phases de programmation à venir (par exemple 2015-2025 pour le programme de l'ESA Cosmic Vision).

Parmi les leviers destinés à élargir la capacité d'action du laboratoire sans exiger de moyens considérables, les collaborations avec d'autres laboratoires de recherche, mais aussi les partenariats avec les entreprises, aussi bien les grands groupes et les grands établissements que les PME, notamment d'Ile de France, seront une priorité. Ces coopérations permettent, en effet, d'accompagner l'évolution du contexte des projets, dont la taille comme la complexité augmentent rapidement. Là encore, le LESIA est bien préparé, car ces collaborations sont déjà très développées, par exemple dans le domaine spatial (par exemple mise en place du GIS MoTeSPACE avec le SAP et l'IAS), ou encore dans le domaine de la haute résolution angulaire et de l'optique adaptative (avec le GIS PHASE, MKT, Imagine Optics,...). Le moment arrive ainsi où ces coopérations vont pouvoir gagner en visibilité et donc en efficacité en passant à une formalisation plus claire.

Enfin, parmi les facteurs technologiques susceptibles d'accélérer le développement de notre discipline figure en première place la croissance particulièrement rapide des **outils de traitement informatique**. En effet, la croissance extrêmement rapide des potentialités informatiques constitue une réponse à la croissance tout aussi rapide des flux de résultats générés par les missions et autres explorations. Cette évolution sera notamment mise à profit pour développer des outils d'interprétation (**modélisation numérique, théorie**) sans lesquels les développements instrumentaux perdraient leur sens scientifique, ainsi que pour alimenter des **centres de données et bases de données** stratégiques (Corot, BASS2000).

Le LESIA va donc dans les prochaines années étudier systématiquement toutes les possibilités de tirer parti de ce phénomène décisif, tant pour l'exploitation des résultats de ses missions que pour la constitution de bases de données.

D'une manière générale, le défi que devra donc relever le LESIA est de **rester à la pointe de l'instrumentation spatiale et au sol**, et donc de maîtriser la réalisation d'équipements particuliers, tout en continuant à suivre le développement d'ensemble de sa discipline. Ceci nous conduit à être particulièrement vigilants pour conserver et développer le savoir faire (le personnel spécialisé) essentiel à notre cœur de métier. Ceci est particulièrement vrai pour la **culture spatiale du LESIA**, qui est clairement **à la base de ses succès spatiaux et sol**. Il est donc essentiel que le LESIA mène à tout moment, en partenariat avec le CNES au moins un projet spatial d'envergure (PI), afin d'entretenir et développer ses forces vives de maîtrise d'œuvre de projet spatial, ceci en parallèle aux contributions instrumentales et aux études de définition de projets futurs. Le LESIA doit conserver son potentiel d'ingénierie pour mener ces actions en parallèle. Ce challenge impose d'obtenir à temps les moyens indispensables, ce qui relève des tutelles. Mais le LESIA devra quant à lui savoir choisir des modes de fonctionnement qui le placeront précisément aux points névralgiques de sa discipline. Le modèle actuel, tirant au mieux parti de la taille du laboratoire, nous paraît représenter la base nécessaire pour conforter la position du LESIA dans l'arène scientifique mondiale.

L'organigramme du LESIA restera inchangé, l'organisation actuelle ayant fait ses preuves. La structuration actuelle, sa motivation et ses avantages sont décrits en détail dans le Bilan 2004-2008.

Nous donnons dans ce qui suit les directions de travail de chacun des pôles du LESIA.

## 2. Pôle de Physique des Plasmas

### 2.1. Introduction

L'expertise technique et scientifique du pôle plasmas, reconnue internationalement, a permis la réalisation d'instruments radio de sensibilité inégalée, embarqués sur les plus grandes missions internationales. Les résultats de premier plan rapportés dans le document de bilan du pôle montrent l'importance de préserver une équipe technique propre à la conception de récepteur radio de pointe, en synergie avec les chercheurs. La pérennisation de cette expérience en instrumentation doit passer par le recrutement à la fois des doctorants formés à la théorie et à l'instrumentation ainsi que de nouveaux ingénieurs et techniciens. C'est à cette condition que le pôle gardera sa capacité de proposer de nouveaux projets spatiaux pour relever les nouveaux défis scientifiques au sein de la communauté internationale.

L'engagement du pôle dans des instruments spatiaux ou sol de grande envergure a naturellement conduit à un développement important de nos collaborations internationales. Outre nos liens privilégiés avec les laboratoires américains engendrés par les missions spatiales passées (notamment Ulysse, Wind, Cassini, Stéréo), nos collaborations se sont étendues vers des pays Européens (République Tchèque, la Serbie, l'Italie, ...) et le Japon. L'accroissement du nombre de thèses en co-tutelle depuis quatre ans (deux avec la Serbie, une avec la République Tchèque, une avec la Grèce et deux avec l'Italie) est un autre indicateur de l'implication du pôle au niveau européen. L'implication du pôle comme **responsable de l'instrument SORBET sur Bepi-Colombo/MMO/PWI** permettra un accroissement des collaborations avec le Japon, tant pour l'aspect instrumental que pour le développement des simulations numériques et la modélisation. De plus, les relations avec la Chine seront amenées à s'intensifier dans le cadre de nouveaux projets.

Parallèlement, le pôle va **renforcer ses collaborations existantes** avec les autres laboratoires spatiaux et plasmas français, notamment **en Ile-de-France**. Dans ce contexte, nous avons participé

au printemps 2008 au PPF « les plasmas : du laboratoire à l'univers » proposé à l'Université Pierre et Marie Curie, fédérant les laboratoires « plasmas » d'Ile de France. Il s'agit de structurer des activités de recherche et d'enseignement (master Astronomie et Astrophysique, master science de la fusion) en profitant et en mutualisant les compétences existantes en astrophysique, physique des plasmas et physique atomique pour faire émerger un nouvel axe d'activité. Par ailleurs, le pôle plasma est fortement impliqué dans l'élaboration d'un partenariat entre le futur LPP (regroupant le CETP et le LPTP) et l'Observatoire de Paris, facilitant ainsi nos collaborations comme par exemple sur le projet Solar Orbiter. Ce partenariat serait un premier pas vers une structure de plus grande échelle rassemblant les forces des divers laboratoires de la discipline depuis les plasmas astrophysiques aux plasmas de laboratoire en passant par la théorie et la simulation numérique. Une telle « fédération » pourrait garantir un potentiel fort de propositions pour des futurs projets, grâce à la complémentarité des spécialités de chacun tout en permettant une plus grande cohésion et visibilité de la communauté plasma.

## 2.2. Les défis scientifiques

Les prospectives de recherche du Pôle Plasmas pour 2009-2012 concernent les deux thèmes phares du pôle : le vent solaire, des grandes aux petites échelles, et les environnements plasmas planétaires. Les études menées dans ces domaines ont déjà permis d'apporter des réponses fondamentales et d'améliorer notre compréhension dans les sujets de pointes tels que le chauffage de la couronne et l'accélération du vent solaire, l'échange d'énergie entre les échelles micro et macroscopique dans les milieux non collisionnels ou encore l'accélération de particules et les mécanismes d'émission radio dans les environnements planétaires. L'exploitation des missions spatiales en opérations ou bien en cours de réalisation (**WIND, CASSINI, CLUSTER, STEREO, BEPICOLOMBO**) s'articulent autour de ces questions, en parallèle des missions en phase de gestation (voir ci-dessous §I & II). Mentionnons également les implications fortes du pôle sur des projets « sol » et les perspectives en simulation et théorie (§III).

## 2.3. Vent solaire et milieu interplanétaire

Il semble maintenant clair que la stratégie pour répondre aux questions fondamentales sur le chauffage de la couronne et l'origine du vent solaire passe par une mission pour explorer les régions de l'héliosphère interne, aussi près que possible de la photosphère du Soleil.

La première étape sera **Solar Orbiter**. Cette mission permettra pour la première fois d'étudier la dynamique de la couronne solaire et l'héliosphère interne à une distance radiale de  $\sim 50$  rayons solaires ( $\sim 0.25$  UA). L'orbite de Solar Orbiter rendra possible des périodes d'observation en phase avec la rotation solaire. Ceci permettra, pour la première fois, d'associer directement des observations à haute résolution spatiale d'événements à la surface solaire et dans la couronne avec des mesures in situ dans le vent solaire. Dans le cadre d'un appel d'offre instrumental émis par l'ESA, le Pôle Plasmas a soumis en janvier 2007 une proposition de type « Principal Investigator » pour l'instrument RPW (Radio and Plasma Waves). Cet instrument permettra de mesurer les champs électriques et magnétiques dans le plasma à haute cadence temporelle afin de déterminer les caractéristiques des ondes électromagnétiques et électrostatiques dans le vent solaire depuis le continu jusqu'à 20 MHz. Nous poursuivrons les études de phase A de Solar Orbiter/RPW.

Les technologies permettent maintenant d'envisager une sonde solaire qui mesurera les caractéristiques du plasma coronal jusqu'à 4 rayons solaires. Le concept actuel (Solar Probe +) qui devrait aboutir à la publication par la NASA d'un appel d'offre instrumental début 2009 consiste en une sonde ayant une trajectoire elliptique permettant de s'approcher à 9 Rs plusieurs fois par an. Le Pôle Plasmas est sollicité pour participer à cet appel d'offre. Côté ESA, la proposition PHOIBOS a été soumise à la prospective Cosmic Vision. Cette proposition a pour but d'étudier un concept de sonde qui n'utilise ni de RTG pour la gestion de l'énergie à bord ni un passage par Jupiter qui

permet, par assistance gravitationnelle, d'acquérir une orbite finale inclinée d'environ  $90^\circ$  par rapport à l'écliptique et un périhélie de 4 Rs (Maksimovic, Velli et al., 2008). La mission PHOIBOS n'a pas été présélectionnée par l'ESA, mais des études R&T se poursuivront sur ce concept et sera proposée à nouveau au deuxième tour de l'AO de Cosmic Vision (ESA).

Par ailleurs, la compréhension des mécanismes de transfert d'énergie multi-échelles dans les milieux non collisionnels, tel que le vent solaire, nécessite des mesures in situ des champs électriques et magnétiques ainsi que de fournir les caractéristiques des particules. Compte tenu des faibles taux de télémétrie, les missions actuelles ne fournissent que quelques secondes de données par jour. Il est donc nécessaire de repousser les limites des instruments actuels. Rappelons que des mesures radio (in situ ou à distance) dans le vent solaire seront rares après l'arrêt de WIND et de STEREO. Le pôle s'implique donc sur toute mission spécifiquement dédiée à des mesures in situ en fournissant des récepteurs radio optimisés pour l'étude des processus physiques de dissipation de l'énergie et les interactions multi-échelles. Deux missions sont actuellement en cours de définition : SENTINELS (NASA) et KUAFU (Chine). Près de la Terre, la mission CROSS-SCALE, présélectionnée par l'ESA dans le contexte Cosmic Vision, propose une stratégie d'analyses multi-échelles simultanée de processus 'plasma' fondamentaux : chocs, reconnexion, turbulence. Elle constitue une évolution naturelle du concept de CLUSTER et permettra de réaliser l'analyse quantitative des processus tri-dimensionnels et multi-échelles. Le pôle plasmas participe actuellement aux discussions scientifiques de Cross-Scale et à l'instrumentation radio associée.

## 2.4. Environnements plasmas planétaires

Du point de vue des environnements planétaires, avec l'acquis des missions CASSINI et STEREO, et BEPICOLOMBO à venir, l'objectif est double : étudier les mécanismes d'émission et d'accélération des particules magnétosphériques, notamment la localisation des sources d'émission radio et la détermination des modes d'émission; étudier les interactions satellites-magnétosphères planétaires et en déduire une cartographie précise du plasma pour comprendre les phénomènes multi-échelles. Notons que l'apport de la simulation numérique dans l'exploitation de ces observations est fondamental. Deux missions sont actuellement privilégiées : LAPLACE/JMO et JUNO.

**La mission LAPLACE**, pré-sélectionnée par l'ESA, est en phase d'étude dans le contexte Cosmic Vision. Il s'agit d'une mission ambitieuse d'étude du Système Jovien (magnétosphère, atmosphères et satellites galiléens), intéressant a priori les 3 agences ESA, NASA et JAXA. La mission inclut aussi un orbiteur magnétosphérique (JMO), qui intéresse vivement le pôle plasma du LESIA à la fois pour ses objectifs scientifiques liés aux plasmas (étude du tore de plasma, notamment au voisinage d'Europe et de Ganymède, étude de l'interaction magnétosphère jovienne/vent solaire, émissions radio) et pour une participation à la charge utile. En effet, instrumentalement, l'implication du pôle plasma sur **LAPLACE/JMO** consisterait :

- à un spectromètre radio bruit thermique, monté a priori sur l'orbiteur magnétosphérique JMO (en collaboration éventuelle avec la JAXA, comparable à celle menée pour BepiColombo/MMO). Un tel spectromètre permettrait d'effectuer une cartographie précise des électrons thermiques et suprathermiques de la magnétosphère jovienne et plus particulièrement dans le tore de plasma d'Europe (étude des sources du plasma, du « sputtering », du recyclage du tore de plasma d'Io, des structures à grande échelle ...) ainsi que dans la magnétosphère de Ganymède.
- à un spectro-goniopolarimètre HF permettant de remonter à la polarisation complète et au vecteur d'onde  $\mathbf{k}$  incident pour étudier l'ensemble des émissions radio aurorales et dues aux interactions satellites-magnétosphère. Les mesures proposées visant à localiser les radiosources joviennes, déterminer les modes d'émission (via la mesure de la polarisation), et contraindre les mécanismes d'émission radio et d'accélération des particules magnétosphériques, seront d'autant plus efficaces que la latitude atteinte par l'orbiteur emportant l'expérience sera élevée.

Les observations seraient complémentaires de celles de **JUNO**, orbiteur polaire de Jupiter pour lequel le pôle a une participation de type « co-Investigateur ». JUNO permettra d'étudier en profondeur la magnétosphère polaire de Jupiter, les aurores, le champ magnétique (et le champ de gravité) en effectuant des mesures in-situ dans les radiosources (comparables à FAST dans les sources de l'AKR terrestre). Son expérience radio sera seulement sensible au flux total sans capacités de mesures goniopolarimétriques.

Coté « sol », le grand réseau BF Hollando-Européen LOFAR sera opérationnel à partir de 2009, et inclura une station (réseau élémentaire d'antennes) à Nançay. Un concept de "super station" a été soumis à l'ANR pour étendre la participation française au projet. LOFAR et le projet de super station ont - parmi des objectifs interdisciplinaires - plusieurs objectifs scientifiques planétaires, exoplanétaires, solaires et héliosphériques. Le pôle plasmas est fortement impliqué dans le Co-PI ship du consortium français "FLOW", le PI-Ship du working group « planètes-exoplanètes » mais également représenté au CS de LOFAR. En complément à LOFAR, l'exploitation des spectromètres BF à très hautes résolutions temporelle et spectrale à Nançay (dans la gamme 10-100 MHz, avec une aire effective 20 fois inférieure à LOFAR) et à Kharkov (10-30 MHz, avec une aire effective comparable à LOFAR) se poursuit. Cela permet d'aborder - outre Jupiter et le Soleil - des études de plasmas astrophysiques (exoplanètes, pulsars, étoiles à éruptions).

Pour finir, la prospective spatiale à moyen/long terme pourrait inclure l'interférométrie radio BF spatiale (pour études astrophysiques à haute résolution angulaire pour la première fois aux BF), et les projets en cours d'étude d'implantation d'antennes radio BF sur la Lune (de préférence la face cachée). Ils offriront la possibilité à terme d'un réseau de grande aire effective, pour l'étude des sources faibles (cosmologie, exoplanètes).

## 2.5. Théorie et Simulations

La théorie et simulation numérique sont des outils transverses aux différentes thématiques du pôle plasmas. Ces compétences, nécessaires à l'exploitation des observations in situ et à distance, permettent d'aborder les problèmes à résoudre sous des angles complémentaires.

La micro-physique des plasmas à laquelle nous avons un accès de premier plan par la mesure (type forme d'ondes) mais également par des aspects théoriques et de simulations est une thématique en plein essor au pôle plasmas. Les mécanismes responsables de la formation des structures cohérentes (observées dans le vent solaire, dans la magnétosphère de Jupiter...) sont encore largement incompris. Néanmoins, il paraît clair que la forme de la fonction de distribution en énergie des électrons (non-Maxwellienne) joue un rôle crucial. Le problème peut donc être traité par la théorie cinétique. L'universalité de ces structures présente des défis nouveaux à la communauté de simulation numérique des plasmas spatiaux et être adaptés à des problèmes originaux (certains réacteurs nucléaires).

Par ailleurs, l'étude du transport de l'énergie dans les plasmas non collisionnels, tel que le vent solaire, peut être traitée par des modèles cinétiques sans collision et les simulations associées, à généraliser à la structure spirale du champ magnétique (collaborations Belgique, Italie).

Les sondes explorant les magnétosphères planétaires permettent, principalement, l'acquisition d'informations sur l'état du plasma à l'endroit de la sonde. Cependant, une magnétosphère planétaire est un système très étendu avec une structure spatiale complexe et souvent très variable au cours du temps. Ainsi l'interprétation des observations en un point, dépendant souvent d'événements distants, n'est pas aisé sans l'apport de simulations numériques, permettant une vue globale du système magnétosphérique. Un code hybride (collaboration République Tchèque) permet de produire des cartes de la magnétosphère de Mercure, dont l'avantage est de simuler des détails de l'ordre du

kilomètre mais en contrepartie s'avère lent et inadaptés pour du "temps réel". L'utilisation d'un code fluide basé sur les équations de la MHD permettra des simulations en "temps réel" en support aux données de Sorbet d'ici le lancement de BepiColombo.

En support à l'interprétation des observations radio planétaires, des outils performants seront développés et améliorés comme des simulations PIC, des calculs d'émission radio par processus maser-cyclotron, et des modélisations géométriques des systèmes globaux « topologie magnétique à la source/directivité des émissions radio/géométrie source-observateur ».

Notons que le pôle plasmas s'investit pour la communauté dans la mise à disposition et valorisation des données radio, en travaillant principalement dans le cadre du CDPP (Centre de Données de la Physique des Plasmas – Toulouse). De nouveaux projets d'archivage d'envergure concernant notamment les données forme d'ondes et leur valorisation sont en cours de discussion. Ces travaux, possibles par l'implication de personnel CNAP du pôle, contribueront, à terme, à la formation d'un observatoire virtuel en physique des plasmas.

### 3. Pôle de Planétologie

#### 3.1. Mission en cours et en développement

Concernant les planètes telluriques, pour les années à venir, les activités vont se concentrer sur la fin de l'analyse des données **Mars Express** et **Venus Express**, et la préparation des missions spatiales futures, notamment la mission **ExoMars** de l'ESA qui doit être lancée en 2013. Le LESIA est en effet impliqué dans l'expérience MicrOmega (responsable : J.-P. Bibring, IAS) qui sera embarquée sur ExoMars, mission qui déploiera un rover avec un ensemble d'instruments dédiés à la recherche de vie passée ou présente, la caractérisation de l'environnement géochimique et en eau de la sub-surface, et l'étude des conditions à la surface en termes d'habitabilité. L'instrument MicrOmega est un microscope imageur hyper-spectral qui analysera des échantillons du sol martien pour en caractériser la structure, la morphologie et la composition à l'échelle des grains. Le LESIA fournira l'électronique du module infrarouge de l'instrument et caractérisera le détecteur avant livraison. Après le début des opérations à la surface de Mars en 2014, le LESIA participera au traitement et à l'analyse scientifique des données. Parallèlement à ces préparatifs, un second volet sera la poursuite des observations au sol par spectroscopie infrarouge et millimétrique de Vénus et Mars, avec en ligne de mire la préparation à ALMA.

La continuation de la mission **Cassini** en mission étendue jusqu'en 2010, puis possiblement jusqu'en 2016 (date du solstice d'été dans l'hémisphère nord de Saturne) demandera un investissement important au cours de la période 2008-2012 car les instruments où le LESIA est impliqué (CIRS, VIMS) vont bien sûr continuer à fournir une masse de données à analyser. Surveiller les changements saisonniers, aussi bien de la température que de la photochimie, observer l'inversion de phase de l'oscillation équatoriale, constitueront nos principaux objectifs scientifiques concernant Saturne. Sur Titan, l'objectif est de compléter la cartographie 3D des espèces photochimiques et des aérosols, de caractériser les variations saisonnières et de rechercher des molécules non encore détectées.

Toujours au niveau spatial, le LESIA est impliqué dans la construction du spectro-imageur VIHI (caractérisation des détecteurs et électronique de proximité) sur l'instrument Simbio-Sys de la mission **BepiColombo** vers Mercure dont le lancement est prévu en 2013. Un programme d'observations systématiques de Mercure dédié à l'étude de sa surface et de son exosphère a débuté en 2007 en collaboration avec le Service d'Aéronomie.

L'activité principale des prochaines années dans le domaine des astéroïdes sera consacrée à l'analyse et à l'interprétation des données recueillies au moment des survols de Steins (5 septembre 2008) et de Lutetia (10 juillet 2010) par la sonde spatiale **Rosetta**. Nous continuerons aussi à participer aux campagnes d'observation des objets cibles des missions Dawn (Cérès et Vesta) et Marco Polo (pour caractériser les candidats potentiels et optimiser le choix final). Nous aurons une activité importante de modélisation cométaire pour préparer Rosetta (le LESIA est fortement impliqué dans les instruments infrarouge VIRTIS et radio MIRO).

### 3.2. Herschel

L'année 2009 sera l'année du lancement du satellite **Herschel**, opérant dans les domaines submillimétrique et infrarouge lointain. Plusieurs planétologues du LESIA sont co-investigateurs du programme-clé à temps garanti « Water and related chemistry in the Solar System » qui regroupe plusieurs objectifs scientifiques : mesurer précisément le rapport D/H, mesurer l'abondance de l'eau dans la stratosphère des planètes géantes et son profil vertical sur Jupiter et Saturne, afin de mieux contraindre les sources des flux externes d'oxygène dans les planètes géantes. Herschel effectuera également un relevé complet du spectre des planètes géantes afin de détecter les transitions de NH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub> et CH<sub>4</sub> sur Jupiter et Saturne, de HCN et CO sur Neptune. Sur Titan, des raies de la vapeur d'eau (molécule initialement détectée avec le satellite ISO) seront observées : le profil vertical de ce corps pourra être déterminé et des variations temporelles seront recherchées. L'objectif est de contraindre l'origine externe de l'eau présente dans la très haute atmosphère (impacts cométaires, IDPs, anneaux ou satellites glacés) de Titan. Pour les comètes, l'accent est porté sur la mesure du rapport D/H dans l'eau (la première mesure dans une comète de la famille de Jupiter devrait être obtenue), l'étude de ses conditions d'excitation, et l'identification de nouveaux composés par des spectres complets avec les instruments PACS et SPIRE. Nous sommes également fortement impliqués dans un programme clé sur le temps ouvert (essentiellement avec l'instrument PACS) qui a pour objectif principal de mesurer la taille, l'albedo d'une centaine d'objets transneptuniens et, pour les plus brillants d'entre eux, de caractériser leurs propriétés thermophysiques.

### 3.3. Grands Projets au sol

La période 2008—2012 verra également la mise en service d'**ALMA**. Les chercheurs du LESIA sont actifs dans la préparation des observations. La cartographie de CO et de HCN sur Neptune, la mesure de la vitesse des vents par effet Doppler seront nos principaux projets scientifiques sur les planètes géantes. En parallèle, nous continuerons de suivre l'évolution de la température et de la photochimie sur Neptune par des observations dans l'infrarouge thermique. En prévision d'ALMA, des observations de Io au SMA (SubMillimeter Array) ont été effectuées en 2006 et d'autres sont prévues en 2008-2009. Leur analyse permettra de déterminer la distribution spatiale de SO et SO<sub>2</sub> à la surface du satellite. Les observations ALMA des comètes porteront en priorité sur l'étude de la composition chimique et isotopique de la phase volatile des comètes de la famille de Jupiter, encore peu étudiées. Nous participons au travail de prospective SKA sur des projets cométaires. Le programme Herschel de caractérisation de la taille et de l'albedo des objets transneptuniens sera poursuivi avec ALMA.

Deux projets de photomètres multi-objets à fibres sont en cours d'étude, l'un à l'OHP (projet **MEFOS**), l'autre sur un VLT de l'ESO (projet **ULTRAPHOT**). L'un des objectifs de ces instruments est d'évaluer la population des très petits objets transneptuniens (et au-delà, jusqu'au nuage de Oort) par recherche d'occultations stellaires en photométrie rapide.

Spectroscopie visible/IR de TNOs : du temps d'observation sera demandé au VLT pour obtenir de meilleures observations pour certains objets particulièrement intéressants, et pour observer des

objets nouvellement découverts. Par ailleurs, nous continuerons à affiner nos modèles de transfert radiatif et nous renforcerons nos collaborations avec les équipes qui sont à même d'effectuer les simulations de laboratoire les mieux adaptées à nos besoins (LPG de Grenoble, Catane).

### 3.4. Cosmic Vision 2015-2015

En dernier lieu, un point fort de notre activité de prospective est lié au programme **Cosmic Vision** de l'ESA. Dans la thématique de la planétologie, deux missions à PI LESIA ont été sélectionnées pour étude de faisabilité : les missions **Marco Polo** (PI A. Barucci) et **Titan / Saturn System Mission** (TSSM, ex-TandEM, PI A. Coustenis). Le LESIA a également une forte contribution scientifique dans la mission **Europa Jupiter System Mission** (EJSM, ex-Laplace, PI M. Blanc), également sélectionnée en partenariat avec la NASA et la JAXA. Pour ces trois missions, le LESIA est fortement impliqué sur le plan de l'instrumentation, et propose notamment la fourniture de spectro-imageurs dans le domaine visible et infrarouge proche.

**Marco Polo** (de classe M) est une mission de retour d'échantillons d'un astéroïde géocroiseur primitif (NEO), proposée en collaboration avec l'agence japonaise JAXA, qui contribuera à une meilleure compréhension de l'origine et de l'évolution du système solaire, de la Terre, et de la vie (cf <http://www.lesia.obspm.fr/cosmicvision/neosr/>). Les petits corps du système solaire, résidus du système solaire primitif, fournissent des indices sur le mélange chimique à partir duquel les planètes se sont formées il y a 4.6 milliards d'années. Certains scénarios proposés pour expliquer l'origine de la vie invoquent une livraison exogène de matière organique à la Terre primitive. Par ailleurs, les collisions de NEOs avec la Terre présentent un risque non négligeable pour l'humanité. Pour toutes ces raisons, l'exploration de ces objets est particulièrement intéressante et urgente. Marco Polo nous permettra d'analyser les échantillons dans les laboratoires terrestres, obtenant de ce fait des mesures qui ne peuvent pas encore être effectuées *in situ* par une sonde spatiale robotique. Dans le détail, cette mission nous permettra de : 1) Déterminer les propriétés physiques et chimiques de la cible, caractéristique des planétésimaux présents dans la nébuleuse solaire primitive ; 2) Identifier les événements principaux (par exemple agglomération, chauffage, altération aqueuse, interactions du vent solaire...) qui ont influencé l'histoire de la cible ; 3) Déterminer le contexte géologique de sa surface. 4) Rechercher un matériel pré-solaire encore inconnu dans les météorites; 5) Étudier la nature et l'origine des composés organiques sur la cible, particulièrement ceux qui peuvent contraindre l'origine des molécules pré-biotiques ; 6) Comprendre le rôle des impacts des petits corps dans l'origine et l'évolution de la vie sur la Terre.

**Titan / Saturn System Mission (TSSM, ex-TandEM)** est une mission de classe L, en collaboration avec la NASA, pour retourner dans le système de Saturne afin d'explorer *in situ* et de manière approfondie deux de ses satellites : Titan surtout mais aussi Encelade. Cassini et Huygens nous lèguent une longue liste de questions sur Titan qui sont directement liées à la nature de l'évolution planétaire, des processus physiques planétaires et à l'habitabilité des mondes. Les thèmes scientifiques qui seront abordés plus directement par TSSM sont : 1) L'environnement spatial de Titan ; 2) L'atmosphère neutre de Titan et d'Encelade ; 3) La surface de Titan et Encelade ; 4) La structure interne de Titan et Encelade ; 5) La formation et l'évolution des satellites ; 6) Le potentiel astrobiologique des deux mondes. Le concept actuellement à l'étude pour TSSM comprend un orbiteur (qui effectuerait des survols de Titan et Encelade avant de se mettre uniquement en orbite autour de Titan), une plateforme aérienne (Montgolfière) pour l'atmosphère de Titan, et une ou plusieurs sondes qui se poseraient sur Titan. L'architecture comporte plusieurs options dont un ou deux vaisseaux dont le lancement est prévu pour 2018 environ. De nouvelles techniques d'insertion en orbite, comme l'aérocapture et l'aérofreinage, seront aussi étudiées en tant qu'options. Nous avons constitué une charge utile préliminaire pour la mission TSSM qui mettra en

oeuvre de nouveaux concepts, des nouvelles capacités observationnelles à la pointe de la technologie avec des instruments « classiques ». Une telle mission conduira sans aucun doute à d'importantes avancées technologiques par le développement de composants nouveaux. En particulier, la conception du ballon, des sondes, et des différents instruments, ainsi que la gestion du lancement, livraison et communications entre ces éléments permettront d'ouvrir de nouveaux domaines d'études pour les ingénieurs. Pour plus de détails sur TandEM et TSSM voir Coustenis et al. (2008b) et [www.lesia.obspm.fr/cosmicvision/tandem](http://www.lesia.obspm.fr/cosmicvision/tandem).

Le LESIA a également une forte contribution scientifique sur la mission **Laplace/Europa Jupiter System Mission** dans le système de Jupiter (P Drossart participant au Science Definition Team). La mission Laplace (de classe L), renommée EJSM (Europa Jupiter System Mission) pour fusionner avec la mission NASA de classe Flagship nommée Europa Orbiter et une mission à plusieurs composantes : un satellite (NASA) destiné principalement à l'étude d'Europe, l'autre (ESA) à l'étude de Ganymède. Les deux composantes étudieront en complémentarité le système de Jupiter (atmosphère, magnétosphère); un troisième satellite (JAXA) dédié à la magnétosphère est aussi à l'étude. Les objectifs de la mission concernent la compréhension des mécanismes de couplage dans l'atmosphère de Jupiter et sa magnétosphère, la question de l'habitabilité des satellites Europe et Ganymède avec la présence probable d'un océan sous la croûte de glace. Le LESIA pourrait s'impliquer dans cette mission par la fourniture d'un spectro-imageur de nouvelle génération alliant haute résolution et imagerie pour l'étude à une résolution inégalée de l'atmosphère de Jupiter. Cet instrument, dans la lignée des études en R&D menées au LESIA depuis plusieurs années, pourrait aussi être adaptable à l'étude des oscillations planétaires globales (sismologie planétaire), permettant de sonder l'intérieur des planètes.

## 4. Pôle de Physique Solaire

### 4.1. Un programme scientifique fédérateur et pertinent :

La moisson des résultats de l'ère SOHO, combinée au lancement récent de STEREO et de HINODE, ainsi qu'au développement massif des activités de modélisation numérique, ont conduit à lever un grand nombre de controverses de longue date en physique solaire. Mais beaucoup de questions restent aujourd'hui très débattues sur la nature des mécanismes physiques qui régissent les phénomènes actifs du Soleil. Ce contexte permet donc aujourd'hui de mieux cibler les directions vers lesquelles les efforts doivent être poussés au niveau international. Dans ce cadre, les expertises du PPS nous conduisent à définir un projet scientifique fédérateur et pertinent pour le prochain quadriennal : **L'origine magnétique de l'accélération de particules durant les éruptions solaires.**

C'est un projet ambitieux à plusieurs titres, parce que l'observation directe de ces accélérations est hors de portée, ce qui implique de mettre en commun presque toutes les ressources de la physique solaire moderne. Pour mener à bien ce projet, des études connexes, historiquement présentées comme étant indépendantes, sont indispensables à conduire et à coupler entre-elles : (1) Mesurer des champs magnétiques non-potentiels dans la photosphère, la chromosphère et dans la couronne au-dessus des taches ; (2) Mettre en évidence les processus physiques de l'émergence et du déploiement des champs magnétiques vers la couronne ; (3) Quantifier les contraintes qui forment de nappes étroites de courants électriques, contraintes dues par exemple à la dynamique photosphérique ou au développement de CME dans la couronne ; (4) Etablir les conditions de déclenchement et la nature des couplages d'échelles pour la reconnexion magnétique au niveau de ces nappes de courant ; (5) Mesurer les signatures aux niveaux chromosphérique et héliosphérique des particules accélérées lors de la reconnexion.

## 4.2. Des projets pour porter le programme scientifique :

Afin d'apporter des avancées substantielles dans la thématique scientifique établie ci-dessus, le PPS devra s'impliquer directement dans le développement, et dans la conduite des opérations, pour des instruments de nouvelle génération (voir la section 2.3). Ces projets devront s'accompagner d'une exploitation continue des instruments existants, et aussi être soutenus par des instruments de surveillance. Ces derniers auront pour vocation non seulement de préciser le contexte des observations de pointe, mais aussi de participer à l'effort entrepris autour de la prévision de l'activité solaire pour les relations soleil-terre, de façon parallèle aux recherches fondamentales du PPS. Tous ces projets devront s'accompagner d'un renforcement de la composante modélisation MHD et accélération de particules, afin d'exploiter tous ses projets dans un cadre d'interprétation physique.

Le projet franco-chinois SMESE (**Small Explorer for Solar Eruptions**) du CNES, avec son instrument DESIR (Detection of Eruptive Solar Infrared Radiation) dont le PPS est PI, est idéal pour apporter réponse à la question (5) avec des observations sans précédent dans le domaine THz. La phase A de ce projet est arrivée à son terme, mais le CPS du CNES vient de recommander l'arrêt du projet. Des actions sont en cours pour redémarrer SMESE au plus tôt, afin de permettre le lancement de DESIR pour fin 2012 – début 2014. En effet, ces dates correspondent à la période la plus favorable pour la tenue des objectifs scientifiques de DESIR, avant la période suivante vers 2020. Les observations de DESIR devraient être complétées par des observations en rayons X durs et  $\gamma$ , c'est pourquoi le PPS est intéressé à l'exploitation de HEBS sur SMESE, et qu'il est CoI de du projet STIX (Spectrometer Telescope for Imaging X rays) proposé pour le **Solar Orbiter** de l'ESA, dont le lancement pourrait être envisagé à partir de 2015. Le projet EST (**European Solar Telescope**) de 4m pourra répondre aux questions (1,2,3) avec des mesures spectro-polarimétriques inédites à une résolution spatiale de 0,05 arcsec. Sa construction est souhaitée pour 2015-2019, et nous sommes membres du consortium européen dont l'objectif est de réaliser une design study dans le cadre du FP7 pour fin 2010. Le projet de grand interféromètre radio multi fréquences FASR (**Frequency Agile Solar Radiotelescope**) de la NSF, dont la mise en service est prévue à partir de 2011 et pour lequel le PPS a réalisé une étude de faisabilité de la partie basse fréquence, permettra quand à lui de répondre aux questions (1,3,5) par ses observations continues du Soleil dans une bande de fréquence de largeur inégale de 50 MHz à 30 GHz. Le PPS est aussi très intéressé à l'exploitation scientifique d'autres projets dans lesquels il n'est pas techniquement impliqué, notamment les imageurs EUV de SDO (le Solar Dynamics Observatory de la NASA, prévu pour début 2009) et de LYOT (le package Ly $\alpha$  de SMESE). Ces observations devraient apporter des éléments de réponse aux questions (2,3). Reste la question (4) qui est difficile à traiter observationnellement, pour laquelle l'effort entrepris au PPS pour le développement d'une activité de modélisation devra se poursuivre, avec comme objectif de construire des grands **codes numériques en MHD et pour l'accélération de particules**, qui pourront être couplés entre eux, et qui pourront être utilisés pour l'interprétation directe des observations comme cela a été réalisé dans le passé avec les modèles d'extrapolation de champ magnétique et de calcul de la topologie du champ coronal.

Nombre des projets cités ci-dessus sont prévus pour être opérationnels d'ici la fin du prochain quadriennal, voire plus tard. Le PPS continuera donc à développer ses expertises en exploitant d'autres équipements, notamment les instruments dans l'espace de SOHO, STEREO, TRACE, HINODE et bientôt SDO. Le PPS compte aussi poursuivre son exploitation du **NRH** et de **THEMIS** au sol, ainsi que de **RHESSI** dans l'espace, afin maintenir et renforcer ses expertises en interférométrie radio, en spectro-polarimétrie, et en diagnostic des particules accélérées

respectivement. Au cours du futur quadriennal, cet aspect sera essentiel pour **assurer la continuité avec les futurs projets** DESIR et EST, ainsi que STIX et FASR.

En parallèle, le PPS a pour objectif d'améliorer ses instruments de **surveillance solaire**, et les produits délivrés par ses **centres de données**. Bien qu'étant largement insuffisants pour répondre au projet scientifique du pôle, ces activités constituent un élément fondamental pour sa conduite. Les projets du quadriennal sont : développer une nouvelle voie d'observation  $H\alpha$  rapide sur l'héliographe, pour le suivi à haute cadence temporelle des éruptions solaires et de leurs effets à grande échelle, en vue du prochain maximum d'activité solaire en 2010 ; la jouvence du spectrohéliographe en termes de CCD, pour améliorer significativement la qualité des observations (échantillonnage spatial et spectral) ; la reprise de l'activité de production de cartes synoptiques du Soleil à BASS2000, à présent de façon automatique en exploitant les codes de reconnaissance de formes récemment développés ; accélérer la diffusion des données des moniteurs à neutrons via une nouvelle base de données internationale, pour fournir les observations de Kerguelen en temps réel (1 min) et celles de Terre Adélie avec un délai réduit ; construire un nouveau spectrographe à Nançay, et étudier la possibilité d'installer à l'USN un instrument de mesure de flux dans les bandes décimétriques et centimétriques.

Pour conclure, le PPS considère que ses expertises en physique solaire et que son projet scientifique s'inscrivent totalement dans la perspective du développement d'une activité de **prévision de l'activité solaire** au niveau européen, notamment à moyen terme dans le cadre du programme « Space Situational Awareness ». Le PPS a donc naturellement participé à des activités de vulgarisation sur ce sujet avec le programme SWEETS, et il a répondu à un appel à idées du CNES pour son séminaire de prospective de 2009, pour la conduite d'un programme d'interaction entre scientifiques et industriels pour préciser le cadre d'une telle activité de recherche appliquée.

### **4.3. Une phase charnière pour la physique solaire à Meudon :**

Fort de sa diversité et de sa renommée aux niveaux national et international, le PPS s'est constitué, pour le prochain quadriennal et à plus long terme, un programme scientifique original et ambitieux, avec des objectifs qui s'échelonnent sur plusieurs années. Ce programme a des applications potentielles en termes de prévision de l'activité solaire au niveau européen, une activité à laquelle le PPS souhaite aussi contribuer

**En premier lieu, le programme du PPS s'appuie ses ressources humaines.** Dans un contexte d'évolution du système de la recherche au niveau national, le PPS a fait appel à plusieurs agences de moyens au cours du précédent quadriennal. Les financements obtenus ont déjà permis le recrutement sur contrat de deux post docs, et la prochaine embauche de deux chercheurs contractuels et de deux thésitifs en cotutelle. Mais toutes les agences de moyens auxquelles nous pouvons avoir accès, y compris les agences nationales, offrent aujourd'hui des contrats pour des durées courtes de 1 à 3 ans seulement, et très difficilement renouvelables. Par ailleurs, la démographie des chercheurs permanents du PPS montre que 50% de ses effectifs auront 65 ans et plus à l'horizon 2015, et que 3 personnes seulement auront toujours moins de 50 ans en début du prochain quadriennal début 2010. Le rapport entre le nombre de chercheurs permanents et contractuels de courte durée au PPS va donc bientôt passer sous le seuil critique nécessaire à y assurer la conduite de projets scientifiques et instrumentaux d'envergure.

**Le programme du PPS s'articule aussi autour de plusieurs instruments et réseaux de collaboration internationaux.** Tous ces projets constituent autant de clés de voûte qui soutiennent le programme scientifique du pôle. Dans ce contexte, l'arrêt définitif de SMESE récemment

recommandé par le CPS du CNES porterait un préjudice non négligeable à la prospective du PPS. Cet arrêt ferait aussi perdre au PPS non seulement son positionnement stratégique de PI sur un projet instrumental, mais aussi l'équipe technique compétente affectée à ce projet par le LESIA. Par ailleurs, l'absence de source de financement connue pour l'exploitation de THEMIS après Mai 2009 pourrait conduire, à moyen terme, à une perte d'expertise dans la conception et l'exploitation d'instruments de spectro polarimétriques, et par voie de conséquence à un affaiblissement du positionnement du PPS dans le projet EST.

Il est donc vraisemblable, qu'**après 100 ans d'une activité soutenue sur -et à l'origine de l'observatoire de Meudon, la recherche en physique de l'activité magnétique du Soleil est dans une phase charnière à l'Observatoire de Paris.** Dans le contexte actuel, il n'est pas question pour le PPS de discuter s'il doit s'autocensurer dans ses projets, ou bien se dissoudre dans plusieurs autres équipes de l'Observatoire de Paris, dans lesquelles certaines de ses expertises pourraient certes s'insérer, mais de façon très partielle et surtout disjointe. Ces deux options conduiraient invariablement à la fin d'une activité en physique solaire organisée, et historique, à l'observatoire de Meudon, alors même qu'elle est dans une phase très active et reconnue au niveau international.

Dans une perspective de pérennisation de sa dynamique nouvelle, **il est fondamental que le PPS puisse s'adjoindre très rapidement les talents de plusieurs jeunes chercheurs** qui y candidatent, et il est impératif que certains d'entre eux puissent apporter leur investissement à temps plein et à long terme, non seulement pour participer à la conduite des projets soutenant le programme scientifique (**en premier lieu la MHD, SMESE et EST**, et ensuite la prévision de l'activité solaire, la modélisation de l'accélération de particules, FASR et STIX), mais aussi pour encadrer de nouveaux stagiaires et thésitifs. Dans cette même optique, le PPS devra aussi **renforcer ses équipes techniques** travaillant sur ses activités d'observations systématiques pour la surveillance solaire, et sur le développement des centres de données associés que sont SECCHIRH et BASS2000. Aussi, la conduite des projets instrumentaux du PPS nécessitera de nouveaux financements nationaux pour permettre leur implémentation, afin d'**assurer un positionnement international solide et crédible pour la physique solaire à l'Observatoire de Paris.** Pour le PPS la première priorité est de **faire redémarrer DESIR à court terme**, et la seconde est d'**obtenir les moyens de réaliser des prototypes de packages que le PPS a proposé pour EST**, à savoir un polarimètre à cristaux liquides et un spectro-imageur de type DPSM.

## 5. Pôle astronomie

### 5.1. Prospective interférométrie

La poursuite des projets engagés constitue l'objectif court terme de l'équipe d'interférométrie du LESIA. Deux projets structurants font également partie des projets d'avenir dans lesquels le LESIA est engagé : ALADDIN et GRAVITY avec à plus long terme l'étude d'exoplanètes par DARWIN et l'interférométrie très longue base avec le projet générique KOI (Kilometric Optical Interferometer) dont 'OHANA est un précurseur.

ALADDIN est un interféromètre en frange noire à deux télescopes fonctionnant en bande L pour le Dôme C. L'objectif de cet instrument est la caractérisation de la lumière exozodiacale présente autour des futures cibles de DARWIN. Le site de Dôme C en Antarctique présente l'avantage des basses températures ce qui déterminant pour la sensibilité de l'instrument et potentiellement de conditions de turbulence meilleures que pour tout autre site terrestre au-delà d'une couche de l'ordre de quelques dizaines de mètres.

Un autre créneau du LESIA est la démonstration de l'imagerie haute qualité et d'une haute sensibilité en interférométrie, conditions sine qua none de la crédibilité de la technique auprès de la communauté astronomique. Cette motivation ainsi que la motivation astrophysique ont conduit à la

proposition de l'instrument de seconde génération GRAVITY (dont le LESIA est le porteur au niveau français) pour le VLTI. L'objectif d'étude de l'environnement proche du trou noir au centre de la galaxie est très ambitieux mais il permettra le test direct de la relativité générale en champ fort, un résultat important de physique fondamentale. GRAVITY a été accepté à l'issue de l'étude de phase A et sera un projet important pour la prochaine période de 4 ans.

## 5.2. Prospective coronographie

L'essentiel de l'activité se concentrera sur SPHERE en vue de la Final Design Review (fin 2008). La phase d'intégration, d'alignement et de tests aura lieu à Grenoble mi 2009. Plus tard (fin 2010 - début 2011), la phase d'installation et de commissioning à Paranal sera aussi très critique. Pour le projet EPICS, nous ferons fabriquer des prototypes, plus particulièrement un second prototype de multi-4QPM plus compact que le premier. En collaboration avec l'Université de Liège nous étudions aussi un concept de coronographe achromatique faisant appel à des technologies de la micro-électronique. Nous allons poursuivre également l'étude numérique pour SEE COAST en développant un nouveau code. Pour cela nous pourrions bénéficier du travail en cours dans le cadre d'EPICS. Pour finir, le banc optique Haute Dynamique en cours de définition pour le test de la SCC sera effectivement mis en place et concernera une grosse partie de l'activité. Dans le cadre du quadriennal, il faut souligner que le travail instrumental que nous menons est rendu possible par la présence à temps plein d'un IR en fin de carrière. Vu l'ampleur de nos activités, il est nécessaire de renouveler rapidement ce poste.

## 5.3. Prospective optique adaptative

Après les développements spectaculaires de l'Optique Adaptative (OA) dans ces 20 dernières années où les équipes du LESIA ont joué un rôle majeur à travers les réalisations de Come On, PUEO et NAOS, l'OA est devenue un système clef des nouveaux instruments construits en astronomie optique au sol. Les nouveaux télescopes de par le monde s'équipent tous d'une telle technologie. Et bien sûr les projets d'extrêmement grands télescopes (ELT) ne se conçoivent pas sans OA.

Les enjeux principaux en OA qui doivent être abordés par le LESIA dans les années futures sont les suivants :

- MOAO et ces variantes : les travaux portent sur les concepts d'analyseurs de front d'onde pour l'utilisation des étoiles lasers, sur le développement des procédures de calibration et des algorithmes de commande optimaux (cf EAGLE) et enfin sur l'obtention d'une démonstration des capacités de ces techniques sur le ciel (cf CANARY).
- Etoile laser (LGS) pour la couverture du ciel : il s'agit de la recherche de solutions viables aux nombreuses limitations de cette technique qui deviennent critiques pour les ELT.
- AO extrême : les travaux portent sur l'obtention de haut contraste dans les images par la maîtrise des erreurs résiduelles de phase (nanométriques) et de la complexité des systèmes à très grands nombres d'actionneurs. L'instrument SPHERE est une des étapes clefs pour la démonstration de cette technique sur le ciel.
- 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 œuvre, 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.
- Composants : les recherches et les développements s'orientent sur les analyseurs à très grand nombre de sous pupilles et les détecteurs très sensibles associés. La maîtrise des

composants allant des micro-miroirs déformables aux très grands miroirs déformables à intégrer dans le télescope est crucial pour les futurs systèmes à développer.

Aujourd'hui le LESIA est impliqué dans l'étude système de l'OA du projet Gravity du VLTI et participera à sa mise en œuvre sur le ciel. Il participe à deux phases A des instruments de l'ELT européen. L'objectif est de concrétiser ces études par l'entrée dans les phases de conception détaillée, de construction et enfin de mise en service sur le ciel.

Dans le domaine de l'ophtalmologie, le LESIA développe l'imagerie 3D de la rétine en étroite collaboration avec les médecins. Les étapes suivantes passent par une meilleure maîtrise du bougé de l'œil et de la profondeur observée, l'accroissement significatif du champ corrigé et la prise en compte des effets chromatiques. Enfin le couplage de l'OA avec des techniques de restauration d'images plus intégrées est une voie à explorer.

#### **5.4. Sismologie au sol**

Les observations astérosismiques nécessitent des données continues, performantes (au bruit de photons) et ininterrompues. Ce sont ces spécifications qui ont conduit l'équipe SIAMOIS à proposer un projet à implanter à la base Concordia en Antarctique.

Le projet implique l'installation d'un collecteur et d'un instrument à la station CONCORDIA du Dôme C en Antarctique. Le site de la base Concordia au Dôme C apparaît comme un site idéal pour l'astérosismologie. Les conditions météo inégalées et la longue nuit polaire garantissent un cycle utile d'au moins 90% sur 3 mois, comme cela a été observé lors des hivernages 2005 et 2006 (Mosser & Aristidi 2007). Un tel cycle utile, crucial pour l'astérosismologie, est comparable aux performances des observations depuis l'espace.

Le concept SIAMOIS s'appuie sur l'interférométrie à transformée de Fourier, conduisant à un petit instrument conçu et réalisé pour les conditions extrêmes de l'Antarctique. L'instrument sera entièrement automatique, sans pièce mobile, et de mise à poste très simple. Le programme scientifique unique permettra de s'affranchir des difficultés inhérentes à un instrument polyvalent. La réduction des données sera effectuée sur site en temps réel, et la transmission des données vers l'Europe ne nécessitera d'une faible bande passante. SIAMOIS utilisera 1 (voire 2) télescope de 40 cm dédié.

Le développement de SIAMOIS, sous maîtrise d'œuvre du LESIA (laboratoire d'études spatiales et instrumentales pour l'astrophysique), est prévu sur 4 ans, pour une première saison d'observation en 2013. La phase A est achevée depuis 2007, sous la maîtrise d'œuvre du LESIA, avec Tristan Buey comme chef de projet, en partenariat avec 3 laboratoires (Fizeau, LATT et IAS) et 1 entreprise (SESO). Un conseil scientifique, comprenant pour moitié des experts européens, pilote le programme scientifique. Le lancement en phase B du projet attend i) la mise en place d'une feuille de route pour l'Antarctique (dossier piloté entre autres par le réseau européen ARENA) ii) un financement ANR.

#### **5.5. Plato**

La mission spatiale PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) a été sélectionnée pour une phase d'étude parmi 4 missions de classe M, dans le cadre du programme Cosmic Vision de l'ESA. Son objectif scientifique principal est l'étude des systèmes exoplanétaires, par la détection et la mesure des transits devant un très vaste échantillon d'étoiles brillantes, et par la caractérisation complète de ces planètes et de leurs étoiles-hôtes.

En particulier, cette caractérisation inclut une analyse sismique des étoiles-hôtes, conduisant à une mesure précise et fiable de leurs masses, rayons et âges, et permettant une estimation de ces mêmes paramètres pour les exoplanètes détectées.

La charge utile de PLATO comporte un ensemble de 28 petits télescopes identiques à très grand champ, installés sur une plateforme unique, et observant le même champ de 25 degrés de diamètre.

Chacun de ces télescopes de 10cm de pupille comporte son propre plan focal, composé de 4 CCDs de 3854x3854 pixels de 18 $\mu$ m.

Le programme d'observation se divise en deux phases de suivi de très longue durée (3 ans chacune) de deux champs de 557 degrés carrés, suivies d'une phase de "step & stare" d'un an, pendant laquelle différents champs seront suivis pendant 3 mois chacun, donnant la possibilité de revenir sur les champs déjà observés pendant les deux phases initiales, de manière à confirmer les exoplanètes à longue période. Cette dernière phase permettra également d'inclure dans le programme une séquence d'amas ouverts d'âges et métallicités différents.

Un consortium d'instituts de nombreux pays européens est en cours de mise en place pour l'étude de la charge utile de PLATO. Le LESIA, laboratoire-PI de ce projet, est responsable de la définition de ce consortium. Avec l'aide d'autres laboratoires français (LAM, IAS, SAp, GEPI) et du CNES, il est responsable des études systèmes d'une part, et de l'étude du traitement des données à bord.

## 6. Hygiène et Sécurité

L'Hygiène et la Sécurité devront continuer à occuper une place importante parmi les préoccupations de la direction du LESIA, avec un suivi journalier fondé sur une équipe d'ACMOs (cinq actuellement), en relation directe avec le directeur, appliquant rigoureusement les règles de sécurité, et appliquant les recommandations émanant des Comités de Visite (Ingénieurs Hygiène Sécurité, Médecins du Travail).

Comme indiqué dans le bilan, (voir document unique donné en annexe), les problèmes sont identifiés et analysés. Nous continuons à être vigilants pour les risques dont la gestion est en attente au niveau de l'établissement hébergeur (électricité et transformateurs pyralène, par exemple).

S'il est bien une action d'urgence pour ce qui est de la sécurisation des locaux, c'est celle de la mise aux normes des **locaux accueillant public et étudiants**. Il s'agit là principalement de deux bâtiments : (1) le bâtiment qui abrite le **spectrohéliographe de Meudon**, en opérations depuis plus de 100 ans, fournissant à la communauté internationale une série de données essentielles pour le suivi de l'activité solaire, données de référence très utilisées mondialement, et qui est très visité par le grand public (visite régulières, opérations portes-ouvertes, etc) ; et (2) les locaux de la **Tour Solaire de Meudon**, utilisés pour l'enseignement (M1, M2 pro et recherche), fournissant aux étudiants un accès unique à un grand instrument solaire, banc d'essai pour l'instrumentation solaire du futur. Les montants nécessaires à leur sécurisation devraient être mis en place au plus tôt.

La répartition actuelle du LESIA dans dix bâtiments du Campus de Meudon, dont certains présentent des risques notoires (amiante), pose également problème tant pour l'hygiène que la sécurité, et un plan d'actions devra être mis en place rapidement.

