

# Projet scientifique du LESIA

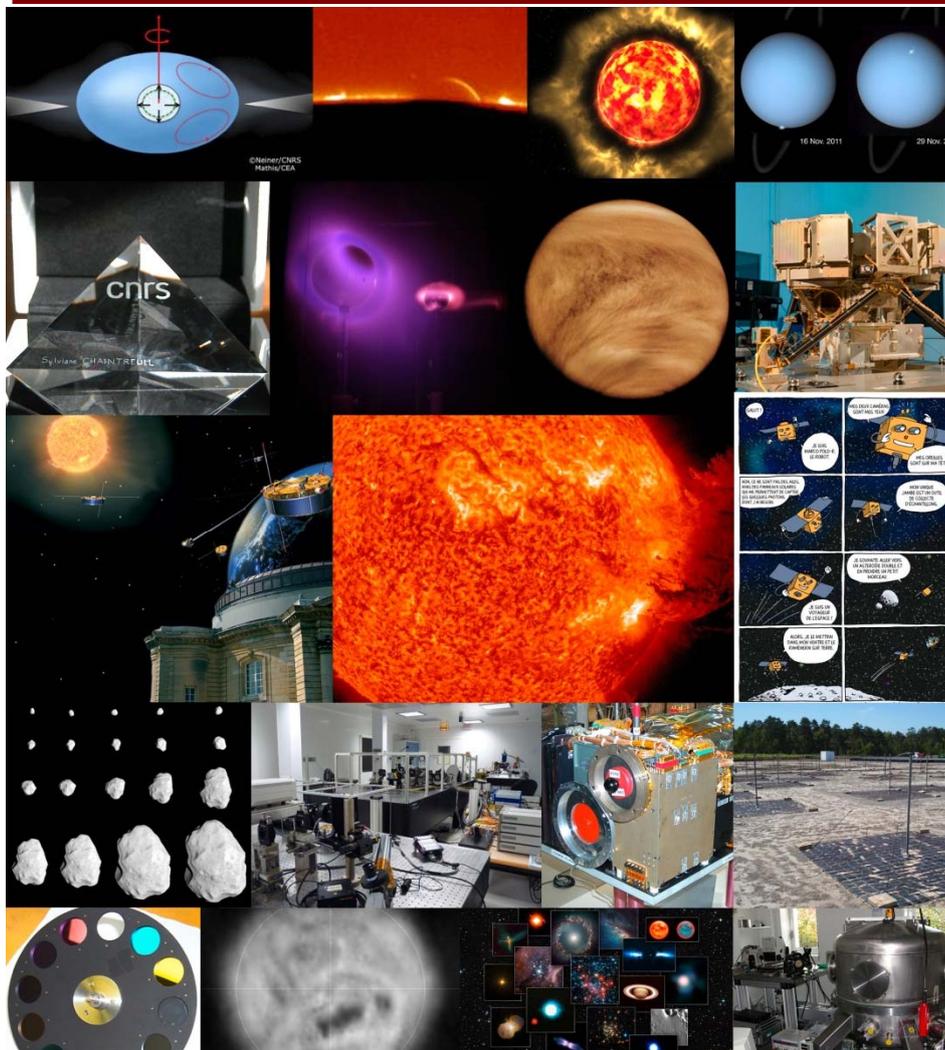
Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique – UMR 8109

Directeur : Pierre Drossart

Vague D :  
campagne d'évaluation 2012 - 2013

Unité de recherche

2.1. Projet scientifique de l'unité



## Table des matières

1. Présentation de l'unité.....	3
1.a Historique.....	3
1.b Caractérisation de la recherche.....	3
ET1 Equipe transverse « Exoplanètes.....	6
ET2 Equipe transverse « Perturbations héliosphériques et météorologie de l'espace ».....	7
E1 : Pôle ETOILE.....	9
E2 : Pôle Haute Résolution Angulaire en Astrophysique.....	13
E3 Pôle de Physique des Plasmas.....	17
E4 Pôle de Physique Solaire.....	21
E5 Pôle Planétologie.....	25
1.c Organigramme fonctionnel et règlement intérieur.....	31
2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'unité.....	35
3. Mise en œuvre du projet.....	38
3.1 Evolution de l'organisation de la direction / mise en place d'un directeur technique.....	38
3.2 Evolution des projets par pôles.....	39
E1 : Pôle Etoile.....	39
E2 : Pôle HRAA.....	39
E3 : Pôle Plasmas.....	39
E4 : Pôle Solaire.....	40
E5 : Pôle Planétologie.....	40
P1 : Pôle informatique.....	41
P2 : Pôle ingénierie.....	41
P3 : Pôle service.....	42
3.3 RELATIONS AVEC LES TUTELLES.....	42
Observatoire.....	42
CNRS.....	43
Tutelles univesitaires.....	43
3.4 Région Ile de France : DIM ACAV.....	44
3.5 LABEX ESEP.....	45
3.5.1 Objectif scientifique du Labex.....	45
3.5.2 Actions clés recherche.....	45
3.5.3 Action clés de formation.....	45
3.5.4 Actions clés de diffusion.....	45
3.6 Politique énergétique du laboratoire.....	46

# 1. Présentation de l'unité

## 1.a Historique

Le LESIA a été créé à la suite de la restructuration de l'Observatoire décidée en 2000 avec la réunion de plusieurs entités : le Département Spatial, le Laboratoire d'Infrarouge et le Département d'Astronomie Solaire. Il coïncide avec le périmètre d'une Unité Mixte de Recherche CNRS (UMR 8109), et a hérité de ses sources la co-tutelle universitaire avec deux universités, l'UPMC (Paris 6) et Paris-Diderot (Paris 7). Le Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique effectue des recherches fondamentales depuis la conception d'instruments (sol ou espace) jusqu'à l'exploitation et l'interprétation de leurs résultats. Ses objets d'étude couvrent la planétologie des petits corps aux planètes géantes, le Soleil, les plasmas planétaires et interplanétaires, les étoiles et exoplanètes et le centre galactique. Ses activités vont de la Recherche et Développement amont, pour définir de nouvelles vagues d'instruments, à la réalisation de ces instruments et la mise à disposition de données d'observations astronomiques, jusqu'aux théories et aux modèles associés. Ce type d'activité couple la recherche académique aux travaux d'ingénierie, et le LESIA a une tradition de collaboration chercheurs/ingénieurs qui transcende la distinction en corps de personnels parfois trop rigidement imposée dans le système français. Comme il s'écoule souvent plusieurs années entre la livraison d'un instrument majeur et la production de résultats scientifiques, les « indicateurs d'activité » décrivant la production de l'unité devraient couvrir à la fois des étapes de production d'instruments (souvent liées à des réunions clés et leur documentation associée, à l'ESA ou l'ESO disponible uniquement dans la documentation projet non publiée). Ces productions sont peu liées à des publications académiques, contrairement aux publications proprement dites qui suivent la mise en service d'instruments avec les colloques et revues associées. Cette dualité devra être prise en compte dans l'évaluation du LESIA pour mieux cerner les résultats du laboratoire dans son environnement international. Les activités au LESIA sont en effet en large part de dimension internationale, avec des collaborations européennes (ESA, ESO, etc.) mais aussi avec les Etats-Unis (NASA, NSF), la Russie, l'Inde, la Chine, le Japon, etc. Cela se reflète dans les publications qui font intervenir des consortia regroupant de nombreux instituts internationaux, mais aussi dans les invitations et séjours de nombreux chercheurs, ingénieurs ou professeurs étrangers.

## 1.b Caractérisation de la recherche

L'organisation du rapport scientifique du LESIA suivra bien naturellement celle du laboratoire. Il est donc nécessaire de décrire celle-ci pour comprendre le plan qui suivra, plutôt que dans la partie 2 avec l'organigramme comme suggéré dans le plan de l'AERES. Avec 71 chercheurs et 67 ingénieurs et techniciens permanents au 30 juin 2012, l'organisation du LESIA nécessite un dialogue permanent avec les personnels pour optimiser les activités de recherche et élaborer une stratégie admissible par tous. Trois niveaux d'organisation se complètent pour permettre la circulation de l'information, l'élaboration des décisions, et leur mise en œuvre :

- La structure statutaire du laboratoire : direction, conseil de laboratoire et commissions, dont les prérogatives sont décrites dans les statuts et règlement intérieur du LESIA ; s'y ajoute l'assemblée générale annuelle du laboratoire, rendez-vous au moins annuel d'échanges et de discussions.
- La structure en pôles scientifiques et techniques, qui assure la coordination scientifique, les discussions internes et les demandes des ressources. Des réunions incluant direction et coordinateurs de pôles (direction élargie), et l'invitation des coordinateurs au Conseil (conseil élargi) assurent la cohérence de cette organisation.
- La structure projet : pour les projets instrumentaux en cours (mais aussi pour certaines activités plus théoriques, par exemple structurée par une ANR) un projet regroupe chercheurs et ingénieurs sur une activité de durée déterminée (parfois fort longue et de périmètre variant dans le temps pour les missions spatiales) .

La base naturelle des discussions scientifiques part des pôles scientifiques : ce sont donc eux, sous l'impulsion des coordinateurs de pôles, qui ont élaboré les différentes parties du rapport d'activité organisé ci-dessous selon les pôles du LESIA dans la structure antérieure à 2011 (avec la

dénomination « équipe » utilisée dans ce rapport pour coïncider avec la terminologie AERES, bien que ce terme soit impropre dans un sens usuel d'entité autonome d'action scientifique).

Les pôles sont structurés en « équipes » sur des thématiques particulières ; certaines thématiques apparaissant naturellement comme interdisciplinaires définissent des « équipes transverses », pilotées par un pôle, mais regroupant des chercheurs d'autres pôles. C'est le cas des perturbations héliosphériques et météorologie spatiale (solaire-plasmas) et des exoplanètes (HRAA-Planétologie-Plasmas-Etoile). La structuration en pôles scientifiques est souple et donc susceptible d'évoluer dans l'avenir, en fonction des effectifs et des regroupements thématiques. Elle répond à un souci d'optimisation dans la concertation entre projets et équipes, et devrait satisfaire des préoccupations soulevées dans le rapport de l'AERES précédent sur l'organisation des pôles du LESIA (avril 2009). La dynamique de groupe retrouvée au sein des pôles est un facteur important, et les relations entre pôles sont gérées par des échanges (multi-appartenance de chercheurs aux pôles) ou équipes transverses, plutôt que par des regroupements artificiels de pôles.

Les équipes transverses du LESIA correspondent à des thématiques prioritaires dans la discipline, et reconnues par l'Observatoire de Paris dans ses lignes structurantes entre ses différents laboratoires sur la période 2014-2018. Le positionnement scientifique du LESIA s'en trouve donc renforcé.

Ses tutelles permettent au LESIA de poursuivre ses activités d'une manière très diversifiée. Participant pleinement à la politique scientifique de l'Observatoire, où le LESIA apporte sa composante instrumentale (spatiale et sol) reconnue internationalement, le LESIA a aussi un engagement fort vis-à-vis de ses tutelles universitaires. Dans le paysage en évolution des universités française, avec les investissements d'avenir, le LESIA, grâce à son engagement dans le labex ESEP (Exploration Spatiale des Environnements Planétaires) dans des collaborations tant avec l'UPMC (et le labex Plas@Par) ou Paris-Diderot (et le labex UnivEarthS). L'appartenance de l'Observatoire à l'Idex PSL (Paris-Sciences-Lettres) enrichit les collaborations locales au sein des établissements, et aussi la participation directe aux actions de PSL par le Labex ESEP dont PSL est l'établissement partenaire.

Cette structuration, évolutive, devra permettre au LESIA de s'adapter dans les années à venir. Le renforcement attendu des « équipes transverses » sur des thématiques porteuses et reconnues par l'Observatoire (exoplanètes et perturbations héliosphériques) peut évoluer vers une redéfinition des contours des pôles. Il faut souligner que ces évolutions ne se feront qu'avec l'adhésion des personnels du laboratoire, comme cela a été fait entre 2010 et 2012, la dynamique scientifique de discussion au sein des pôles actuels étant un des facteurs de la réussite des projets du laboratoire.

En termes de nouveaux projets porteurs pour lequel le LESIA investira dans les années à venir ses priorités, la situation est la suivante :

- Mission Solar Orbiter (ESA/M1) : deux équipes sont impliquées, l'une sur l'instrument RPW (P.I. LESIA) avec une fourniture matérielle importante, l'autre sur l'instrument STIX (avec co-PI LESIA).
- Mission Solar Probe (NASA) : instrument FIELDS. Cette mission n'est pas encore formellement engagée côté CNES, et la participation du LESIA a dû être adaptée aux effectifs réels après négociation. Les conclusions sur l'engagement du LESIA sont attendues prochainement (fin 2012).
- Mission JUICE (ESA/L) : l'appel d'offres aux instruments est en cours. Il a fallu renoncer à la participation du LESIA à un instrument radio (RPW-I) faute de moyens humains : une implication comme co-investigateurs est prévue. Une proposition de spectromètre infrarouge (HIRIMS, P.I. LESIA) est en cours de rédaction.
- Missions ESA/M3 : trois missions (Marco Polo-R, Plato, ECHO) concernent le LESIA sur les 5 missions en lice pour une sélection en 2013. Le volume de la participation du LESIA sera adapté aux sélections précédentes.
- Engagement sur l'E-ELT : une décision est attendue fin 2012 pour un lancement des phases instrumentales sur l'ELT. Le LESIA est bien positionné pour participer sur des instruments de première lumière : MICADO et MAORY. Les négociations sont en cours pour définir au mieux l'investissement du laboratoire, en collaborations avec le GEPI à l'Observatoire ou d'autres laboratoires au sein du GIS – PHASE.

- Une implication dans LOFAR et son évolution.

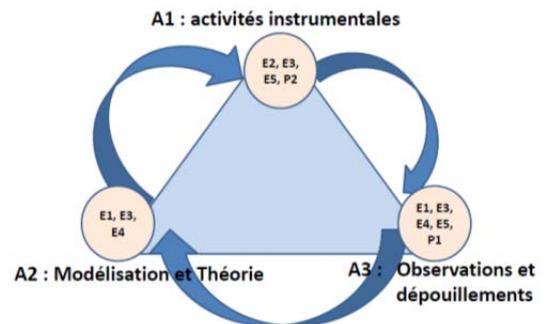
Autres projets : cette liste donne les actions structurantes au LESIA en instrumentation nouvelle, et l'activité du laboratoire sera par nécessité tournée vers ces projets (si sélectionnés). Un plan d'action sera bien sûr adapté en fonction des sélections instrumentales. La liste de projets en attente, incluant des actions en R&D à plus long terme permettra une adaptation à différents contextes. On citera en particulier et sans exhaustivité :

- Les R&D au niveau de missions ESA/M4 plus lointaines (SPICES, Uranus, etc.) mais aussi sur les expériences sol (AO grand champ CANARY, expérience ŒIL, etc.)
- Le projet solaire submillimétrique SMESE interrompu en 2009, mais qui reste scientifiquement fondé et sur lequel le LESIA a investi en R&D
- Un projet de spectro-polarimètre UV qui bénéficie d'une R&D CNES depuis 2012 et qui pourrait viser des projets spatiaux de la fin de décennie.
- Etc.

Ces projets phares ne doivent pas occulter le fait qu'au LESIA beaucoup de projets d'ampleur moindre, mais accessibles à des équipes réduites sur financement labo ou d'un programme nationale voient le jour régulièrement : ils apparaîtront dans la description par pôles ci-dessous.

L'équilibre des activités du LESIA peut se répartir selon un triangle : Activités Instrumentales (R&D, développement d'instruments (point A1), Activité d'interprétation et de dépouillement (A2) et Théorie et modélisation (A3)

E 1	Etoile
E 2	Haute Résolution Angulaire en Astrophysique
E 3	Physique des Plasmas
E 4	Physique Solaire
E 5	Planétologie
P1	Informatique
P2	Ingénierie
P3	Services



L'équilibre des activités du LESIA fait que si certains pôles sont en phase de développement instrumental, d'autres plus dans une phase d'interprétation et de modélisation, un cycle de projet nouveaux entre 2014 et 2018 fera apparaître des déplacements des activités de chaque pôle. Par exemple, la mise en service des instruments SPHERE au VLT et GRAVITY au VLTI devrait donner au Pôle HRAA une plus grande importance sur les phases de traitement et d'interprétation.

Une activité importante, et essentielle sur le long terme, concerne l'archivage et la mise à disposition de données. Le LESIA l'a fait depuis longtemps, en participant sur les données plasmas, par l'implication de ses équipes dans les archivages de données spatiales (CDPP, BASS2000). Une nouvelle dimension est cependant apparue dans l'implication dans le projet d'Observatoire Virtuel de l'Observatoire de Paris. La mine d'or que représente pour les chercheurs les données instrumentales accumulées depuis des années sera à n'en pas douter à la source de recherches pour plusieurs décennies. Le LESIA doit cependant aussi préparer l'avenir et les futures missions en équilibrant les ressources disponibles en moyens humains sur l'ingénierie, l'informatique et les chercheurs : c'est le défi à relever pour les prochaines années.

## ET1 Equipe transverse « Exoplanètes »

L'équipe «Exoplanètes et origine des systèmes planétaires» a été créée lors de la restructuration du LESIA en 2011 pour fédérer dans le laboratoire les activités liées à la thématique. Elle prévoit sur la période 2013-2017 de développer des projets et thèses transverses aux différents pôles.

**Au sol**, avec l'arrivée de l'instrument SPHERE au VLT auquel l'équipe haute dynamique a largement contribué pendant la phase de conception et de réalisation (coronographe, système de centrage, simulations numériques), nous prendrons part à l'exploitation scientifique à plusieurs niveaux. SPHERE permettra de détecter et d'étudier des planètes géantes ( $>1 M_{\text{Jupiter}}$ ) et jeunes ( $<$  quelques 100 Myr). Nous nous intéresserons particulièrement au cas des étoiles massives dont certaines sont déjà connues pour abriter des disques débris (traceur de la formation planétaire) et des étoiles tardives de faibles masses en relation avec notre implication sur l'instrument MIRI (plus sensible à ces étoiles que SPHERE). Notre contribution se focalisera sur la préparation/conduite des observations, la réduction/analyse des données et l'interprétation atmosphérique. Une thèse sur ce dernier point est proposée en collaboration entre le pôle HRAA et le pôle planétologie. En HRAA, citons aussi la détection d'exoplanètes par astrométrie qui est un des objectifs du projet GRAVITY. GRAVITY sera sur le ciel en 2013.

La détection directe de l'émission radio (magnétosphérique, aurorale) d'exoplanètes est poursuivie par plusieurs équipes dans le monde, dont une au LESIA. Nous avons publié les principales prédictions théoriques sur le sujet, et montré que cette détection donnerait accès à des paramètres tels que champ magnétique, rotation, inclinaison de l'orbite, type d'interaction étoile-planète, énergie en jeu, et ouvrirait le champ de la physique magnétosphérique comparative (avec des implications exobiologiques). Les intensités prédites sont très faibles. Des développements instrumentaux et campagnes d'observations à UTR2 (Kharkov) et au GMRT (Inde) nous ont permis d'obtenir des indices encourageants sur certains candidats. Les observations vont être poursuivies, et complétées par celles de LOFAR.

L'étude des poussières exozodiacales initiée se poursuivra par l'extension du survey interférométrique des poussières chaudes initié depuis 2007 avec CHARA/FLUOR à plus d'une centaine d'étoiles proches de type solaire, et (pour les sources déjà observées) de nouvelles observations en vue de détecter d'éventuelles variations temporelles sur une échelle de quelques années. Du point de vue de la modélisation, le principal objectif pour les 3 années à venir est le développement d'un code de nouvelle génération permettant l'étude couplée de la dynamique et des collisions dans les disques de débris. Un tel code est le "saint Graal" vers lequel tendent tous les efforts de modélisation de diverses équipes de par le monde. Il permettrait pour la première fois d'étudier en détail l'apparition et le maintien de structures spatiales dans les disques, et en particulier de quantifier le lien entre structures observées et perturbateurs: compagnons stellaires, planètes, etc... Une première étape dans l'obtention d'un tel code a déjà été franchie avec la parution du code "intermédiaire" DyCoSS, ce qui place le LESIA à la pointe de ce domaine très concurrentiel.

**Dans l'espace**, après les succès initiaux de CoRoT (24 planètes découvertes dont CoRoT-7b, première super-Terre dont la densité a pu être déterminée), nous misons sur la prolongation de la mission au-delà de 2012. Le nouveau programme sera plus ciblé en exploitant les niches qui distinguent CoRoT de Kepler : ré-exploration de champs précédents donc potentiellement d'orbites plus larges, étoiles brillantes, champs incluant des régions jeunes. Parallèlement, nous continuerons à nous impliquer dans la préparation des missions étudiées dans le cadre du programme Cosmic Vision de l'ESA. Ainsi pour PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of Stars) comme pour EChO (Exoplanet Characterization Observatory), le travail préparatoire comporte une partie liée à la détermination précise des paramètres des étoiles hôtes (masse, rayon, âge...) indispensable à la caractérisation des planètes qui seront observées, ainsi que l'étude approfondie (imagerie ou interférométrie haute dynamique) de l'environnement planétaire pour les étoiles accessibles. La préparation scientifique d'EChO passe aussi par l'étude de l'atmosphère de Vénus comme modèle d'exoplanète en transit. Le profil vertical de densité au limbe est susceptible de réfracter le signal stellaire lors du transit. L'effet observé sur Vénus (auréole) est fonction de l'échelle de hauteur atmosphérique mais limité par la présence de brumes (aérosols  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dans le cas de Vénus). Après sa validation lors de l'observation du transit de 2012, nous poursuivrons la généralisation du modèle

décrivant le rôle de la réfraction dans la spectroscopie du transit pour différents types d'atmosphères exoplanétaires (super-Terre, icy giants) dans le domaine spectral d'EChO.

Enfin le LESIA continuera à jouer un rôle important, au sein de leurs consortiums respectifs, dans les phases d'étude de ces deux missions dédiées aux exoplanètes, avec pour EChO deux Co-Is et la responsabilité de la voie IR moyen ainsi que de la modélisation instrumentale, et pour PLATO la responsabilité du groupe de travail « Data Processing Algorithms » et "Stellar Science Preparation Management (PSPM)".

## **ET2 Equipe transverse « Perturbations héliosphériques et météorologie de l'espace »**

### ***Le périmètre de l'équipe***

Les thématiques de l'équipe transverse sont d'une part les recherches sur les perturbations de l'héliosphère, partant des conditions aux limites dans l'atmosphère solaire et allant jusqu'à la détection dans le vent solaire et les magnétosphères planétaires. D'autre part nous menons des activités autour de la fourniture de données et de la production de données synthétiques et d'outils d'aide à l'interprétation. Ces activités servent aussi bien à la recherche scientifique qu'aux applications en météorologie de l'espace pour des utilisateurs externes à la communauté de recherche. Les processus physiques sur lesquels nous travaillons concernent notamment les éjections coronales de masse (CME) et les particules chargées de haute énergie. Ces travaux se fondent sur l'expertise développée dans les pôles de physique solaire et de physique des plasmas.

### ***Recherches en relations Soleil-Terre***

Sur les fondations développées depuis plusieurs années, nous mènerons des recherches sur l'origine et la propagation des perturbations héliosphériques. Ces travaux exploiteront d'abord des instruments existants, en particulier les satellites SoHO, STEREO, SDO, Hinode, Proba 2, RHESSI, INTEGRAL, FERMI, ACE et Wind et les instruments au sol, à la station de Nançay, le réseau mondial des moniteurs à neutrons et le télescope optique THEMIS si sa durée d'activité est prolongée. Ces travaux sont aussi une préparation aux missions Solar Orbiter et Solar Probe +, dont les observations dans l'héliosphère interne nous permettront une vue sur les structures magnétiques et les particules énergétiques plus près de leur source. Cette vue sera bien moins déformée par la propagation interplanétaire que les mesures à 1 UA. Nous comptons poursuivre trois grands axes de recherche :

- Développer la compréhension de l'origine des éjections de masse en utilisant les extrapolations 3D du champ magnétique à partir des mesures photosphériques (THEMIS, Hinode/SOT/SP, SDO ; puis Solar C) et la simulation numérique.
- Etudier l'interaction des éjections de masse avec le vent solaire et l'évolution des structures magnétiques au cours de leur propagation. Etablir la chaîne des processus d'éjection et d'interaction avec différents objets du Système solaire, incluant les magnétosphères de la Terre et d'autres planètes.
- Etudier les particules de haute énergie des sites d'accélération dans la couronne jusqu'à leur détection dans l'espace interplanétaire ou à la Terre. Identifier le lien entre les populations de particules de haute énergie dans l'espace et les processus dynamiques dans la couronne : éruptions, éjections de masse, ondes de choc.
- Développer la modélisation numérique de l'environnement d'un satellite (code SPIS, Onera/ESA, en collaboration avec plusieurs équipes européennes). Ce code permet de choisir les matériaux pour la construction de certains éléments de Solar Orbiter. Il est également employé pour créer une base de données de simulation pour différentes conditions environnementales et configurations du satellite prévues au cours de la mission.

### *Vers un accès unifié aux données d'observation et produits de données*

Les pôles de physique des plasmas et de physique solaire, en collaboration notamment avec les agences spatiales (CNES, ESA, NASA), la station de radioastronomie de Nançay et l'IPEV, produisent de grandes quantités de données et de résultats de simulations numériques. Nous poursuivrons l'effort d'unifier les accès à des données complémentaires en physique des perturbations héliosphériques, engagé avec la diffusion des données radio multi-instruments (site web radio monitoring) et du réseau des moniteurs à neutrons (projet NMDB). Nous comptons également rendre les cartes de champs magnétiques et leur extrapolation dans la couronne disponibles via le site MEDOC (IAS Orsay). Nous sommes responsables de la fourniture de données radio spatiales au CDPP (ceci incluant les données de la mission ESA JUICE à long terme) et fortement impliqués dans les projets d'observatoire virtuel, en particulier HELIO et AMDA (au CDPP).

### *Contributions à la météorologie de l'espace*

Les activités de recherche que nous menons et poursuivons nous donnent la possibilité de développer des produits pour la météorologie de l'espace. Certaines applications constituent des tests précieux de la pertinence des modèles et du degré de compréhension des processus physiques. Dans ce cadre il s'agira notamment

- de développer des applications servant à des activités opérationnelles menées par des opérateurs en dehors de la recherche astrophysique, comme l'IRSN (surveillance des doses de radiation des personnels de l'aviation civile) et l'Armée de l'Air ;  
(participation au développement d'un service de météorologie de l'espace, démarré par le projet démonstrateur FEDOME) ;
- de fournir des données (radio, optiques) en temps réel et des produits à valeur ajoutée, d'aides à l'interprétation et des activités de conseil pour des utilisateurs en dehors de la recherche. Ceci inclut le développement d'outils de reconnaissance automatique de formes et de structures et la combinaison automatisée de données radio spectrographiques et d'imagerie ;
- de déduire des résultats de recherche des méthodes et outils de prévision d'impacts des particules de haute énergie et d'éjections de masse sur la Terre ;
- de mener des activités prospectives dans la préparation du programme ESA « Space Situational Awareness », pour lequel un axe fédérateur a été créé par l'Observatoire de Paris pour le prochain contrat quinquennal, afin de coordonner entre les laboratoires les activités de ce type, où le LESIA jouera un rôle moteur.

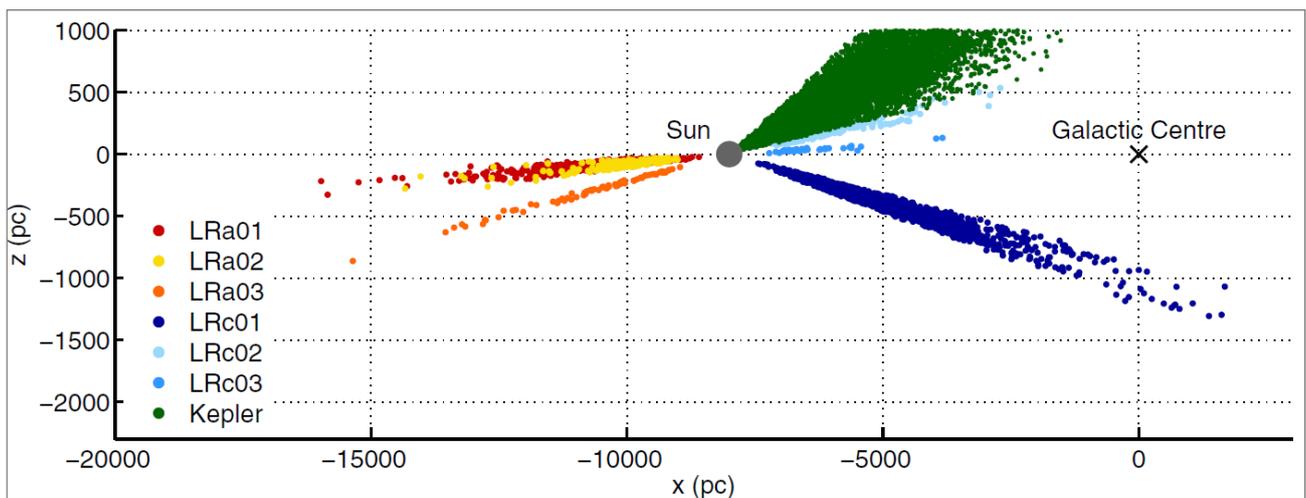
## E1 : Pôle ETOILE

### E1.1 Une nouvelle génération de modèles stellaires

Pour le prochain quinquennal, la priorité du pôle ETOILE sera la poursuite des travaux de recherche conduisant à une amélioration de la description physique des intérieurs stellaires. Le but est d'obtenir une nouvelle génération de modèles stellaires incorporant différents aspects de la dynamique interne des étoiles. Le contexte sera très favorable car la validation des processus physiques développés et des modèles stellaires associés reposera sur les diagnostics sismiques et les observations apportées par les travaux précédents. Il s'agit donc de pérenniser les développements entrepris dans le domaine de l'astérosismologie spatiale afin de maximiser le retour scientifique des missions telles que CoRoT et Kepler et de consolider les thématiques dans lesquelles le pôle ETOILE est pionnier. Les efforts porteront sur l'étude des analogues solaires avec les connexions solaire-stellaire et étoiles hôtes de planètes, l'étude sismique des géantes rouges (lois d'échelle, processus d'excitation, transport, zones d'ionisation, population galactique) domaine dans lequel notre équipe est pionnière et des étoiles massives pour lesquelles il reste encore beaucoup à comprendre: oscillation, granulation, convection, perte de masse, extension des cœurs mélangés, effets du champ magnétique sur les pulsations, la structure et l'évolution. Des projets portent aussi sur l'étude des jeunes amas d'étoiles (formation, structure et évolution) et des étoiles binaires (binaires à éclipse, effet de marées). L'acquisition et interprétation des données, modélisation stellaire et développements de la théorie des oscillations continueront à former la base de nos travaux avec 3 grands axes:

1. Au plan observationnel, la moisson attendue est très prometteuse à l'aune de ce que nous avons déjà obtenu. La mission spatiale CoRoT, lancée fin 2006 et initialement prévue pour durer 3 ans (2007-2009), a été étendue une première fois pour 3 années (2010-2012) et va être étendue à nouveau pour 3 années supplémentaires (2013-2015) en raison de ses nombreux succès en physique stellaire et en exoplanétologie. Elle permettra donc au pôle «Etoile» du LESIA de poursuivre ses études des oscillations, de la structure interne et de divers processus physiques en jeu dans les étoiles, ainsi que d'explorer le potentiel de la caractérisation sismique des étoiles, avec des applications dans des champs connexes comme notamment la dynamique et la population galactiques.
2. La confrontation entre observations sismiques et modèles stellaires va s'accroître. Les contraintes observationnelles obtenues permettront de tester les développements théoriques conduisant à une amélioration de la physique des intérieurs stellaires. Deux des grandes avancées attendues au vu des résultats sismiques actuels concernent les étoiles évoluées de type géante rouge –avec des retombées précieuses sur la physique galactique– et les étoiles en rotation rapide. La détermination sismique du profil de rotation des étoiles de géantes rouges et les contraintes sur les mécanismes de transport de moment cinétique dans les étoiles qui en découlent est un domaine tout jeune, en plein essor et extrêmement prometteur. C'est un domaine dans lequel nous occupons et maintiendront une place de premier plan. Les équipes du LESIA poursuivront dans le même temps leurs efforts pour obtenir une modélisation plus réaliste des processus de transport tels que la convection turbulente et le moment cinétique dans l'étoile et une validation de ces processus au travers de la confrontation observations sismiques-modèles stellaires. De ce point de vue, l'obtention du profil de rotation interne des étoiles est un enjeu majeur qui devrait aboutir au cours des 5 années qui viennent. Il en va de même pour la mesure et l'interprétation de la granulation stellaire dont on détecte maintenant la signature dans de nombreuses étoiles observées par CoRoT et Kepler. Nos efforts s'attacheront à comprendre l'origine physique des désaccords actuels entre observations et modèles et améliorer ainsi les modèles de granulation stellaire actuels. Nous maintiendrons également notre expertise internationale concernant la modélisation des processus physiques à l'origine de l'excitation des oscillations de type solaire. Nous continuerons à développer cet axe en utilisant notamment des simulations hydrodynamiques 3D des surfaces des étoiles. Une proposition ERC a été soumise par notre équipe qui, si elle est acceptée, nous permettra d'obtenir des moyens supplémentaires pour accomplir le programme ambitieux que la qualité des données observationnelles actuelles et à venir et nos premiers résultats nous permettent d'envisager.

- Un autre objectif important porte sur la création d'une base de données contenant les indices sismiques et l'étude et la calibration des lois d'échelles permettant à la communauté scientifique en général d'avoir accès aux estimations sismiques des masses, rayons, âges, etc. des étoiles. En effet, depuis l'avènement de l'astérosismologie spatiale avec CoRoT, la détermination sismique des paramètres stellaires devient incontournable pour nombre de domaines de l'astrophysique. Dans ce contexte, le pôle ETOILE se veut également pionnier et souhaite développer une base de données aux standards OV qui s'adressera à une très large communauté (bien au-delà de la seule physique stellaire). Il s'agira de valoriser les données astérosismiques des missions CoRoT et Kepler ainsi que de mettre à disposition les savoirs et expertises développés au sein du pôle. Ce projet commencera sous peu car il bénéficie du soutien du FP7 dans le cadre du projet SPACEINN pour lequel le pôle ETOILE est un nœud responsable de l'activité «Data Handling & Archiving».



**Figure:** Distribution in the  $x$ - $z$  plane of the red giants observed in the first 6 long observing runs of CoRoT and in the field of Kepler (Miglio et al. 2011). The various directions of pointing of CoRoT allow to study various populations.

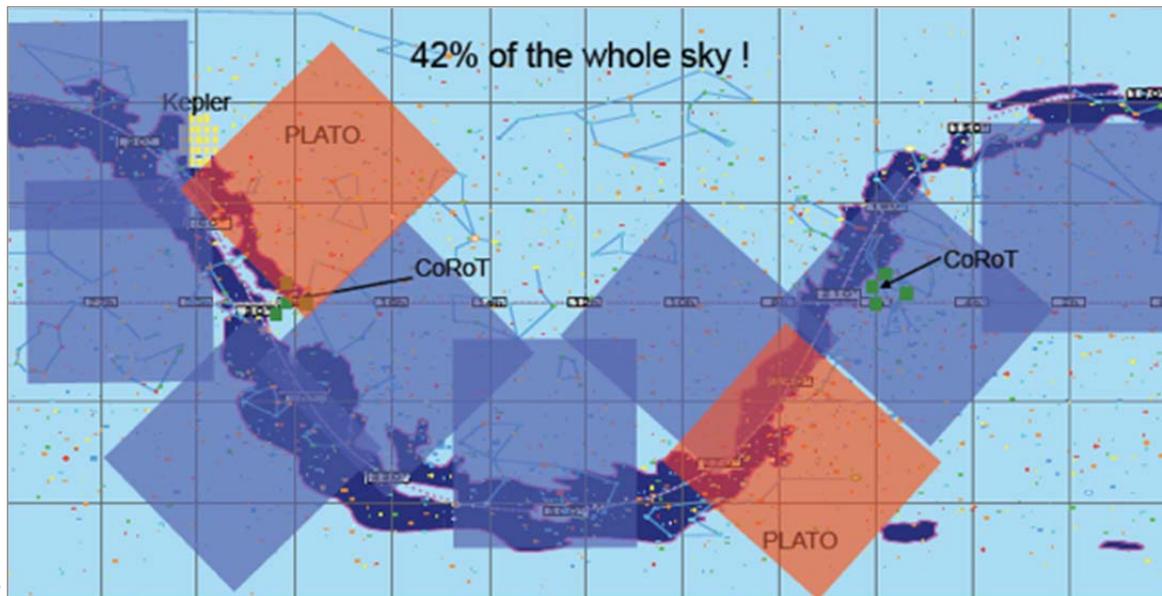
### *E1.2 Systèmes planétaires et leurs étoiles hôtes*

Le successeur potentiel de CoRoT, PLATO, suit actuellement un processus de sélection pour être la mission M3 de l'ESA qui sera lancée en 2024. La sélection aura lieu mi-2013. Comme pour CoRoT, les membres du LESIA sont les acteurs moteurs de cette mission spatiale. Le projet PLATO a pour objectif l'étude des systèmes planétaires complets, c'est-à-dire étoiles hôtes et planètes dans le même champ permettant ainsi d'apporter des contraintes fortes sur les paramètres fondamentaux notamment les rayons et masses. Les étoiles cibles de PLATO sont très brillantes, contrairement à Kepler, ce qui permettra un suivi spectroscopique au sol de la majorité des objets.

Le but scientifique de PLATO est la détection de plusieurs milliers de systèmes exoplanétaires avec des planètes de masse entre 1 et 20 masses terrestres, incluant des planètes dans la zone habitable. La détection de dizaines de milliers de planètes plus massives est également prévue. La stratégie de PLATO est d'étudier un grand échantillon d'étoiles brillantes en observant une grande partie du ciel. Ainsi PLATO peut atteindre la caractérisation complète des étoiles hôtes et des planètes. Cette caractérisation inclut l'analyse sismique des étoiles hôtes pour déterminer en particulier leur masse, rayon et âge, afin de déduire ces mêmes paramètres également pour les planètes. De plus, les systèmes planétaires découverts par PLATO pourront être suivis spectroscopiquement du sol pour obtenir la caractérisation complète des orbites et les propriétés physico-chimiques des planètes et de leur atmosphère.

Le quinquennal à venir va voir l'équipe ETOILE occupée à gérer la préparation scientifique de la partie physique stellaire de PLATO. En parallèle, les outils théoriques et numériques permettant de

caractériser les étoiles (masses, rayons, âges) à partir de la sismologie seront améliorés ou développés quand nécessaire de façon à augmenter la précision sur les quantités déterminées. Un des challenges est la caractérisation ultra précise des étoiles abritant des planètes, pour laquelle le LESIA développe actuellement les compétences complémentaires nécessaires.



**F**  
**igur**  
**e :**  
Champs  
d'obs  
ervat

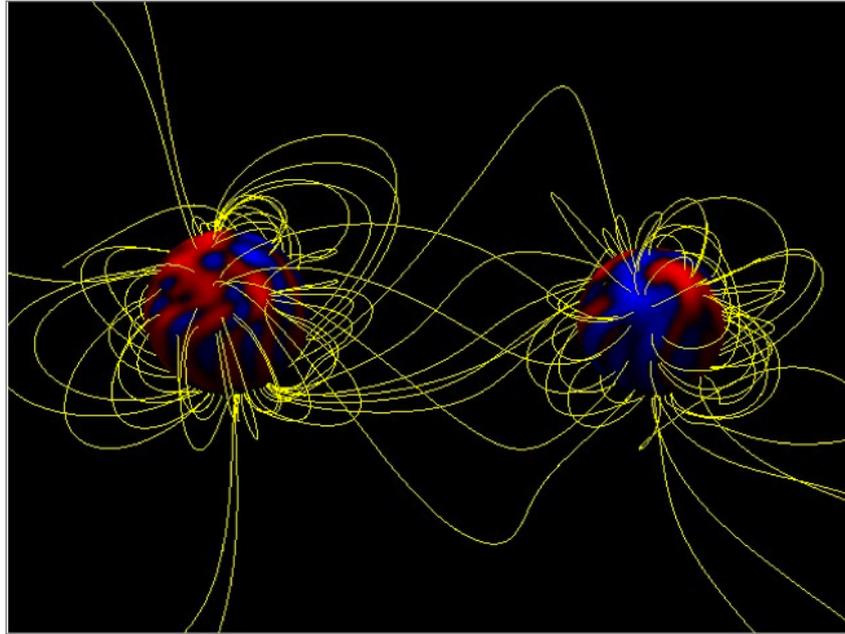
ions de PLATO (2 grands rectangles rouges, observés 3 ans chacun, et grands rectangles bleus, observés quelques mois chacun), CoRoT (petits carrés verts) et Kepler (damier jaune).

### E1.3. Magnétisme

#### E.1.3.1 Champs magnétiques par spectropolarimétrie

Les observations des programmes MiMeS et IMTTS s'arrêteront début 2013, mais l'exploitation de ces données continuera au moins jusqu'en 2015. Ces programmes apporteront de nouvelles informations sur les champs magnétiques des étoiles massives et des étoiles T Tauri de masse intermédiaire, permettant d'approfondir l'étude des champs fossiles et de l'impact du champ magnétique sur les étoiles.

Un nouveau large programme d'observations, BinaMiCS (Binarity and Magnetic Interactions in various classes of Stars) a été soumis au CFHT pour ESPaDOnS (PI E. Alecian) et sera soumis prochainement au TBL pour Narval et à l'ESO pour HARPSpol. Ce programme d'observations se déroulerait de 2013 à 2016. Il se concentrera sur l'étude spectropolarimétrique des étoiles binaires de tout type, afin de comprendre l'impact du champ magnétique sur la binarité et vice-versa, ainsi que les interactions comme les effets de marées. En effet, les champs magnétiques des étoiles binaires affectent et sont très affectés par le transfert d'énergie, de masse et de moment angulaire entre les composantes du système. Cependant, l'action réciproque entre les champs magnétiques stellaires et la binarité n'a pas encore été étudiée en détail, alors qu'elle est un ingrédient important pour comprendre la physique des étoiles binaires. Dans les étoiles massives (au-dessus de 1.5 masses solaires) la détermination de l'incidence des champs magnétiques dans les systèmes binaires apportera une contrainte sur l'origine du champ magnétique et sur son rôle dans la formation des binaires. Dans les étoiles de plus faible masse, les interactions de marées produisent probablement des flux à grande échelle à l'intérieur des étoiles qui peuvent perturber la dynamo. De plus, les vents et éjections confinés par le champ magnétique dans les systèmes binaires froids et chauds sont depuis longtemps suspectés d'être responsables de leur évolution orbitale, tandis que les interactions magnétosphériques augmentent l'activité stellaire.



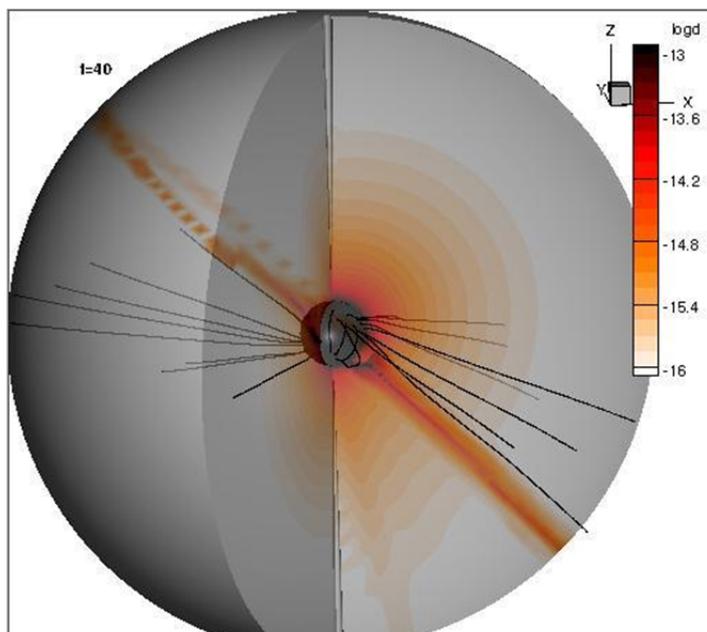
**Figure :**  
Modèle  
magnétosphé-  
rique 3D du  
système  
binaire  
HD155555

obtenu par extrapolation des cartes de champs magnétiques de surface observés (Dunstone & Holzwarth, communication privée).

#### E.1.3.2 Une mission spatiale pour l'étude des magnétosphères stellaires

Une étude de R&T CNES débute fin 2012 au LESIA pour développer un spectropolarimètre spatial dans le cadre du consortium UVMag que le LESIA coordonne (PI C. Neiner). Ce spectropolarimètre, à la fois UV et visible, constituera soit l'instrumentation unique d'un futur satellite de taille M qui pourrait être proposé à l'ESA lors de l'appel M5, soit un instrument parmi un set d'instrument qui sera proposé à la NASA pour son projet de LUVVO (Large UV and Visible Observatory). Dans les 2 cas, le lancement est envisagé à l'horizon 2025-30.

Le but d'UVMag est d'étudier les étoiles de tout type et leur environnement simultanément grâce à l'étude simultanée dans l'UV et le visible, en particulier les magnétosphères stellaires. En effet, les raies spectroscopiques sensibles au vent stellaire sont des raies UV observables uniquement de l'espace. Les variations observées dans ces raies UV sont directement reliées à la configuration géométrique du champ magnétique de l'étoile observée en spectropolarimétrie ainsi qu'à la quantité et la localisation de la matière confinée par le champ dans la magnétosphère observée dans les spectres optiques. Le satellite proposé par UVMag permettra donc la cartographie simultanée du vent, du champ magnétique de surface et de la magnétosphère.



**Figure :** Modèle 3D de la densité des particules du vent dans la magnétosphère de l'étoile magnétique  $\theta^1$  Ori C (ud Doula, communication privée ; voir aussi ud-Doula 2012, arXiv:1203.1523). L'étoile est représentée au centre. L'axe de son champ magnétique est oblique. Une partie de la matière se retrouve confinée à l'équateur magnétique.

## **E2 : Pôle Haute Résolution Angulaire en Astrophysique**

Le pôle HRAA regroupe cinq équipes en propre et coordonne une équipe transverse (« exoplanètes et origine des systèmes planétaires » présentée séparément), impliquées dans la recherche et le développement des instruments optiques à haute résolution angulaire pour l'astronomie au sol et dans l'espace et dans les principaux programmes astrophysiques bénéficiant de ces techniques de pointe.

Le pôle est très actif dans la définition, la construction et l'exploitation d'instruments du VLT de l'ESO, comme SPHERE et GRAVITY. Il entend participer à la définition et la construction de l'instrument MICADO de première lumière de l'E-ELT, l'extrêmement grand télescope européen de 39m de diamètre de l'ESO, mais aussi poursuivre la R&D nécessaire pour asseoir la faisabilité de certains des instruments qui suivront. Le GIS PHASE en cours de renouvellement et d'extension donnera un cadre collaboratif à la fois sur projet et en R&D avec les principaux laboratoires français du domaine de la HRA.

Les thématiques du pôle en recherche instrumentale portent sur l'optique adaptative, l'imagerie à très haute dynamique et l'interférométrie optique. Ces thématiques sont principalement développées afin de servir les programmes astrophysiques de la détection et la caractérisation des planètes extrasolaires, de l'étude de la photosphère et de l'environnement proche des étoiles et de l'imagerie et l'analyse du cœur des galaxies comme le Centre Galactique et les noyaux actifs de galaxies proches. Le pôle est aussi porteur d'une action de valorisation dans le domaine des applications biomédicales en imagerie à haute résolution spatiale de la rétine humaine in vivo.

### **E2.1 Équipe « Activité au cœur des galaxies »**

Les travaux de l'équipe « Activité au cœur des galaxies » au cours du prochain quinquennal porteront sur trois axes principaux : l'exploitation scientifique de GRAVITY, la préparation du programme scientifique des instruments E-ELT, dans lesquels le pôle HRAA est impliqué, et la poursuite des programmes scientifiques en cours, basés sur des observations sur des télescopes de la classe des 8-10m. Une partie de ces travaux est faite en collaboration avec l'équipe de R. Genzel au Max Planck Institut (MPE) de Garching. Les objectifs scientifiques de ces travaux sont au nombre de deux.

- Contraindre les paramètres du trou noir central de la Galaxie et de son environnement proche : les observations par GRAVITY sur le VLT et avec l'E-ELT d'étoiles en orbite relativiste très proches du trou noir central (quelques milliparsecs) permettront d'une part d'estimer plusieurs paramètres de ce dernier (masse, spin, moment quadrupolaire) et ainsi de tester la relativité générale à travers le « no hair » théorème, et d'autre part de mieux comprendre la distribution de matière étendue autour du trou noir ainsi que sa composition. L'utilisation du code GYOTO nous permettra d'interpréter les données dans un cadre entièrement relativiste. Par ailleurs nos observations actuelles, au VLT et au Keck, visent à comprendre l'interaction du trou noir avec le gaz et la poussière l'entourant à l'échelle de quelques parsecs, fournissant ainsi des contraintes sur la formation stellaire au cœur de la Galaxie.

- Mieux comprendre les interactions mutuelles des différentes structures de l'environnement proche du trou noir supermassif des noyaux actifs de galaxies : GRAVITY devrait permettre de mesurer les gradients de vitesse à l'intérieur de la région des raies larges de plusieurs noyaux actifs proches et ainsi d'en déterminer la taille, l'orientation et la masse du trou noir central. Nos programmes en cours, combinant des observations à haute résolution angulaire principalement au VLT avec des développements en traitement d'images exploitant les données de la boucle d'optique adaptative, visent à mieux comprendre les influences mutuelles qui s'exercent entre le trou noir central et les régions de formation d'étoiles (NGC7469, NGC1097, NGC2992), entre le jet et des nuages de poussières de la région des raies étroites (NGC1068).

### **E2.2 Équipe « Interférométrie optique »**

D'un point de vue astrophysique, l'équipe « Interférométrie optique » se concentrera sur l'exploitation de deux infrastructures : CHARA et VLTI. Ces deux sites sont complémentaires. Ils nous offrent un accès à la fois à l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud, avec des bases différentes : de l'ordre 100m (voire 200m dans l'avenir) pour le VLTI, et supérieures à 300 mètres pour CHARA. De

plus, nos équipes ayant été motrices dans le développement de GRAVITY et de FLUOR, nous avons acquis une expertise reconnue dans l'exploitation de ces instruments. Cela se traduit en pratique par l'obtention régulière de temps d'observation sur ces instruments, pourtant très compétitifs. Nos objectifs astrophysiques sont focalisés sur les étoiles évoluées, les rotateurs rapides, les céphéides et les noyaux de galaxies auxquels s'ajoute progressivement un nouveau domaine de recherche : la détection et la caractérisation d'exoplanètes (voir prospective de l'équipe transverse « exoplanètes »).

En parallèle de l'exploitation de ces grands équipements, notre équipe prévoit de s'engager prochainement dans plusieurs projets instrumentaux majeurs, notamment la troisième génération d'instruments de recombinaison pour le VLTI (VLTI3). Nous évaluons actuellement la pertinence de proposer un recombinateur à 6 ou 8 télescopes offrant des capacités d'imagerie ou/et de spectroscopie accrues par rapport à la génération actuelle. Le rôle du LESIA dans ces projets reste à définir, en partenariat avec d'autres institutions en France et à l'international. Sur la base de l'expertise que nous avons acquise sur l'instrument GRAVITY, nous souhaitons jouer un rôle majeur, voire de direction, dans la réalisation de l'instrumentation VLTI3.

Nous travaillons également à définir la place de l'interférométrie par rapport à l'E-ELT. Une approche prometteuse est d'intégrer un mode interférométrique à l'instrumentation de l'E-ELT, par exemple en proposant un instrument du type « masquage de pupille » ou FIRST (redistribution de pupille) pour le futur appel ouvert à propositions de l'ESO. Enfin, dans une optique de long terme, nous réfléchissons à l'instrumentation de l'après E-ELT, et en particulier l'identification de nouveaux concepts pour un interféromètre à très longue base, potentiellement kilométrique.

Tout en positionnant stratégiquement le laboratoire sur ces grands projets, nous continuerons les recherches instrumentales focalisées sur des instruments de taille plus modeste, de manière à explorer et valider de nouveaux concepts. Cela inclut par exemple les expériences 'OHANA d'interférométrie fibrée longue distance (validée sur le ciel), FIRST (en cours d'exploitation) et DAMNED (tests en cours en laboratoire). Ces recherches seront à la base de nos propositions pour de futurs projets instrumentaux pour les très grands télescopes.

Dans le domaine spatial, à court terme le banc de laboratoire PERSEE nous permettra de démontrer les performances de l'interférométrie annulante pour la détection directe d'exoplanètes dans des conditions plus réalistes en caractéristiques et luminosité des sources simulées et perturbations sur les faisceaux, en collaboration avec l'OCA et l'IAS. Cependant suivant les perspectives à moyen/long terme des missions correspondantes (spatiale ou ballon), nous serons amenés à redéfinir l'exploitation du banc.

### ***E2.3 Équipe « Imagerie à très haute dynamique »***

L'équipe « Imagerie à très haute dynamique » va participer activement au groupe scientifique de SPHERE pour mener les campagnes d'observations, dépouiller les données et interpréter les résultats, ceci à partir de 2013. Elle participera aussi au groupe scientifique de l'instrument IR moyen MIRI du JWST pour l'élaboration du temps garanti consacré à l'observation des exoplanètes. MIRI est normalement livré à la NASA en 2012 pour un lancement du JWST prévu en 2018.

À plus long terme, l'équipe prend déjà part à la réflexion sur les futurs instruments d'imagerie à haut contraste soit depuis le sol (ELTs), soit depuis l'espace, dans l'objectif d'observer des planètes plus vieilles et/ou de faibles masses. Le travail dans ce cadre est essentiellement fondé sur la R&D des coronographes achromatiques et des systèmes de suppression des tavelures par correction du front d'onde. Le banc très haute dynamique a été mis en place afin de démontrer la nouvelle méthode d'analyse de front d'onde plan focal appelée « self coherent camera » et plusieurs thèses ont déjà été menées sur les aspects théoriques et instrumentaux. Les premières mesures ont permis d'atteindre avec ce concept des contrastes très élevés de  $10^{-7}$  presque comparables à ceux obtenus par le JPL/NASA. L'objectif est d'améliorer les performances de ce banc pour atteindre des contrastes compatibles avec la détection de planètes vieilles en bande large et d'en faire une démonstration en mettant en œuvre le mode détection de compagnon de la « self coherent camera ».

Dans le cadre de l'application au sol en partenariat avec l'IPAG et le LAM, nous continuons à développer la R&D nécessaire au projet d'instrument EPICS (proche IR) de l'E-ELT afin d'en accroître le niveau de maturité technologique. Nous nous focalisons sur les problématiques de la coronographie, l'analyse de front d'onde plan focal et l'imagerie différentielle.

Dans le cadre de l'application spatiale, nous souhaitons poursuivre la R&D requise par une mission de classe M, du type de SPICES, fondée sur un télescope coronographique dans le visible capable d'atteindre des contrastes extrêmement élevés pour faire l'étude spectro-polarimétrique de planètes géantes vieilles et de super Terres.

#### **E2.4 Équipe « Optique adaptative »**

L'ELT Européen motive l'essentiel de l'activité en optique adaptative en raison du pas en avant considérable qu'il représente par rapport à l'état de l'art actuel. Il est important à l'avenir d'orienter les activités selon deux axes en parallèle, chacun s'inscrivant dans la lignée des actions déjà entreprises.

1- S'investir substantiellement dans un instrument de première lumière de l'ELT, l'idéal étant de se concentrer sur un seul instrument afin de ne pas disperser nos efforts. Cet axe sera d'importance, mais ne doit pas mobiliser l'intégralité des forces en optique adaptative.

2- Maintenir une activité de R&D instrumentale et théorique, essentielles en optique adaptative pour ne pas courir le risque d'une régression par rapport aux autres laboratoires européens et conserver sur eux l'avance acquise.

Mi-2012, la définition exacte des consortia qui vont prendre en charge les deux instruments de première lumière de l'E-ELT n'est pas définie, elle est en cours d'élaboration, comme l'affectation précise des responsabilités et des tâches. L'instrument MICADO (spectro-imageur grand champ) associé au module MAORY (optique adaptative multi-conjuguée) a été sélectionné par l'ESO comme l'un de ces deux instruments. Dans la continuité de son implication dans la phase A de MICADO, le LESIA prendra en charge la responsabilité de la définition et de la réalisation (mécanique, optique, intégration) d'au moins un sous-système majeur de MICADO/MAORY : le module d'optique adaptative « classique » pour la première lumière en droite ligne des études de phase A et/ou les analyseurs laser de MAORY en s'appuyant ici sur les pré-études de la phase A d'ATLAS. En parallèle, le LESIA s'investira dans le groupe scientifique de MICADO et dans le logiciel d'exploitation de l'instrument et de réduction de données. Il s'agit d'un investissement significatif, mais la finalisation des contours exacts de l'engagement sera fonction des négociations sur la répartition des responsabilités entre les laboratoires partenaires. Les besoins en ingénieur sont importants pour pouvoir s'engager dans ces travaux.

Concernant la R&D, on doit éviter l'éparpillement et veiller à aligner les thématiques sur les axes principaux des problèmes actuels, lesquels sont en bonne partie soulevés par l'E-ELT. Cela renforce opportunément les synergies avec MICADO/MAORY : analyse de front d'onde (source naturelle et laser), tomographie (algorithme, calibrations), simulations numériques. Concrètement, le projet CANARY, mené en collaboration principale avec l'Université de Durham, permet de développer ces aspects tout en ouvrant la perspective vers EAGLE (pour la 2<sup>ème</sup> vague d'instruments de l'E-ELT sur le ciel après 2025). La phase B de CANARY dans laquelle le LESIA est actuellement engagé, se clôture en 2013. Commence alors la phase C. Elle prévoit la mise à niveau de l'instrument vers un mode à 2 étages de correction "woofer-tweeter" en 2015. Elle pourrait aussi inclure une validation ciel de l'analyse de front d'onde sur étoile laser Sodium dans une configuration typique de l'E-ELT en collaboration avec l'ESO. Le programme est encore en cours de discussion et pourrait être aussi intégré dans la phase de définition préliminaire (B) de MAORY.

Le LESIA est fortement impliqué dans le développement de CANARY phase-C dans le but de poursuivre l'effort de R&D pour les optiques adaptatives des ELT : en tomographie, par l'extension du Learn & Apply et l'identification sur le ciel des paramètres du modèle tomographique, et en analyse de front d'onde, par les tests sur étoile laser sodium (conception de l'expérience, tests, dépouillement, interprétation) et par la poursuite de tests d'analyseurs novateurs (ADONF). En soutien aux simulations numériques ELT pour MICADO/MAORY et en tant qu'effort de R&D, il faut prévoir une montée en puissance du code de simulation YOGA optimisé sur GPU, dont les bibliothèques déjà développées par l'équipe doivent être étendues.

#### **E2.5 Équipe « Applications biomédicales »**

Les activités de cette équipe s'inscrivent dans un cadre collaboratif fort avec l'Institut de la Vision et le Centre d'Investigation Clinique (CIC) de l'hôpital des XV-XX à travers la convention ŒIL-HRS

sur l'imagerie à haute résolution spatiale de la rétine *in vivo*. Cette convention, incluant aussi l'ONERA, arrive à échéance fin 2012 et sera renouvelée et élargie à quelques nouveaux partenaires.

Suite aux développements menés dans le cadre du projet Rétinopathies, le LESIA dispose d'un banc prototype couplant la technique d'optique adaptative et la technique de tomographie cohérente optique plein champ (instrument 3D). L'étape en cours consiste en la caractérisation et la validation des différents sous-systèmes du banc sur échantillons maîtrisés puis sur échantillons biologiques. Le développement des traitements permettant la reconstruction 3D des images constituera une activité importante de l'équipe dans les mois à venir. Des améliorations des sous-systèmes (boucle d'optique adaptative, détection 4 phases, etc...), pour certaines déjà identifiées, pour d'autres découlant des caractérisations citées ci-dessus et de thèses menées avec l'ONERA, précéderont le passage à l'*in vivo* et l'installation de l'instrument au CIC de l'hôpital des XV-XX. Cet instrument permettra alors aux médecins partenaires du projet d'avoir accès à un nouveau type de visualisation des différentes couches rétinienne et de la circulation sanguine, dans le cadre d'un protocole clinique.

Ce dernier domaine d'étude présente un intérêt majeur pour nos collègues ophtalmologistes, à la fois sur le petit animal et sur l'homme : en fonction du stade de développement de certaines pathologies, la microcirculation serait plus ou moins affectée. Il pourrait être envisagé par exemple de développer un instrument imageur dédié aux capillaires, reposant sur l'expérience acquise dans le domaine de l'imagerie *in vivo* à haute résolution. L'instrument 3D lui-même pourrait à long terme évoluer vers un dispositif intégrant des capacités d'imagerie grand champ, de multi-longueur d'onde et/ou de stabilisation des images élémentaires.

### E3 Pôle de Physique des Plasmas

L'expertise technique et scientifique du pôle Plasmas a permis la réalisation et sélection d'instruments radio de sensibilité inégalée, embarqués sur de nombreuses missions internationales. Les résultats rapportés dans le document de bilan du pôle montrent l'importance de préserver une équipe technique propre à la conception de récepteurs 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. Le bilan reste très insuffisant pour la période 2007-2012, puisque seul deux recrutements IE en 2009 et 2011, contre six départs, sont venus en renfort de l'équipe technique radio. La prospective du pôle en matière d'instrumentation est d'être capable d'avoir une activité parallèle de « Recherche et Développement », tout en honorant nos engagements sur les missions en réalisation. C'est à cette condition que le pôle gardera sa capacité de proposer de nouveaux projets spatiaux et de développer une instrumentation innovante 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. L'implication du pôle comme **co-PI et 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, et les observations à plus long terme. Parallèlement, notre **position de PI sur Solar Orbiter/RPW** nous permet déjà de **renforcer nos collaborations** existantes avec les autres laboratoires spatiaux et **plasmas tant français qu'européens**, impliqués dans l'instrumentation "radio et plasmas".

Dans le contexte de l'enseignement, nous sommes impliqués dans plusieurs niveaux d'enseignement à l'Université Pierre et Marie Curie majoritairement, ainsi qu'à l'Observatoire de Paris et à l'Université Paris XI. Nos liens étroits avec l'UPMC, fédérant les laboratoires « plasmas » d'Ile de France pourraient faire émerger de nouveaux axes d'activité (Plas@par, ...), rassemblant les forces des divers laboratoires de la discipline depuis des plasmas astrophysiques aux plasmas de laboratoire en passant par la théorie et la simulation numérique et l'observation radioastronomique.

#### E3.1 Les défis scientifiques

Les prospectives de recherche du pôle Plasmas pour 2014-2018 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. Notre expertise dans le domaine des mesures *in situ* sera fondamentale pour la réalisation de l'instrument radio FIELDS, sur la mission Solar Probe Plus, instrument qui sera le seul à pouvoir faire un diagnostic précis des électrons thermiques dans l'atmosphère de notre étoile.

L'exploitation des missions spatiales en opérations et, dans le futur, celles actuellement en cours de réalisation (BEPICOLOMBO, SOLAR ORBITER, SOLAR PROBE PLUS) s'articulent autour de ces questions. Pour y répondre, il est évident qu'une activité théorique et de simulations numériques doit être prioritaire pour le pôle plasmas. Il est crucial pour l'avenir de confronter les futures observations originales à des données simulées, pour une interprétation rigoureuse, cette simulation devant elle-même être guidée par une activité théorique originale. Nos efforts à venir consisteront donc à renforcer cet axe de recherche, transverse, à nos activités de recherche. Ces compétences permettront d'aborder les problèmes à résoudre sous des angles complémentaires.

La micro-physique des plasmas avec laquelle nous avons un accès de premier plan par la mesure (forme d'onde dans le vent solaire et les magnétosphères, observations « sol » à très hautes résolutions temporelle et spectrale, traversée des sources radio planétaires) 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. La forme de la fonction de distribution

en énergie des particules chargées (non-Maxwellienne) y joue certainement un rôle crucial. L'universalité de ces structures présente des défis nouveaux à la communauté de simulation numérique des plasmas spatiaux et peut être adaptée 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 ou les circuits satellite-planète voire exoplanète-étoile, peut être traitée par des modèles cinétiques sans collision et les simulations associées (nombreuses collaborations internationales).

### ***E3.2 Instrumentation spatiale et sol***

#### **E3.2.1. Vent solaire, milieu interplanétaire et plasmas hors de l'héliosphère**

La stratégie pour répondre aux questions fondamentales sur le chauffage de la couronne et l'origine du vent solaire passe par une mission d'exploration des régions de l'héliosphère interne, aussi près que possible de la photosphère du Soleil.

La première étape sera **Solar Orbiter**. Cette mission permettra d'étudier la dynamique de la couronne solaire à une distance radiale de ~60 rayons solaires. 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. En complément, la mission Solar Probe Plus permettra une avancée historique en pénétrant pour la première fois dans l'atmosphère de notre étoile, jusqu'à 9.5 Rs afin d'élucider les processus à l'origine du chauffage de la couronne et de l'accélération du vent solaire. Les deux missions ont un lancement prévu autour de 2017-2018. Il est clair que l'héliosphère interne sera dans les prochaines années largement explorée avec une sentinelle de sondes interplanétaires à différentes distances du Soleil. BepiColombo participera également aux aspects de « surveillance solaire ».

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 pour l'étude des processus physiques de dissipation de l'énergie et les interactions multi-échelles. Parmi les processus multi-échelles, notons par exemple la reconnexion, les chocs, et la turbulence.

Comme mentionné dans nos travaux de recherche, la turbulence et sa dissipation dans les plasmas spatiaux peu collisionnels sont de grandes questions ouvertes de l'astrophysique. Le vent solaire est un laboratoire naturel privilégié, car le plus accessible, pour faire de telles mesures in-situ. L'étape cruciale suivante sera de caractériser les fluctuations dans le domaine dissipatif, c'est-à-dire de déterminer leur nature. La découverte d'une dissipation des fluctuations électromagnétiques signifie qu'il existe un chauffage des particules chargées, compatible avec les signatures non thermiques des fonctions de distributions des ions et des électrons observées dans le vent solaire. L'étude de l'effet de la dissipation de la turbulence sur les caractéristiques des fonctions de distribution est l'un des objectifs des missions futures, tout comme le rôle des effets inverses (par ex. la génération des fluctuations turbulentes par les particules non-thermiques via des instabilités diverses).

En ce qui concerne les observations au sol, et l'expérience CODALEMA, l'un des objectifs majeurs de la radiodétection est d'apporter une information sur la nature de la particule primaire. Pour cela, l'expérience CODALEMA est amenée à évoluer pour couvrir une surface (ou un volume) de détection beaucoup plus importante pour augmenter fortement l'accumulation d'événements. La détermination de la topologie la plus efficace est à l'étude, et inclut l'utilisation de capteurs radio en vol sur ballon captif (expérience GERBES3D au-dessus de Nançay, soutenue par la Division Ballons du CNES). L'étude des phénomènes transitoires en radioastronomie (contrepartie radio de sources  $\gamma$ , sursauts géants de pulsar...) est actuellement en plein développement. Les méthodes utilisées pour CODALEMA sont directement applicables ou adaptables à cette thématique. L'étude des phénomènes orageux dans la haute atmosphère (sylphes, elfes, TGF, ...), leur couplage avec l'ionosphère et la magnétosphère terrestre et leur possible association avec les rayons cosmiques est une autre contribution « transversale » possible de l'instrument CODALEMA.

#### **E3.2.2. Magnétosphères terrestre et planétaires**

Du point de vue des environnements planétaires, avec l'acquis des missions CASSINI et STEREO, la prochaine étape est dorénavant BEPICOLOMBO. Ses objectifs sont de comprendre le fonctionnement de la petite magnétosphère de Mercure et son interaction avec le vent solaire, et de les comparer au cas de la magnétosphère terrestre. Les observations in-situ de MMO seront à la fois cruciales pour la compréhension des deux magnétosphères (planétologie comparée), et aussi pour l'étude des plasmas astrophysiques, puisque l'on observera une interaction plasma/planète très originale dans le Système solaire. Celle-ci reste pratiquement inexplorée, en particulier en ce qui concerne ses émissions radio (émission cyclotron aurorale piégée dans la magnétosphère ? sursauts synchrotron ? etc.), même après Messenger (NASA) puisque cette sonde ne possède pas d'instrumentation radio. Il est important de souligner que, d'une part, les caractéristiques thermodynamiques du vent solaire sont très différentes entre 1UA et les 0.3-0.45 UA de l'orbite excentrique de Mercure et, d'autre part, que le champ magnétique intrinsèque de Mercure est relativement faible (1/100 du dipôle terrestre). A titre d'exemple, lors d'une CME, la magnétosphère de Mercure peut être complètement "soufflée" et les particules du vent solaire atteindre directement l'équateur. BEPICOLOMBO devraient donc apporter des résultats originaux sur ces processus.

Pour les planètes géantes, la prochaine mission, actuellement privilégiée, est JUICE, dont la sélection par l'ESA a été décidée en avril 2012. Cette mission ambitieuse étudiera le système jovien. JUICE intéresse vivement le pôle Plasmas du LESIA 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/magnétosphère de Ganymède, émissions radio) afin d'en déduire une cartographie précise du plasma pour comprendre les phénomènes multi-échelles.

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 l'apport de la simulation numérique dans l'exploitation de ces observations est fondamental. Nous avons déjà développé un code de simulation de spectres dynamiques contenant l'essentiel de la physique connue des processus d'émissions. Utilisé pour interpréter des observations de Jupiter et Saturne, ce code a également permis de montrer quelle information pourra être extraite de la détection radio d'exoplanètes, et il sera central dans l'interprétation des observations de **JUNO** (lancé en 2011). JUNO est un orbiteur polaire de Jupiter pour lequel le pôle a une participation de type Co-I. JUNO étudiera en profondeur la magnétosphère polaire de Jupiter, ses aurores et ses radiosources in-situ, et effectuera une cartographie parfaite de son champ magnétique interne, fournissant ainsi un cadre d'étude solide des processus auroraux.

La dynamique des magnétosphères planétaires est principalement gouvernée par le vent solaire. Une façon d'étudier cette interaction est de mesurer la réponse aurorale induite par la compression soudaine des magnétosphères lors du passage de chocs interplanétaires (éjections de masse coronale, régions d'interaction en corotation). Les réponses aurorales de la Terre, Saturne et Jupiter aux chocs interplanétaires (par ordre de sensibilité) sont désormais bien établies (*ACL640*). Nous avons donc proposé au HST (proposition PI à la tête d'un vaste consortium), et exécuté avec succès, une série d'observations originales. En utilisant cette approche de façon prédictive, nous avons détecté à nouveau les aurores d'Uranus lors de conditions actives dans le vent solaire en Novembre 2011, et obtenu les premières informations sur sa magnétosphère très atypique (*ACL055*) depuis sa découverte par Voyager 2 en 1986. Cette approche originale ouvre un nouveau champ d'étude très riche, des aurores, de la dynamique de la magnétosphère et de la haute atmosphère d'Uranus ainsi qu'à de nouvelles observations d'Uranus (UV et IR). Nous étudions aussi la faisabilité d'observations radio à distance (rayonnement auroral et éclairs d'orages atmosphériques). D'ici à une mission d'exploration, en projet à l'ESA et la NASA, pour laquelle nous avons fortement participé (*ACL113*), les études doivent être conduites à distance.

Notons que cette approche prometteuse a aussi été utilisée pour Jupiter et Saturne, et plusieurs études comparées de l'interaction vent solaire/planète (Uranus en UV/IR, Jupiter en radio/X, Saturne en radio/X) sont en cours. De nouvelles observations combinées de Jupiter et Uranus sont en prévision. Cette activité couvrira en partie certains objectifs liés à la météorologie de l'espace

Côté « sol », le premier semestre d'observations scientifiques de **LOFAR** ("cycle 0») débute fin 2012, avec 10% des propositions soumises qui ont un PI français, deux d'entre eux appartenant au LESIA (recherche d'exoplanètes en radio et mesure du spectre thermique de l'atmosphère de Saturne, ce second projet étant mené par des membres des pôles planétologie & plasmas). Cinq propositions d'observations planétaires sont prévues.

La conjonction des prospectives spatiales et sol se traduit par le développement de projets de réseaux d'antennes basses fréquences sur la Lune (dont le premier précurseur pourrait être le Lunar Lander de l'ESA, actuellement en phase B1) et d'interférométrie radio spatiale (avec le projet SURO, soumis à l'ESA). Ces projets ouvriront la possibilité d'études astrophysiques (des planètes aux exoplanètes, des galaxies à la cosmologie) à hautes sensibilité et résolution angulaire pour la première fois aux très basses fréquences.

### *E3.3 Météorologie de l'espace*

La contribution du pôle Plasmas à la fois en matière de localisation des sources d'accélération des électrons, de modélisation numérique de l'environnement d'un satellite et de simulations globales de l'interaction vent solaire-magnétosphère, renforcera à plus long terme notre activité en matière de météorologie de l'espace.

La localisation des sources d'accélération des particules issues d'éruptions solaires est une étape importante pour la prévision des précipitations dans les magnétosphères. Ces régions sont le siège d'intenses émissions radio (entre 0.5 et 20 MHz). Les techniques de localisation de source radio à partir de satellites en rotation sont utilisées depuis longtemps. En revanche, les méthodes pour les satellites stabilisés trois-axes ont connu de nombreux développements récents pour l'analyse des données planétaires, et viennent d'être adaptées pour les émissions solaires (Thèse V. Krupar 2012). Cette expertise est reconnue au niveau international. Signalons également que plusieurs membres du pôle sont fortement impliqués dans le développement d'observatoires virtuels, en particulier HELIO et AMDA (au CDPP). Ces données de localisation seront introduites dans ces OV.

Par ailleurs, depuis 2011, grâce à nos collaborations avec l'ESA (A. Hilgers), l'IRAP et le Swedish Inst. of Space Physics, nous utilisons le code SPIS (ONERA/ESA) pour simuler les interactions plasma-satellite dans le milieu interplanétaire. D'abord utilisé pour choisir les matériaux de certains éléments de Solar Orbiter (panneaux solaires, antenne de transmission), il est maintenant employé pour créer une base de données de simulation pour différentes conditions environnementales et configurations du satellite prévues au cours de la mission. L'objectif est de valider et, si nécessaire corriger, les mesures du champ électrique avant la diffusion des données.

Les sondes explorant les magnétosphères planétaires permettent, d'une part, l'acquisition d'informations sur l'état du plasma à l'endroit de la sonde, et d'autre part des mesures radio à proximité de l'émetteur. Cependant, une magnétosphère planétaire est un système très étendu avec une structure spatiale complexe et souvent très variable au cours du temps, et les émissions radio sont très anisotropes. Ainsi l'interprétation des observations en un point, dépendant souvent d'événements distants, n'est pas aisé sans l'apport de simulations numériques ou d'observations à distance (par ex. « sol »), permettant une vue globale du système magnétosphérique.

Grâce au soutien européen (FP7) du projet SHOCK (2012-2015), nous mettons en place un code MHD « rapide » permettant de simuler l'ajustement d'une magnétosphère planétaire aux conditions variables du vent solaire. Il sera notamment appliqué à Mercure en soutien à la mission Bepi-Colombo. Le choix d'un code fluide plutôt que cinétique est dicté par la volonté de réaliser des simulations 3D « légères » afin d'aider à l'interprétation des mesures in-situ. Des simulations cinétiques, plus détaillées mais plus lourdes, sont fournies par nos partenaires Tchèques au sein du projet SHOCK.

## E4 Pôle de Physique Solaire

L'activité scientifique du pôle solaire s'articulera autour des trois thématiques scientifiques :

- **Formation et structuration des champs magnétiques solaires**
- **Phénomènes éruptifs et accélération de particules**
- **Perturbations héliosphériques et météorologie de l'espace (équipe transverse avec le pôle plasmas) : *CETTE PARTIE A ETE PLACEE SEPAREMENT EN EQUIPE TRANSVERSE***

### E4.1 Formation et Structuration des champs magnétiques solaires

La prospective de notre pôle se divise en deux axes distincts: un premier axe orienté "**météorologie de l'espace**" (voir aussi thème III) avec la cartographie magnétique des régions actives solaires couplée à la simulation "data-driven", et un second axe orienté "**physique solaire**" exploitant à terme des observations à haute résolution spatiale, spectrale, temporelle ou polarimétrique. Le futur télescope solaire européen EST serait clairement le support de ce second axe. Il l'est moins clairement du premier, dans la mesure où le champ nécessaire à la reconstruction magnétique au-dessus d'une région active doit rester assez grand. Ce télescope de 4m étant muni d'une optique adaptative multiconjuguée, cette condition ne sera vraisemblablement remplie que dans l'infrarouge proche où l'effet Zeeman est aussi plus sensible, mais pas dans le visible. Ce télescope sera un grand collecteur de lumière équipé d'un spectrographe de puissance 300,000. Cela en fera un instrument également apte à la physique stellaire avec une puissance de spectrographe encore jamais réalisée dans ce domaine, et nous en avons des perspectives d'exploitation.

#### E4.1.1 Cartographie magnétique des régions actives : éruptions et éjections de matière coronale

L'objectif des travaux orientés "météorologie de l'espace" est la modernisation de la prévision des éruptions et éjections de matière solaire, pour que cette prévision se fasse à partir de séries temporelles de cartes, extrapolées spatialement et temporellement par des simulations "data-driven". Notre équipe réunit des compétences sur ces deux points: cartographie, et simulations "data-driven". Notre projet est donc de coupler ces compétences. La méthode de cartographie ayant été mise au point sur THEMIS (Bommier et al. 2007 et article soumis à A&A), est directement applicable aux données de HINODE/SOT/SP (puis à plus long terme à celles de SOLAR C), qui cartographie les régions actives toutes les 1 à 2 heures environ. Ainsi, nous avons le projet de réaliser des simulations numériques complètes d'événements éruptifs à partir de nos reconstructions 3D du champ magnétique (utilisées comme conditions initiales) et des séries temporelles de cartes du champ magnétique et de la vitesse du plasma solaire (utilisées comme conditions aux limites) avec le code OHM développé par G. Aulanier. Notre projet inclut la publication de ces séries de cartes et d'extrapolations au centre de données MEDOC. Par ailleurs nous allons réaliser une version de notre code d'inversion UNNOFIT pour les données de niveau 1 de HMI (de SDO), sur lesquelles nous avons déjà fait un premier essai concluant. Avec HMI, l'intervalle de temps entre les cartes est de 10mn. L'expérience PHI prévue sur SOLAR ORBITER est très semblable à HMI (même raie spectrale, même système de 6 filtres), et nous pourrions donc passer aisément de l'un à l'autre. La simulation s'appuiera également sur les images en UV qui montrent les structures dans la couronne. Tous ces satellites sont également équipés d'imageurs UV (il est à noter que nous avons à l'heure actuelle un statut de Co-I scientifique sur l'expérience EUI de Solar Orbiter).

L'étude de l'évolution des structures 3D reconstruites s'appuiera certainement utilement sur leur hélicité magnétique, la quantité globale caractérisant la torsion, le cisaillement et l'enlacement des lignes de champs dans l'atmosphère solaire. Pour déterminer cette quantité, nous pourrions utiliser l'une des deux méthodes que nous avons mises au point. La première consiste à mesurer le flux d'hélicité au niveau de la photosphère et à cartographier sa distribution (*ACL673*, *ACL1132*, *ACL1231*), à partir de séries temporelles de magnétogrammes. La seconde consiste à calculer l'hélicité complète de structures magnétiques 3D. On peut appliquer cette méthode aux simulations numériques aussi bien qu'aux extrapolations/reconstructions 3D réalisées à partir de cartographie (*ACL099*). Ces méthodes sont au cœur de la thèse de Kevin Dalmasse (soutenance en 2014). L'objectif serait de faire de l'hélicité un paramètre pour la prévision.

#### **E4.1.2 Mesures à haute résolution du champ magnétique du soleil calme et du champ magnétique des étoiles**

En ce qui concerne les observations à haute résolution qui pourraient être faites avec EST, nous serons très intéressés à confirmer, grâce à un plus grand flux de photons, les résultats obtenus avec THEMIS sur le champ magnétique du Soleil calme (*ACL137*). Egalement, il serait fondamentalement intéressant d'observer (mesurer ?)  $divB$  à haute résolution spatiale, car les observations de THEMIS et d'autres instruments posent des problèmes à ce sujet (Bommier, soumis à A&A). D'autre part, nous avons commencé des observations de physique stellaire avec THEMIS, en particulier sur l'abondance de l'oxygène qui pose des problèmes de désaccord des valeurs tirées de raies différentes sur le Soleil mais pas dans les géantes de type K que nous avons observées. Nous envisageons d'étudier l'abondance solaire et stellaire du Li et Si. Grâce à la haute résolution spectrale, le champ magnétique stellaire devrait être accessible par effet Zeeman-Doppler dans une seule raie. Avec son miroir de 4m, EST nous permettra d'observer beaucoup plus d'étoiles.

#### **E4.1.3 Champs de vitesse à la surface solaire, granulation et circulation méridienne**

Nous effectuons avec les satellites SDO et HINODE (qui seront suivis par SOLAR ORBITER et SOLAR C) des observations de la photosphère solaire à haute résolution spatiale dans le but de reconstituer les champs de vitesse horizontaux par mesure des déplacements granulaires, et même le vecteur vitesse en y ajoutant la mesure du champ de vitesse vertical par effet Doppler. De nombreuses études sont actuellement en cours ou en projet à partir de ces jeux de données : analyse de la rotation différentielle du Soleil, étude des événements acoustiques et de la propagation des ondes au travers de l'atmosphère, spectres en énergie de la granulation, fragmentation arborescente de la granulation (collaboration avec l'IRAP). Nous allons ajouter la polarisation à nos mesures avec HINODE, pour coupler nos résultats au champ magnétique. Les premières observations PICARD/SODISM du Soleil entier sont très prometteuses et montrent aussi un lien entre les champs de vitesse horizontaux et la super-granulation qui est la structuration du réseau magnétique. Nous allons faire des campagnes de ces mesures. Enfin, après notre mesure récente de la rotation différentielle (Roudier et al., 2012), nous espérons pouvoir mesurer la circulation méridienne et ses variations cycliques, qui pourraient notamment expliquer l'anomalie du cycle 23.

#### **E4.1.4 Structures coronales**

En ce qui concerne les observations à haute résolution spatiale en radio de la couronne solaire calme, obtenues au radiohéliographe de Nançay (*ACL067*), nous poursuivrons la modélisation que nous avons commencée pour remonter à la structure en température et densité, à partir du rayonnement observé qui est formé par émission free-free thermique (Chambe 1978). Nous avons obtenu un bon accord pour les observations pour le soleil moyen et les trous coronaux, mais pas encore pour les structures brillantes. Nous envisageons de raffiner la modélisation avec des données magnétiques plus détaillées. Des désaccords sur la température coronale que nous mesurons par différents moyens, subsistent.

#### **E4.1.5 Imagerie solaire**

En ce qui concerne la qualité des images solaires, nous avons développé au pôle solaire un formalisme permettant de généraliser le calcul des corrélations angulaires à toute grandeur liée à la phase (*ACL265*). Ce formalisme original permet actuellement d'intégrer dans le même modèle analytique les différents paramètres entrant dans la description de la turbulence atmosphérique terrestre, qu'il s'agisse de la nature de la propagation de l'onde générée, de l'étendue du champ observé, de l'effet d'échelle de la turbulence ou de l'analyse des performances d'un système d'optique adaptative. L'analyse modale des surfaces d'onde (par exemple la projection modale de la phase sur la base des polynômes de Zernike) est un outil indispensable pour la détermination des performances des très grands télescopes dédiés à la spectropolarimétrie (*ACL071*). Nous envisageons de généraliser ce formalisme à l'étude de l'Optique Adaptative Multi-Conjuguée et à l'étude de la scintillation.

### **E4.2 Phénomènes éruptifs et accélération de particules**

#### **E4.2.1 Reconnexion magnétique & éruptions solaires (flares) ; Instabilités MHD & éjections de masse coronale (CMEs) ; Hélicité magnétique**

L'activité solaire sera à son maximum en 2013/2014, la période 2014-2018 sera donc particulièrement propice à l'étude des phénomènes et mécanismes s'étant déroulés autour du pic

d'activité. Nos recherches seront nourries par les multiples événements qui seront observés. Nous poursuivrons nos efforts pour analyser les données obtenues avec les instruments spatiaux (SDO/AIA, SoHO, TRACE, RHESSI, STEREO, Hinode) sur lesquels nous avons pour certains un statut de Co-I. Nous nous intéresserons en particulier à la dynamique des éruptions, des éjections de masse coronales et des jets et étudierons particulièrement les critères d'éruptivité basés sur nos recherches actuelles : cisaillement des boucles coronales (Post-Doc M. Janvier) et quantité d'hélicité magnétique stockée (Thèse de K. Dalmasse). Les émissions observées dans les différents domaines du spectre électromagnétique seront reliées aux résultats des simulations numériques que nous développons.

Nos expérimentations numériques visent à comprendre les mécanismes physiques impliqués dans les divers phénomènes d'activité solaire tout en restant aussi proche des observations que possible, et ceci essentiellement via la modélisation dans le cadre de l'approximation magnétohydrodynamique (MHD). Afin d'étendre notre domaine de compétence, nous développerons nos simulations en incorporant des mécanismes physiques de plus en plus divers et en couplant de plus en plus, petites et grandes échelles. Nous souhaitons ainsi étudier des effets multi-échelles tels que la formation des nappes de courant électrique amenant à l'accélération de particules énergétiques, ainsi que le couplage entre stockage d'énergie, reconnexion magnétique et éjections de matière. Nous souhaitons mieux comprendre les effets tri-dimensionnels de la reconnexion magnétique ainsi que la physique des zones frontières (e.g. intérieur/atmosphère solaire, chromosphère/région de transition/couronne, couronne/vent solaire).

Pour cela, nous allons d'une part inclure les termes Hall dans le code MHD 3D « OHM » développé par G. Aulanier afin de traiter plus proprement les mécanismes se développant au seuil bas des échelles spatiales MHD et de mieux simuler la reconnexion magnétique à ces échelles. Ce code, particulièrement versatile, nous permettra aussi de produire des simulations « data-driven », incorporant des données d'observations directement comme conditions initiales et aux frontières (Masson et al. 2009). Nous pourrions ainsi étudier plus directement les événements observés que nos simulations tentent de reproduire. Nous poursuivrons d'autre part, l'exploitation du code ARMS, (code parallèle MHD à maillage adaptatif) sur les systèmes de calcul de haute performance français (CINES, IDRIS) et nous développerons son utilisation pour modéliser l'ensemble de la couronne solaire et son interface avec l'héliosphère. Nous y incluons en particulier un modèle plus réaliste de vent solaire (Masson et al. 2012) et utiliserons des équations d'énergie plus complète faisant intervenir la conduction thermique.

En partenariat avec nos collègues français et internationaux nous utiliserons de nouveaux outils de simulations, tel qu'un code en MHD réduite (post-doc M. Janvier) adapté à l'étude à petite échelle de la reconnexion magnétique et de la turbulence MHD, ainsi qu'un code Particle-In-Cell (PIC) permettant d'étudier les effets particuliers (par exemple accélération de particules). Nous développerons aussi des méthodes pour coupler nos codes MHD avec un code dynamo développé au CEA/AIM (Brun et al. 2004) afin de mieux comprendre les interfaces intérieur solaire/atmosphère (émergence de flux,...).

Tous ces développements seront accompagnés de l'amélioration de routines d'analyse et de visualisation, outils fondamentalement nécessaires à l'exploitation scientifique des simulations.

#### **E4.2.2 Accélération de particules et libération d'énergie magnétique dans l'atmosphère solaire**

Nous menons depuis de nombreuses années des recherches multi-instruments des particules accélérées au Soleil : analyse des rayonnements radio et X des électrons dans l'atmosphère solaire, observations des ions en rayons gamma, puis observations sub-millimétriques (diagnostics des électrons ou d'ions relativistes), et combinaison avec des mesures *in situ* des particules depuis des satellites et des moniteurs à neutrons.

L'objectif scientifique est de progresser vers une compréhension globale des processus d'accélération et de transport des particules solaires et du rôle qu'elles jouent dans le dépôt d'énergie dans l'atmosphère solaire. Un des objectifs est à court terme de poursuivre l'exploitation de l'expérience NASA RHESSI de spectro-imagerie X/ $\gamma$  des éruptions solaires (Co-I). Cette exploitation sera faite en liaison avec les diagnostics radio (RH Nançay, spectres radio obtenus au sol ou embarqués, optiques (configurations magnétiques et extrapolations MHD ; éjection de masse coronale observées par les coronographes), UV (observations SOHO, Hinode, SDO). L'objectif est également

de contribuer au développement de modèles d'accélération et de propagation des particules. Ce travail sera mené dans un premier temps dans le cadre de deux contrats européens (FP7/SPACE) autour de la physique solaire à haute énergie (HESPE) et des événements à protons dans le milieu interplanétaire (SEPServer).

Les objectifs principaux sont:

- 1- la détermination à partir de l'ensemble des diagnostics observationnels (X/γ, radio, optique) des caractéristiques des électrons et ions accélérés lors des éruptions solaires et en interaction avec l'atmosphère solaire ;
- 2- la caractérisation des configurations magnétiques complexes (observations optiques, UV, mesures du champ magnétique et extrapolations) associées à l'accélération de particules de haute énergie afin de confronter les observations aux modèles d'accélération et d'éruptions ;
- 3- l'étude du dépôt d'énergie dans la chromosphère et la région de transition dû à l'impact des particules accélérées (observations conjointes X/γ, optiques, UV, à plus long terme IR) ;
- 4- l'étude du lien entre les particules énergétiques interagissant dans l'atmosphère solaire et les particules injectées dans l'espace interplanétaire.

En ce qui concerne les travaux de modélisation, le but ultime est d'arriver à coupler les modélisations MHD des structures magnétiques coronales (mise en évidence de couches de courant, de séparatrices et quasi-séparatrices...) et les simulations d'accélération de particules. C'est un projet de longue durée qui pourra être mené dans le cadre du pôle solaire en combinant nos diverses expertises (voir section précédente).

La recherche dans cette thématique est également liée à notre implication dans l'expérience STIX (Solar Telescope for Imaging X-rays) sur Solar Orbiter (Co-I et participation au segment sol). A long terme, la préparation de l'exploitation de Solar Orbiter nous amènera à développer des collaborations proches avec d'une part les chercheurs du pôle Plasmas (expérience radio à bord de Solar Orbiter) et d'autre part avec les chercheurs de physique solaire à l'IAS (expériences EUV et mesures de champ magnétique) et à AIM (où une partie des détecteurs de STIX est réalisée). L'exploitation des données des éruptions X se fera par ailleurs en liaison avec les instruments radio au sol de la station de Nançay. Nous poursuivrons également nos réflexions sur la possibilité de réaliser des observations avec le radiohéliographe de Nançay à plus haute fréquence (610 MHz) et sur la possibilité de réalisation au niveau européen d'un nouveau radiohéliographe en ondes décimétriques, permettant d'accéder aux régions d'accélération des électrons dans l'atmosphère solaire.

Nous poursuivrons par ailleurs l'exploitation des observations sub-millimétriques (collaboration Univ. Mac Kenzie, Sao Paulo, télescope submillimétrique SST) et nous souhaitons pouvoir poursuivre le développement de l'instrumentation en infrarouge lointain. Ce domaine du spectre est un diagnostic non exploité des électrons et positrons relativistes et de la réponse de la chromosphère au dépôt d'énergie libérée lors des éruptions. C'est une approche nouvelle vers les processus de très haute énergie. Le concept de l'instrument DESIR qui vise la détection des éruptions dans l'infrarouge lointain a été développé pour le micro-satellite franco-chinois SMESE qui n'a pas vu le jour. Il garde cependant tout son intérêt pour la recherche dans les années à venir. Au cours de ce projet l'équipe technique et scientifique au LESIA a acquis une expertise unique de développement dans la technologie IR lointain pour des détecteurs non refroidis qui est sollicitée par des collègues étrangers lors de propositions de concepts nouveaux d'instrumentation spatiale (par exemple proposition de mission M3 SPARK). Nous souhaitons utiliser ce savoir-faire pour avancer vers le développement et le test, par exemple par vol ballon de courte durée, d'un instrument spatialisable au 25<sup>ème</sup> cycle d'activité.

## E5 Pôle Planétologie

Les objectifs scientifiques du pôle planétologie pour la période 2014-2018, se regroupent autour de trois grandes thématiques

1. L'étude des petits corps du Système solaire, astéroïdes, comètes et objets trans-neptuniens. En tant que témoins primitifs restés intacts pour une grande partie d'entre eux depuis la formation du Système solaire, ils nous donnent des informations sur le mélange chimique à partir duquel les planètes se sont formées, il y a 4,6 milliards d'années. L'étude de leur nature physique, de leur distribution, de leur formation et évolution est donc fondamentale pour comprendre comment les planètes se sont formées et en définitive comment la vie est apparue sur Terre.
2. L'étude des surfaces et atmosphères planétaires vise à comprendre comment fonctionne globalement un *système planète*, quelles sont les dynamiques propres des surfaces et des atmosphères, mais aussi quelles sont leurs interactions et sur quelles échelles de temps se produisent ses interactions.
3. Enfin, le pôle participe pleinement à la thématique transverse exoplanète qui vise à détecter, caractériser et étudier les atmosphères des exoplanètes dans leur diversité pour mieux appréhender le fonctionnement des fluides géophysiques et l'origine des systèmes planétaires.

### E5.1 Atmosphères et noyaux cométaires.

Notre équipe est fortement impliquée dans la mission Rosetta et fait partie (CoIs) des équipes scientifiques des instruments OSIRIS, VIRTIS et MIRO. Sur la période 2014-2018, une grande partie de l'activité de recherche sera dédiée à l'analyse, à l'interprétation, et à la modélisation des données du noyau et de la coma de la comète 67P Churyumov-Gerasimenko. Rosetta permettra une étude unique de la structure interne du noyau de la comète, l'analyse de la nature et de la composition minéralogique, chimique et isotopique, notamment de sa composante organique et de l'interaction du noyau avec le vent et la pression de radiation solaire.

Nous participerons à la sélection du site d'atterrissage de l'atterrisseur Philae, à la détermination de la forme et de la structure du noyau, de ses propriétés rotationnelles, à l'étude du champ de pesanteur et de la topographie superficielle. Nous produirons grâce aux observations de l'instrument VIRTIS des cartes de température, de couleurs et de composition superficielle, qui permettront de contraindre/comprendre la minéralogie du noyau et ses propriétés thermophysiques (la porosité du régolite, l'inertie thermique, l'émissivité, la taille des grains...). Les mesures seront couplées à celles du radiomètre MIRO qui permettent de sonder le noyau à quelques centimètres sous la surface.

Au fur et à mesure que la comète s'approchera du Soleil, les observations multi-longueur d'onde de Rosetta permettront d'étudier la structure du noyau, les processus d'érosion dans les régions actives, les hétérogénéités éventuelles, de déterminer le taux de perte de masse du noyau et les forces non-gravitationnelles. Les observations spectroscopiques de la coma permettront de mesurer ses propriétés (composition, cinématique, thermodynamique...) et d'étudier les processus contrôlant la sublimation des glaces à la surface du noyau et la formation de la coma interne.

Le domaine radio s'est avéré un outil privilégié pour l'étude des comètes, notamment pour la caractérisation de la composition isotopique et moléculaire de leur atmosphère, l'étude du développement de leur activité, et la mesure des propriétés thermiques du noyau. Grâce à la grande sensibilité d'ALMA, il sera possible d'observer des comètes moins brillantes, de rechercher des espèces moléculaires plus rares, et d'observer de nouvelles espèces isotopiques. Ainsi, une partie de l'activité du LESIA de 2014-2018 portera sur la caractérisation des propriétés chimiques des comètes à courte période originaires de la ceinture de Kuiper à partir d'ALMA, afin d'améliorer notre connaissance statistique de cette population. Les observations seront couplées à des observations dans l'infrarouge (VLT, Keck), qui permettent d'accéder à d'autres espèces moléculaires. Les enjeux sont importants: les données radio et IR montrent que les comètes du nuage de Oort et de la ceinture de Kuiper présentent une grande diversité de composition. Un échantillon plus grand est nécessaire pour établir une taxinomie des comètes, mettre en évidence des différences entre les deux populations, et fournir des contraintes observationnelles aux modèles chimiques et dynamiques du Système solaire primitif. Les comètes du nuage de Oort seront la cible de programmes dédiés à la mesure de rapports isotopiques et à la recherche de nouvelles molécules. Ces mesures, couplées à une meilleure connaissance observationnelle et théorique de la chimie des disques protoplanétaires, permettront de

faire progresser notre compréhension de la formation planétaire. Grâce à la haute résolution angulaire d'ALMA, il sera également possible de cartographier la distribution spatiale de nombreux composés, ainsi que celle de la poussière, et d'étudier l'hétérogénéité de composition des noyaux cométaires. Selon les cibles, certains de ces projets d'observation pourront être conduits avec les télescopes de l'IRAM. En parallèle, nous poursuivrons nos observations systématiques de comètes avec le radiotélescope de Nançay, qui permettent le suivi temporel de l'activité des comètes et la mesure de la production en eau.

Nos observations de la comète 8P/Tuttle avec l'interféromètre du Plateau de Bure ont permis la première mesure de l'inertie thermique et de l'émissivité d'un noyau cométaire à partir d'observations millimétriques. ALMA ouvre la voie à des études plus systématiques. Les observations permettront une mesure précise de leur taille, complétant ainsi notre connaissance de la distribution en taille de ces objets. Soulignons que dans le domaine des longueurs d'onde couvertes par ALMA, les mesures de taille y sont environ trois fois plus précises que dans le domaine infrarouge thermique car l'interprétation des observations est peu dépendante du modèle thermique utilisé. Combinée à des observations visibles, nous pourrions également déterminer l'albédo des objets observés. Une cible de choix en 2015 pour ALMA sera la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, cible de la mission Rosetta.

### **E5.2 Astéroïdes et objets trans-neptuniens (OTNs)**

L'activité principale des prochaines années dans le domaine des petits corps sera consacrée à l'étude des astéroïdes des types primitifs C, B, F, P et D dans la population de géo-croiseurs, dans la ceinture principale extérieure, et dans la famille de Thémis, afin de contraindre la composition de ces objets, de rechercher des signatures dues à la glace d'eau et/ou à l'altération aqueuse des matériaux et d'établir des liens entre les météorites et leurs corps parents. Nous étudierons en particulier le processus d'altération aqueuse, qui implique la présence d'eau à l'état liquide dans le passé sur la surface de ces objets. Ce processus donne des contraintes fortes sur les conditions thermiques initiales et sur la composition des astéroïdes.

Un point fort de notre activité de prospective est lié à l'étude de géo-croiseurs à plusieurs niveaux, à partir des observations au sol et de l'espace. L'équipe est fortement impliquée dans la mission MarcoPolo-R, actuellement en phase d'étude de faisabilité dans le cadre du programme Cosmic Vision (M3) de l'ESA, dont le PI (M.A. Barucci) est au LESIA. Marco Polo-R est une mission de retour d'échantillons d'un astéroïde géo-croiseur primitif, qui contribuera à une meilleure compréhension de l'origine et de l'évolution du Système solaire et notamment de l'apparition de la vie sur Terre à partir des éléments organiques récupérés. Le LESIA est fortement impliqué au niveau instrumentation dans la préparation de cette mission, et propose notamment la fourniture du spectro-imageur dans le domaine visible et infrarouge proche. Notre équipe est également impliquée dans les missions de retour d'échantillons OSIRIS-REX (NASA) et HAYABUSA 2 (JAXA). Des observations au sol avec le VLT-XSHOOTER et les télescopes NTT/TNG seront effectuées en support de ces missions.

Dans le cadre de l'étude des géo-croiseurs, l'équipe fait partie du consortium international NEO-Shield (Programme européen PC7) dont le but est de développer les techniques les plus probantes qui permettraient d'éviter ou de limiter les effets d'un impact entre un astéroïde et la Terre. Notre rôle consiste ici à analyser et à contraindre les propriétés physiques des astéroïdes potentiellement dangereux à partir d'observations (sol et espace) afin de définir au mieux, par le biais d'expériences en laboratoire et de simulations numériques, les effets relatifs aux techniques suggérées.

Les scénarios exobiologiques courants pour l'origine de la vie invoquent une origine exogène de matière organique à la Terre primitive. Par ailleurs, les collisions de géo-croiseurs 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. L'ensemble des missions et projets dans lesquels le laboratoire est impliqué nous fourniront des indices sur le mélange chimique à partir duquel les planètes se sont formées il y a 4,6 milliards d'ans. Le retour d'échantillons nous permettra une analyse complète dans les laboratoires, en obtenant de ce fait des mesures qui ne peuvent pas encore être effectuées *in situ* par une sonde spatiale. Ces missions nous permettront alors de : 1) Déterminer les propriétés physiques et chimiques de différents petits corps afin de caractériser une partie des planétésimaux présents dans la nébuleuse solaire primitive. 2) Identifier les processus physiques dominants qui ont influencé l'histoire de ces astéroïdes. 3) Déterminer le contexte géologique de leur

surface. 4) Découvrir des matériaux pré-solaire encore inconnus dans les météorites collectées sur Terre. 5) Étudier la nature et l'origine des composés organiques des astéroïdes, 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.

L'étude des objets trans-neptuniens se poursuivra sur les expertises d'excellence du laboratoire : occultations, observations combinées en millimétrique et infrarouge. Ainsi nous exploiterons l'expertise acquise en photométrie rapide et en astrométrie haute précision pour observer des occultations stellaires par de gros OTNs de manière systématique. Plusieurs centaines d'événements sont prévus chaque année, dont nous tirons une vingtaine de campagnes par an pour notre groupe, sachant que la liste des occultations prévues est accessible publiquement à tout observateur intéressé dans le monde. Nous souhaitons sur la période 2014-2018 déterminer les tailles et formes d'une dizaine de planètes naines et de gros OTNs avec des précisions kilométriques. Ceci permettra d'obtenir des précisions inégalées sur les albédos et densités de ces corps, deux paramètres physiques fondamentaux pour mieux connaître les propriétés de surface et la structure interne des OTNs. Les occultations apportent également une précision inégalée sur les paramètres orbitaux des satellites d'OTNs.

Ce travail s'effectuera en synergie avec des observations infrarouge et millimétrique des OTNs. Nous sommes fortement impliqués dans l'observation des OTNs avec HERSCHEL (dont 130 sur le programme-clé *TNOs are cool*). Le programme Herschel aura pour but la caractérisation de la taille et de l'albédo des Objets Trans-neptuniens et se poursuivra ensuite avec des observations ALMA. Nous continuerons également l'étude des plus gros Centaures et OTNs avec de nouvelles observations au VLT par polarimétrie et par spectroscopie (avec l'instrument XSHOOTER au VLT) afin de mieux comprendre leur propriétés de surface et leur liens avec les autres populations d'objets. Les valeurs d'albédo déterminées par HERSCHEL nous permettront aussi d'améliorer l'interprétation des spectres déjà obtenus et de mieux contraindre la composition de surface avec les modèles de Hapke et de Shkuratov.

En parallèle, nous continuerons d'explorer les petits OTNs par la méthode des occultations aléatoires avec l'instrument Miosotys. Nous explorons aussi la possibilité d'installer la technologie de photomètre à fibres sur d'autres instruments. L'analyse des données de photométrie rapide de haute précision du satellite Kepler permettra, au-delà du disque de Kuiper, de chercher à détecter des comètes du nuage de Oort de quelques kilomètres.

Nous poursuivrons nos études sur les atmosphères des OTNs par occultation ou par spectroscopie infrarouge et millimétrique. Concernant Pluton, deux objectifs sont identifiés et ont déjà fait l'objet de demande de temps d'observation, respectivement sur le VLT et sur ALMA. Il s'agira d'une part de rechercher des variations longitudinales de l'abondance du méthane. La présence de zones recouvertes de glace de méthane quasi-pur à la surface fournit des sources locales de méthane pour l'atmosphère, et la question est de savoir si celles-ci peuvent maintenir une distribution horizontale non-uniforme, ou si l'atmosphère est homogénéisée par la circulation globale. Un projet a été approuvé sur VLT/CRIFES, et les données seront interprétées à l'aide du modèle de circulation générale de Pluton actuellement développé au LMD. Avec ALMA, nous chercherons à confirmer la détection probable de CO obtenue au VLT, améliorer la mesure du CO atmosphérique, et rechercher d'autres espèces encore inobservées mais attendues compte tenu de la chimie couplée azote-méthane dans cette atmosphère (HCN, HC<sub>3</sub>N). Les mêmes objectifs seront développés dans le cas de Triton (objet trans-neptunien capturé par Neptune) qui possède une atmosphère physiquement très semblable à celle de Pluton. Une demande de temps pour observer simultanément Triton et Neptune sera déposée sur ALMA (voir aussi partie planètes géantes).

Ces études spectroscopiques des atmosphères de Pluton et Triton se feront en conjonction avec de nouvelles observations d'occultations stellaires, qui permettent de suivre l'évolution temporelle de la pression atmosphérique sous l'effet des variations saisonnières avant survol de la planète naine par la mission NASA New Horizons (juillet 2015). Enfin elles pourront être étendues à d'autres objets trans-neptuniens (par exemple Quaoar, Makemake), également observés par occultation, et dont on pense qu'ils aient pu retenir des glaces volatiles en surface et développer une atmosphère ténue. En effet seules les occultations stellaires permettront de détecter des atmosphères de quelques nanobars autour de certains de ces corps.

### *E5.3 Interface surface-exosphère de Mercure en support de la mission Bepi Colombo*

Cette thématique est portée par le co-PIship LESIA de l'instrument VIHI (spectro-imageur visible-infrarouge pour la minéralogie de surface) et co-Iship LESIA de l'instrument PHEBUS (spectromètre UV pour l'observation de l'exosphère), tous deux instruments de la mission spatiale européenne BepiColombo. Mercure est la plus petite des planètes telluriques, et représente donc, avec la Lune, une situation extrême ("endmember") dans le processus de formation planétaire. Mercure est la cible de deux missions planétaires majeures en cours ou en projet : Messenger (NASA, lancée en août 2004) et BepiColombo (ESA, lancement prévu en 2015). Ce programme couvre l'étude des deux aspects : surface et exosphère de Mercure, tous deux d'ailleurs en très étroite interaction, en préparation de la mission Bepi Colombo.

La surface de Mercure paraît remarquablement uniforme et dépourvue de signatures spectrales marquées. Elle s'apparente globalement aux highland lunaires, avec une composition dominée par les plagioclases, mais une très faible teneur en fer. Cette information est cruciale pour la compréhension de l'histoire géologique de la planète, qui semble notablement différente de celle de la Lune. Suite à nos observations qui ont déterminé une abondance de 0,5% enFeO, nous proposons de nouvelles mesures dans le proche infrarouge (0,8-2,0  $\mu\text{m}$ ), afin de distinguer les variations minéralogiques et les effets de maturation. La résolution spatiale attendue est de l'ordre de 500 km, ce qui permettra de distinguer d'éventuelles unités de compositions différentes.

Le spectromètre Phebus sur BepiColombo (PI E. Quemerais, LATMOS) a pour principal objectif la mesure de l'exosphère de Mercure. D'ici l'arrivée de cette mission en 2022, notre seule source d'information est l'observation depuis la terre. En fait, un grand nombre de telles observations de l'exosphère a mis en évidence les différents mécanismes à l'origine de cette exosphère, sa grande variabilité sur des courtes et longues échelles temporelles et sa grande inhomogénéité spatiale. Toutes ces informations montrent à quel point notre ignorance actuelle de Mercure pourrait être partiellement réduite grâce à de multiples et diverses observations de celle-ci. Nous menons une campagne d'observations intensive avec THEMIS et le CFHT et voulons poursuivre cet effort sur d'autres télescopes, et en collaboration avec des chercheurs du service d'aéronomie de Jussieu, de l'Observatoire de Padoue, de l'Université de Boston et de l'université de Tohoku au Japon.

Enfin, une partie de l'instrument VIHI a été fabriqué et étalonné au LESIA. Les années 2014-2018 verront une activité intense dans les étalonnages en vol de l'instrument, ainsi que dans la définition des séquences d'observation.

### *E5.4 Mars et Vénus*

Le LESIA est impliqué dans le programme ExoMars de l'ESA, aussi bien sur l'orbiteur (2016) que sur l'atterrisseur (2018). Sur l'orbiteur, dont les objectifs sont toujours d'identifier les sources et les puits des gaz traces dans l'atmosphère martienne, nous participons scientifiquement et techniquement au spectromètre russe ACS (responsable. O. Korabiev IKI) qui vise à cartographier les gaz traces, spatialement et temporellement, et à fournir les données contextuelles de climatologie. Nous sommes également impliqués dans le projet CNES d'assimilation de ces données contextuelles qui visera à produire des réanalyses de la météorologie martienne, et permettra de remonter aux sources et puits des gaz traces pour en comprendre l'origine, atmosphérique, géologique ou biologique.

Sur l'atterrisseur nous participons à l'expérience MicrOmega (responsable : J.-P. Bibring, IAS) qui comprend un ensemble d'instruments dédiés à la recherche de vie passée ou présente, et à la caractérisation de l'environnement géochimique et en eau de la sub-surface. L'instrument MicrOmega est un microscope imageur hyper-spectral qui analysera des échantillons de la sub-surface de Mars pour en déterminer la structure, la morphologie et la composition à l'échelle des grains. Le LESIA fournira la carte électronique de l'instrument et caractérisera le détecteur avant livraison. Après le début des opérations à la surface de Mars en 2018, le LESIA participera au traitement et à l'analyse scientifique des données.

En parallèle, le LESIA poursuivra ses programmes d'observation sol et ce sur une vaste gamme de longueurs d'onde. Nous poursuivrons la cartographie et la surveillance des variations saisonnières de  $\text{H}_2\text{O}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  avec TEXES sur l'IRTF, EXES sur l'avion stratosphérique SOFIA, mais également Herschel, l'IRAM et ALMA. En effet, avec le vieillissement des sondes spatiales actuelles et la fin

proche de leur mission, seules les observatoires terrestres permettront d'assurer la continuité de la surveillance de la climatologie martienne entre la génération Mars Express et la mission ExoMars.

Dans le prolongement de la mission Venus Express, et de la coordination des mesures sol qui est conduite au LESIA, nous projetons une approche intégrée pour la chimie et la dynamique basée sur l'exploitation des archives VIRTIS, VMC et SPICAV/SOIR, et l'acquisition de données nouvelles depuis le sol (TEXES/IRTF, EXES/SOFIA, ALMA dont un programme en cycle 0), lors des aspects favorables (élongations de 3-2014, 6/10-2015, 1/6-2017). L'objectif est la poursuite de la caractérisation des échelles de variation spatiale et temporelle des vents, et le couplage avec la distribution des traceurs chimiques minoritaires dans la troposphère et la mésosphère. Les données sont systématiquement comparées aux prédictions des modèles tridimensionnels (LMD, Imperial College). L'étude entre dans le cadre de la proposition ANR-FCT France-Portugal V-WINDS soumise en mars 2012 pour la période 1-2013/ 12-2015.

### *E5.5 Planètes géantes*

Nous allons poursuivre notre programme d'observation des atmosphères superficielles des planètes géantes afin de mieux en contraindre la dynamique et la chimie. Ce programme d'observation regroupe des participations aux missions spatiales Juno, Juice et Cassini et des campagnes d'observations sol. A ce programme d'observation s'ajoute une implication dans le développement d'un modèle de circulation général des planètes géantes en collaboration avec le LMD afin de mieux interpréter les observations obtenues.

La mission Juno de la NASA a été lancée le 5 Août 2011 et atteindra Jupiter en Juillet 2016 pour se mettre en orbite autour de Jupiter pendant une durée d'un an. Son objectif principal est de contraindre la structure interne en mesurant le rapport O/H et le champ gravimétrique de la planète. Le pôle Planétologie du LESIA a été invité à participer en tant que co-I scientifique à deux instruments, MRI et JIRAM, un radiomètre et un spectro-imageur infrarouge. Nous contribuerons à la mise en place d'un programme d'observations au sol du spectre radio de Jupiter en soutien à MRI, participerons aux travaux de modélisation du spectre radio (mesure du rapport O/H profond), et à la définition des séquences d'observation. Sur JIRAM, nous participerons à une étude systématique de la fenêtre à 5  $\mu\text{m}$  pour déterminer les distributions verticales troposphériques de  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{NH}_3$ , mais nous étudierons également la haute atmosphère en observant la fluorescence du méthane pour cartographier l'homopause, et les émissions de  $\text{H}_3^+$  pour cartographier dans l'ionosphère jovienne. Ces deux dernières mesures nous permettront de contraindre le spectre des ondes de gravité qui se propagent dans la haute atmosphère jovienne.

La mission JUICE a été acceptée par l'ESA en mai 2012, pour être lancée en 2022 et atteindre Jupiter en 2030. Le LESIA proposera un spectromètre à haute résolution spectrale ( $R \sim 10,000$  entre 2.6 et 4.75  $\mu\text{m}$ ) qui aura pour objectifs scientifiques d'étudier par occultations solaires et en observations nadir les atmosphères de Jupiter et des satellites galiléens. Nous nous intéresserons à la photochimie et à l'origine de l'oxygène dans l'atmosphère de Jupiter, et aux dynamiques si particulières des atmosphères ténues des satellites galiléens.

Sur Saturne, les observations Cassini/CIRS se poursuivront jusqu'en 2017 au moment du solstice de l'hémisphère nord. Elles nous permettront de suivre l'évolution saisonnière de la structure thermique et des champs d'abondance des hydrocarbures afin de suivre les modifications de la circulation générale. Nous étudierons également l'évolution de l'oscillation équatoriale et de l'accélération des courants-jets associés. Ce programme d'observation s'accompagnera du développement d'un modèle de circulation général de la stratosphère de Saturne dont l'objectif est de reproduire les observations Cassini afin de valider notre compréhension des mécanismes qui gouvernent la dynamique kronienne. Nous avons déposé un projet UPMC-Emergence pour financer un doctorant sur ce projet.

Enfin, un programme d'observation sol des planètes géantes est poursuivi, notamment avec ALMA, afin de mesurer directement les vents zonaux sur Saturne et Neptune et d'observer sur ces planètes le mélange des espèces traces d'origine externe ( $\text{CO}$  et  $\text{HCN}$ ). Dans le domaine centimétrique, l'interféromètre européen LOFAR donnera des informations sur la structure de l'enveloppe moléculaire des planètes géantes. Une proposition pour sonder l'atmosphère de profondeur de Saturne, et mesurer le rapport  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  interne par des mesures LOFAR est également à l'étude : en

cas de succès, un champ nouveau d'opportunités de sondage des atmosphères des planètes géantes s'ouvrirait.

### **E5.6 Titan**

Titan vit actuellement un changement de saison pour lequel les modèles de circulation générale prédisent d'importants changements de la dynamique globale avec le passage d'une seule cellule de circulation globale pôle à pôle pendant l'hiver/été à deux cellules de circulation ascendantes à l'équateur et descendantes aux pôles autour des équinoxes. La conjonction de la mission Cassini, prolongée jusqu'en 2017 (solstice d'été nord) et des capacités toujours croissantes d'ALMA fournissent une opportunité unique d'observer ces variations saisonnières.

Les instruments CIRS et VIMS, dans lesquels le LESIA est fortement impliqué, continueront d'acquérir de très nombreuses données. Depuis l'équinoxe de printemps nord, en août 2009, les distributions spatiales des composés atmosphériques que nous observons avec CIRS sont fortement modifiées par la mise en place du régime à deux cellules de circulation. Il est indispensable de continuer la cartographie des abondances des molécules et des aérosols avec CIRS afin de mieux caractériser les changements saisonniers liés à la dynamique et la chimie atmosphérique. Par ailleurs, une étude sur la contrainte de l'abondance de CH<sub>4</sub> avec les données CIRS et Herschel est en cours. Des mesures additionnelles de HNC et HCN obtenues en 2011 et 2012, permettront de mieux contraindre la distribution verticale de ces espèces dans la haute atmosphère de Titan. Des observations ALMA (dont un programme cycle 0) permettront de compléter la mesure des nitriles obtenue par CIRS dans la moyenne atmosphère jusqu'à des altitudes de 500-1000 km et de surveiller leurs variations saisonnières. Avec ALMA nous rechercherons aussi de nouvelles espèces et mesurons les vents zonaux. L'ensemble des observations CIRS et ALMA nous permettra de contraindre le transport vertical depuis les régions de production chimique (~ 1000 km) jusqu'à la basse atmosphère (~100-200 km).

Dans le cadre de l'ANR APOSTIC dont le LESIA est partenaire (post-doctorant 2012-2014), nous utiliserons les occultations solaires et stellaires réalisées par VIMS pour contraindre les profils verticaux des aérosols (évolutions spatiale et temporelle) avec une résolution verticale de l'ordre de 5 km jusqu'à 800 km d'altitude, et mieux contraindre leurs signatures spectrales entre 1 et 5 μm.

Enfin nous étudions la surface de Titan pour y rechercher des sites potentiels de cryovolcanisme. Pour cela, nous utilisons les données en spectro-imagerie de VIMS dans l'infrarouge proche, et des observations sol (VLT, CFHT, Keck). Ces études spectroscopiques de la surface de Titan bénéficient grandement de listes de raies du méthane obtenues dans le cadre de l'ANR CH<sub>4</sub>@Titan (PI : A. Coustenis), qui apportent une précision inégalée pour la modélisation du spectre dans la gamme 1.2-1.7 μm. Ces données en laboratoire seront étendues à d'autres gammes spectrales pour enfin fournir plus d'informations sur le cycle et le dégazage du méthane, dont la présence dans l'atmosphère reste toujours mystérieuse.

## 1.c Organigramme fonctionnel et règlement intérieur

Effectifs permanents chercheurs et Enseignants chercheurs au 30 juin 2012 : 72

Effectifs permanents ITA : 65

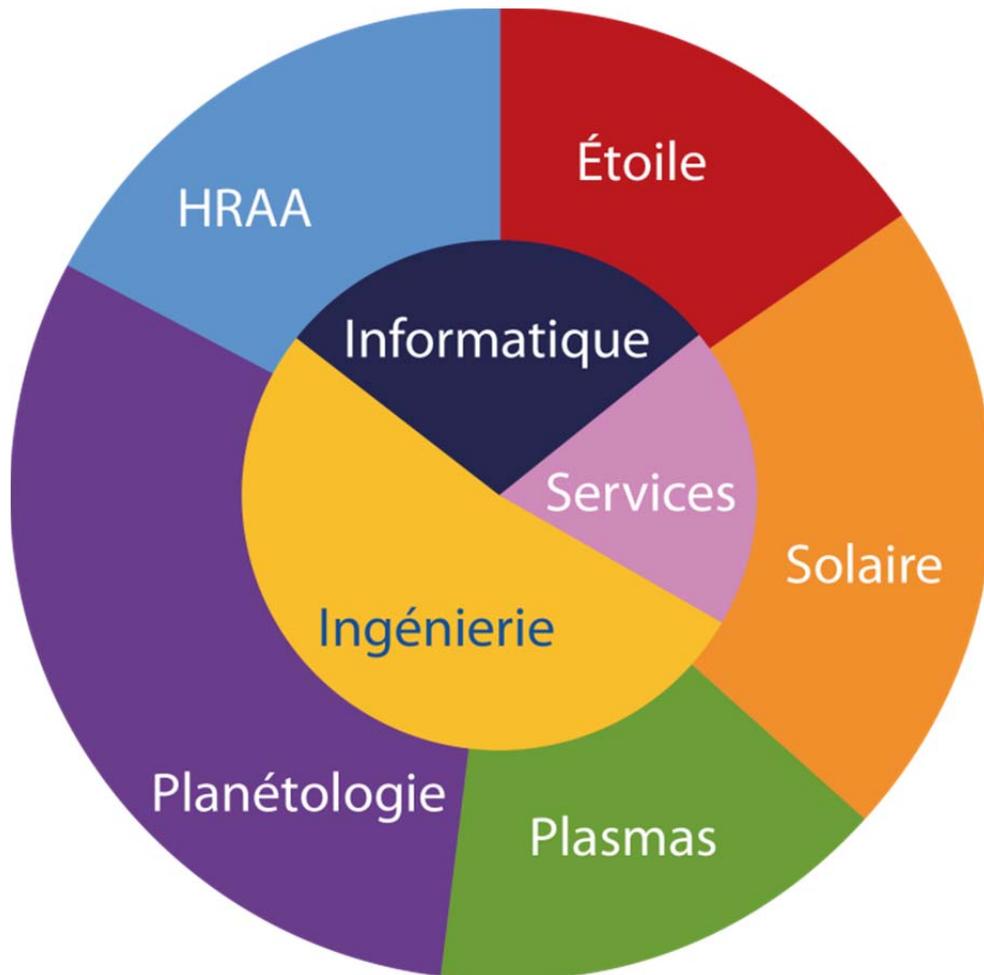
Post-docs : 13

Emerites ou autres statuts : 10

CDD : 14

Prestataires : 5

Doctorants : 27



# Organisation du LESIA en 2012

## Direction

**Directeur : Pierre Drossart**

Directeur Adjoint : Didier Tiphène

Directeur Adjoint : Carine Briand

Administratrice : Claudine Colon

*Direction élargie : + les coordinateurs de pôles*

## Conseil de Laboratoire

### Commissions:

- CHS
- Statuts
- Budget
- Informatique
- Communication
- Université/  
enseignement
- Etudiants
- Locaux
- Formation

## Pôles scientifiques

- **Planétologie**
- **Physique Solaire**
- **Etoile**
- **Physique des Plasmas**
- **HRAA** : Haute  
Résolution Angulaire en

Astrophysique

## Pôles techniques

- **Services**
- **Informatique**
- **Ingénierie**

# Organisation du LESIA renouvelée

## Equipe de Direction

### Directeur

Directeur Adjoint (science)

Directeur Adjoint (relations avec les tutelles)

Administratrice

### DIRECTEUR TECHNIQUE

*Direction élargie : + les coordinateurs de pôles*

*La mise en place d'un directeur technique, interlocuteur de la direction sur la répartition des aspects d'instrumentation est un souhait fort du laboratoire qui sera à mettre en lors du renouvellement du laboratoire*

## Conseil de Laboratoire

### Commissions:

- CHS
- Statuts
- Budget
- Informatique
- Communication
- Université/enseignement
- Etudiants
- Locaux
- Formation

## Pôles scientifiques

- **Planétologie**
- **Physique Solaire**
- **Etoile**
- **Physique des Plasmas**
- **HRAA : Haute Résolution Angulaire en Astrophysique**

## Pôles techniques

- **Services**
- **Informatique**
- **Ingénierie**

# Thématiques scientifiques

*Au cœur des activités scientifiques du LESIA : les équipes thématiques*

## Planétologie :

- \* Astéroïdes, comètes et TNO
- \* Atmosphères et surfaces planétaires

## Solaire

- \* Formation et structuration des champs magnétiques solaires
- \* Phénomènes éruptifs et accélération de particules

## Thématiques transverses

- \* Exoplanètes et origine des systèmes planétaires (HRAA, Plasmas, Etoile, Planéto)
- \* Perturbations héliosphériques et météorologie de l'espace (Solaire, Plasmas)

## Etoile

- \* SEISM : Sismologie pour l'Etude des Intérieurs Stellaires et leur Modélisation
- \* MAGMAS : Magnétisme et Etoiles Massives

## Haute résolution angulaire en astrophysique

- \* Activité au cœur des galaxies
- \* Imagerie à très haute dynamique
- \* Interférométrie optique
- \* Optique adaptative
- \* Applications biomédicales

## Plasmas

- \* Vent solaire et milieu interplanétaire, plasmas hors de l'héliosphère
- \* Magnétosphères terrestre et planétaires

## 2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'unité

Le terme SWOT (acronyme pour <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i> ), en français Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces, soit MOFF ou AFOM, désigne un outil d'analyse d'une situation ou d'un environnement, et de construction de stratégie		S	W	O	T
<b>I - Stratégie scientifique et activité recherche (Unité, Equipes ou Axes)</b>					
Production scientifique	Niveau de publication	x			
	Livraison d'instruments	x			
	Thèses encadrées				x
	Le LESIA produit environ 250 publications de rang A par an , avec de nombreuses publications médiatisées (Nature, Science, etc.). Une dizaine de thèses sont soutenues annuellement, correspondant à 27 thèses en cours en juin 2012, avec une haute qualité reconnue de la grande majorité (prix du Monde de la Recherche en 2010 sur une thèse). Les passages d'habilitation sont incités Point d'observation : Production commune, recherche collective et association des personnels aux productions. Un indicateur spécifique est la livraison d'instruments aux agences spatiales ou instituts d'astronomie (ESA, ESO).				
Partenariats scientifiques, réseaux, soutiens	Labex ESEP	x		x	
	GIS Motespace	x		x	
	GIS Phase	x		x	
	collaborations avec autres laboratoires UPMC et Paris-Diderot	x		x	
Partenariats interdisciplinaires	Campus Spatial Paris Diderot	x		x	
	Le Labex Exploration Spatiale des Environnements Planétaires est en phase de démarrage fin 2011 : projets instrumentaux en R&D et soutien à la recherche (thèses, post-docs) sur un réseau de labos Ile de France. Des contacts avec le labex Univearths sont en cours sur un projet avec l'USTH. Le GIS Motespace met en commun les moyens d'essai spatiaux du LESIA, IAS(Orsay) et AIM (CEA) et impliquent donc Paris 7. le GIS Phase concerne l'optique adaptative et la haute résolution angulaire, initiée à P7 par Pierre Léna. Le Campus Spatial où le LESIA participe à divers titres est un axe suivi de collaboration avec l'UFR STEP et l'UFR de Physique				
Ressources et moyens	CNRS	x			x
	Observatoire	x			
	Paris Diderot/UPMC	x			
	contrats (UE, CNES, ANR, ...)	x			x
La baisse du soutien de base au CNRS et le renouvellement des personnels pose problème au LESIA, comme dans d'autres laboratoires instrumentaux. La dépendance en projets					
<b>II - Pilotage, organisation interne (Unité)</b>					
Pilotage et organisation : direction, comité scientifique, comité de thèse...	Direction	x			
	Direction élargie (direction + coordinateurs des 8 poles scientifiques et techniques)			x	
	Conseil de laboratoire	x			
	Assemblée générale	x			
Une réorganisation interne effectuée en 2010-2011 s'est mise en place, pour renforcer les liens et la communication interne au laboratoire. La direction peut ainsi s'appuyer sur un comité élargi de concertation (avec les coordinateurs de pôles). Le conseil de laboratoire, réuni en moyenne 4 fois par an, est saisi aussi des orientations scientifiques importantes. L'assemblée générale annuelle assure la cohésion du laboratoire par les discussions à tous niveaux.					
Animation de la politique scientifique interne (globale, jeunes chercheurs, ...)	Réunions de Pôles	x			x
	Commissions (étudiants, etc.)	x			
	Assemblées générales, journée des thèses	x		x	
	séminaires bimestriels		x		
Les doctorants et jeunes chercheurs s'impliquent dans les réunions de poles; des journées spécifiques (thèses, journée des pôles) sont organisées, mais nécessitent une incitation soutenue pour renouveler les débats. Une réorganisation des séminaires du LESIA serait souhaitable pour en améliorer l'audience. Une amélioration de la diffusion des comptes-rendus de réunions de pôle a été souhaitée. L'organisation des séminaires reste à reprendre, en raison de difficultés dans la fréquentation.					

		S	W	O	T
Animation et soutien aux activités des doctorants, lien écoles doctorales	Séminaires par pôles ("théminaires")			x	
	Séminaire général		x		
	Participation à colloque	X			
	Le séminaire général du LESIA est en réorganisation, la fréquentation étant en diminution; les séminaires spécialisés sont par contre très actifs (selon les poles cependant). Le lien avec l'école doctorale est suivi par une commission du conseil de laboratoire et par la directrice-adjointe. Le directeur est membre du conseil de l'école doctorale Astronomie et Astrophysique. La participation des étudiants aux colloques est largement soutenue				
Politique de ressources humaines : Recrutement, formations ...	Recrutement chercheurs	x			
	Recrutement ITA		x		
	Plan de formation annuel	x			
	CDD				X
	Les recrutements chercheurs se font sur différentes sources : université, CNAP et CNRS, avec des possibilités de contrôle modeste. Le développement du nouveau pôle "Etoile" a bénéficié d'un fort soutien CNRS. Le recrutement ITA est toujours plus problématique (faiblesse du recrutement en 2010 et auparavant), avec une amélioration récente qui ne fait que compenser les pertes. Le ratio CDD (ou post-docs) / Permanents est contrôlé par la direction, mais est un facteur en augmentation (1/3 du volume ITA)				
Vie de l'unité	Journée des entrants	x			
	Assemblée générale				
	Convivialité (galette, pots de l'unité)	x			
	Séminaire de prospective du labo			x	
	La circulation de l'information se fait essentiellement via l'intranet du LESIA (en raison de la dispersion sur plusieurs bâtiments et le nombre de personnes au LESIA). De nombreuses rencontres permettent au cours de l'année de mettre en relation les différentes équipes. Un séminaire de prospective est organisé pour la première fois en janvier 2012 pour établir la stratégie du laboratoire.				
Participation aux activités de formation : Masters, doctorats ...	Encadrement doctorants	x		x	x
	Encadrement de stages (Master)	x			
	Encadrement de stages (L3)		x		
	Participation à l'enseignement			x	
	La participation à l'enseignement se fait au-delà des seuls enseignants-chercheurs (CNRS, CNAP, ITA), et pourrait être développée encore. Grande disparité dans le nombre de thèses encadrées par pole. La participation à l'enseignement doit encore bénéficier d'incitations notamment vers les personnels chercheurs, notamment vers les niveaux L.				
Démarche qualité	Bureau qualité	x		x	
	Comité de prévention (Hygiène et Sécurité)	x			
	Le LESIA est pionnier en matière de démarche qualité, grâce au soutien CNES/INSU; un recrutement en 2012 d'un poste permanent IE est programmé, un CDD faisant actuellement ces fonctions. Un Manuel Qualité est en cours de rédaction pour l'ensemble des activités du laboratoire. Des intervenants (pool de 4 personnes) associés aux projets en particulier spatiaux sont associés au LESIA. Un comité Hygiène et Sécurité (associé au conseil de labo) est en place en liaison avec les tutelles (Observatoire, CNRS, Universités).				
Valorisation	Brevets		x	x	
	Diffusion de la recherche	x		x	
	Quelques brevets sont originaires de recherches menées au LESIA (HRAA); le suivi de ces brevets, détenus par l'entreprise MKT est cependant un souci actuellement. Concernant la diffusion de la recherche, le LESIA est très actif dans la politique de communication avec toutes ses tutelles (vulgarisation, journées d'accueil, fête de la science etc.)				
Partenariat socio-économique	CNES	x		x	
	ESO	x		x	
	ONERA	x		x	

		Les principaux partenaires du LESIA sont institutionnels : CNES, ESO, ONERA et contribuent à de nombreux projets. D'autres partenariats sont présents (PME : ex. MKT) à moindre échelle. D'autres partenariats sont établis avec les industriels du spatial (Astrium, Thalès)			
<b>III - Visibilité, rayonnement, attractivité, communication (Unité, Equipes ou Axes)</b>					
		S	W	O	T
Activité internationale : réseau, collaboration, projets de recherche, thèses en cotutelles	Réseau européen de labos spatiaux	x		x	x
	Collaborations internationales (USA, Russie, Japon)	x			
	Thèses en cotutelles			x	
	Membres de comités internationaux (ESA, IAU, COSPAR etc.)	X			
	Nombreuses collaborations internationales dans le spatial : projets européens (pole solaire, plasma, planétologie). Bourses Marie-Curie de l'UE. Projets spatiaux en exploitation ou préparation (nombreux laboratoires en Italie, Allemagne, Royaume Uni, etc.). La pérennité des relations internationales doit cependant être constamment remise en cause en fonction des évolutions.				
Accueil de chercheurs, de post doctorants étrangers...	Doctorants étrangers	x			X
	Post-docs	x			X
	Chercheurs ou professeurs invités	x			
	Nombreuses sources : ANR, UE, etc.				
Politique de communication, de vulgarisation des travaux de recherche....	Communiqués de presse			x	
	Articles et livres de vulgarisation	x			
	Interviews presse écrite et audio-visuelle	X			
	Participation et organisation de journées portes ouvertes et manifestations grand public	x			

<b>SYNTHESE DE LA FICHE D'EXPERTISE D'AUTO-EVALUATION DU BILAN</b>		
	<i>Positif</i>	<i>Négatif</i>
	<b>Forces</b>	<b>Faiblesses</b>
<i>Interne à l'unité</i>	Qualité de la recherche	Diversité thématique nécessitant des efforts de cohésion
	Diversité des domaines couverts	Implication dans les enseignements avant master
	Réputation internationale	Nombre d'ITA limitant pour engager les nouveaux projets
	Projets à long terme structurant le laboratoire	
	Cohésion des projets dans le laboratoire	
	Diversité des compétences au sein du laboratoire	
	<b>Opportunités</b>	<b>Menaces</b>
<i>Externe à l'unité</i>	Missions spatiales internationales	baisse des soutiens de base CNRS
	Développement du Labex ESEP	Renouvellement des ITA toujours difficile
	Développement de l'E-ELT pour l'instrumentation	Augmentation de la part des projets dans le financement (court terme par rapport au long terme)
		Allongement des phases de préparation de mission

### 3. Mise en œuvre du projet

L'ambition du projet du LESIA détaillé ci-dessus ne sera atteinte que si les moyens peuvent être mis en place ; le soutien de base du laboratoire est bien évidemment insuffisant pour mener la plupart des projets décrits. Ce soutien de base reste incontournable pour soutenir des équipes, entre deux demandes de projets plus importants, ou des chercheurs sur des projets modestes, mais les grands projets dépendent d'un engagement des partenaires, principalement le CNES pour les projets spatiaux, ou l'ESO pour les projets VLT/e-ELT. Si les budgets sont en général en adéquation (l'acceptation d'un projet donné conditionnant son financement), il n'en est pas de même pour les moyens humains. Il est en effet demandé par nos tutelles ou partenaires un soutien en ressources humaines de l'ordre des deux tiers.

En termes d'organisation interne, l'équilibre le plus délicat à trouver est entre expériences en exploitation (dominante recherche), en construction ou préparation (à dominante ingénierie) et en projet (mixte recherche-ingénierie). La sélection (ou non) d'une expérience majeure peut ainsi perturber fortement le plan de travail des équipes. Les personnels techniques étant affectés sur des projets de différents pôles, les décisions (réponse à un appel d'offres engageant les forces du laboratoire) sont prises par la direction après concertation avec les différents pôles (au sein de la « direction élargie » qui comprend les coordinateurs de pôles), et consultation du Conseil de Laboratoire. Un exemple récent en est la décision de ne pas participer à l'appel d'offres ESA/JUICE pour une expérience plasma, malgré un très fort intérêt, pour des raisons d'indisponibilité des équipes d'ingénieurs récemment investies sur Solar Orbiter/RPW.

L'organisation du LESIA a évolué pendant le quadriennal en cours, partant de quatre pôles scientifiques (Astronomie, Physique Solaire, Physique des Plasmas, Planétologie) vers cinq pôles scientifiques (Haute Résolution Angulaire en Astrophysique, Etoile, Physique des Plasmas, Planétologie). Les pôles au LESIA (dénommés « équipes » dans la terminologie AERES pour se conformer plus simplement aux modèles de documents demandés) sont des structures de coordination et d'animation scientifique. Cette réorganisation a été l'aboutissement d'un processus de discussions internes menées entre 2010 et 2011, et a pris effet après approbation à l'unanimité en conseil de laboratoire du 17 mars 2011. Les pôles sont eux-mêmes structurés en « équipes » sur des thématiques particulières ; certaines thématiques apparaissant naturellement comme interdisciplinaires définissent des « équipes transverses », pilotées par un pôle, mais regroupant des chercheurs d'autres pôles. C'est le cas des perturbations héliosphériques et météorologie spatiale (solaire-plasmas) et des exoplanètes (HRAA-Planétologie-Plasmas-Etoile). La structuration en pôles scientifiques est souple et susceptible d'évoluer dans l'avenir, en fonction des effectifs et des regroupements thématiques. Elle répond à un souci d'optimisation dans la concertation entre projets et équipes, et devrait satisfaire des préoccupations soulevées dans le rapport de l'AERES précédent sur l'organisation des pôles du LESIA (avril 2009). Les équipes transverses du LESIA correspondent à des thématiques prioritaires dans la discipline, et reconnues par l'Observatoire de Paris dans ses lignes structurantes entre ses différents laboratoires. Le positionnement scientifique du LESIA s'en trouve donc renforcé.

#### 3.1 Evolution de l'organisation de la direction / mise en place d'un directeur technique

Suite au séminaire de prospective du LESIA en janvier 2012, des recommandations ont émergé sur l'organisation des personnels techniques : leur mise en place demandant une organisation différente de la direction, elles seront différées pour coïncider avec le renouvellement du laboratoire avec une nouvelle direction. Actuellement, les directeurs-adjoints sont spécialisés avec

Un directeur adjoint (D. Tiphene) chargé de l'administration, de l'organisation du planning et du suivi des personnels techniques

Un directeur adjoint (C. Briand) chargé plus particulièrement des relations avec les étudiants, de la communication et des relations avec les universités

Le premier directeur-adjoint fait en réalité fonction de directeur technique ; ce cumul de fonctions n'est possible qu'en raison de la grande connaissance du laboratoire de D Tiphene et son remplacement serait délicat. Une dissociation des rôles directeur technique/ directeur adjoint est

envisagée à l'avenir, le directeur technique étant en charge des relations avec les personnels et le suivi du plan de charge, un directeur adjoint administratif étant soulagé de cette organisation interne.

## 3.2 Evolution des projets par pôles

### E1 : Pôle Etoile

Le pôle ETOILE a été créé en mars 2011 de la réunion de l'équipe sismologie initialement dans le pôle Astronomie et l'équipe spécialisée sur les étoiles massives et les champs magnétiques initialement au GEPI. Le renforcement du pôle dans les prochaines années sera nécessaire pour mener à bien les différents projets prévus.

Dans le même temps, le pôle aura des opportunités uniques d'intensifier ses projets du fait des données de haute qualité CoRoT, Kepler, MiMEs ... qui fonctionneront encore en rendement optimal durant le prochain quinquennal et des nouveaux projets qui commencent ou vont commencer (BinaMICS, UVMag, PLATO si la mission est sélectionnée fin 2013,...). Une augmentation des moyens humains du pôle est donc nécessaire. En particulier, le pôle :

- soutiendra le recrutement d'un expert dans l'analyse et la modélisation sismique des rotateurs rapides, un expert sur les codes d'évolution stellaire et le transport, un expert sur les champs magnétiques stellaires, et un expert sur la sismologie des étoiles massives.
- encouragera l'arrivée de chercheurs permanents par mobilité (deux possibilités envisagées actuellement)
- en faisant des demandes de financement aux différentes instances possibles (ANR, contrats européens) pour accueillir des post-docs et des doctorants.

### E2 : Pôle HRAA

Les projets du pôle HRAA liés à la prospective décrite en 1.E2 concernent l'exploitation scientifique de GRAVITY sur le VLTI à partir de 2013-2014, avec des programmes sur l'environnement proche du trou noir des NAG.

En imagerie à haute dynamique, l'exploitation au VLT de NACO et SPHERE sera au premier plan. Les projets d'Optique Adaptative concernent le développement d'instrumentation de première lumière (MICADO, MAORY) : les arbitrages sont en cours sur le démarrage de ces projets, dans l'attente fin 2012 d'un lancement du projet E-ELT.

Les applications biomédicales continueront dans les projets en collaborations avec le Centre d'Investigations Cliniques des XV-XX.

Dans le spatial, le projet ECHO (à l'interface avec d'autres pôles) est au cœur des problématiques modernes sur les exoplanètes

Plusieurs projets de R&D sont poursuivis (CHARA, FIRST, CANARY, etc.) : le poids qui pourra leur être donné en regard des autres projets dépendra de l'engagement du LESIA sur les projets comme l'ELT ou le choix de mission M3/ESA.

### E3 : Pôle Plasmas

Axes clé

- Exploitation des expériences en cours (LOFAR en particulier)
- Bepi Colombo (SORBET)
- Solar Orbiter
- Solar Probe Plus (expérience Fields)
- JUNO (exploitation des données en 2015-2016)

L'implication du laboratoire dans des instruments radio, spatiaux et sol, de grande envergure comme Sorbet sur BepiColombo (Lead-CoI et CoI), RPW sur Solar Orbiter (PI et CoI), FIELDS sur Solar Probe Plus (Lead-CoI et CoI), et LOFAR (PI WG Planets/exoplanets et CoI Flow-LOFAR-France) montre une expertise technique et scientifique du pôle plasmas reconnue internationalement

dans le domaine des plasmas naturels. Néanmoins, faute de moyens humains suffisants pour une implication instrumentale, en radio, du laboratoire, l'engagement du pôle plasmas dans la mission JUICE sera exclusivement scientifique. Ces nouvelles contraintes vont certainement faire évoluer l'implication du LESIA dans les projets spatiaux radio du futur.

Le prochain quinquennal verra un renforcement des collaborations internationales existantes pour la définition et la réalisation des instruments radio ci-dessus, mais également le développement des simulations numériques et modélisations, à travers notamment les laboratoires plasmas de l'UPMC. Axes prioritaires transverses aux thématiques du pôle plasmas, la théorie et modélisation ainsi que la simulation numérique à toutes les échelles spatiales sont cruciales pour l'avenir afin de confronter les futures observations originales et en cours à des données simulées. Dans cet esprit, le projet européen « Shock » (2012-2015) a pour but de simuler l'ajustement d'une magnétosphère planétaire aux variations du vent solaire, dans le cadre d'un soutien à la mission BepiColombo. L'exploitation des données magnétosphériques de Jupiter avec JUNO (CoI) va prendre un essor important entre 2015-2016. Côté sol, l'implication du LESIA sur LOFAR va s'intensifier avec l'exploitation de masse des données planétaires, tout comme la radiodétection des gerbes cosmiques mais également des phénomènes transitoires par l'expérience CODALEMA en plein développement. Enfin, les activités scientifiques variées du pôle plasmas contribueront à enrichir les 2 équipes transverses du LESIA.

#### **E4 : Pôle Solaire**

La perte d'expertise après le départ de la plupart des spécialistes en optique entraîne l'abandon de l'implication du LESIA sur des futures instrumentations solaires/sol : il s'agit d'une évolution douloureuse, qui termine des phases historiques de développements d'instruments pour le Pic du Midi ou Thémis. Les perspectives EST sont à ce jour très incertaines, et l'implication d'ingénieurs du LESIA trop faibles. Une autre difficulté avait été vécue lors de l'abandon par le CNES de l'expérience SMESE en 2009 : le LESIA avait beaucoup investi dans la préparation d'un instrument (DESIR) pour l'étude du Soleil en submillimétrique. Les principes scientifiques de cette expérience restent valables et pourraient être repris dans un instrument de ce type sur un cycle solaire ultérieur ; force est de constater que le contexte programmatique n'est cependant à ce jour pas défini, l'engagement du CNES sur les expériences de la décennie autorisant peu de possibilités sur une opportunité externe. Des activités de R&D pourront cependant être continuées, en particulier dans le cadre du labex ESEP.

Ces aspects plutôt décevants ne doivent pas faire oublier les grandes réussites du pôle solaire dans les activités détaillées dans la partie résultats, qui continueront dans des projets théoriques sur le magnétisme solaire, avec l'appui des observations spatiales sur lesquelles les chercheurs sont impliqués. L'autre succès est l'implication sur le projet Solar Orbiter /STIX, un axe qui sera préservé dans le prochain quinquennal concerne les observations à Nançay, sur le radiohéliographe dont les données sont très complémentaires des observations spatiales. Des développements en radioastronomie solaire (projet ORFEE, LOFAR), pourront également s'insérer dans le plan de charge du laboratoire. Enfin, les observations historiques au spectrohéliographe de Meudon continueront dans le cadre de tâches de service de l'Observatoire.

Projets instrumentaux et théoriques

- Projet Solar Orbiter (STIX), projets magnétisme solaire, projets relations soleil Terre
- Radiohéliographe de Nançay : soutien à la poursuite des activités de cet instrument unique
- ORFEES : nouvelles antennes pour sondage de la couronne solaire
- Projets théoriques de simulations "data driven" des éruptions dans les régions actives solaires, à partir de cartes de vecteur champ magnétique obtenues par inversion de données spectropolarimétriques sol et spatiales.

#### **E5 : Pôle Planétologie**

L'équilibre des recherches dans le pôle de planétologie du LESIA dépendra grandement des sélections d'expériences spatiales en cours à l'ESA (JUICE, M3/ESA), le pôle étant potentiellement impliqué à haut niveau dans JUICE, Marco Polo-R et Echo.

La mission Marco Polo-R pour laquelle le LESIA propose un spectro-imageur infrarouge aurait en cas de sélection une importance première au sein du pôle, de même que la sélection sur JUICE de l'instrument HIRIMS. La stratégie d'engagement des ressources au LESIA est délicate sur des missions dont on doit mener de front les études sans connaître à l'avance les sélections, mais les choix seront faits rapidement puisque le retour des sélections JUICE est attendu début 2013.

Cependant, l'exploitation des missions en cours qui se prolongeront après 2014 (Cassini, Rosetta, puis Bepi Colombo) permettra un « retour sur investissement » en terme de publications et de notoriété scientifique quasi garanti.

Enfin, le pôle est traditionnellement impliqué dans les observations sol au moyen de grands ou de petits instruments (MYOSOTIS, occultations stellaires), qui ont un « rendement » scientifique excellent et très complémentaire des grandes missions.

L'orientation prise vers l'étude des exoplanètes continuera dans la modélisation des observations au sol, mais serait bien évidemment renforcée si la mission ECHO est sélectionnée par l'ESA en M3 en 2013.

## **P1 : Pôle informatique**

### Informatique générale

Le LESIA a été parmi les premiers départements de l'observatoire à répondre favorablement à la proposition faite par la DIO de mutualiser les salles informatiques sur le site de Meudon. Le LESIA a déjà installé une partie de ses serveurs dans le container et dans le bâtiment 15 ; il va poursuivre cette politique en fonction des moyens proposés par la DIO. Le résultat escompté de la mutualisation de l'hébergement des serveurs est une diminution globale du coût financier et humain ; pour le LESIA, le coût financier sera certainement réduit puisqu'il sera possible de supprimer l'une des salles climatisées, par contre, le besoin en personnel du GIL restera identique puisque le GIL a dû s'engager à participer à l'administration de l'ensemble des serveurs hébergés par le SIO.

### Le LEOPARD

Les axes de développement et de progression du pôle informatique concernent :

- l'amélioration de la symbiose entre le spatial et le sol, en particulier dans le groupe d'informatique instrumentale
- la capacité à répondre aux besoins des scientifiques du laboratoire ; pour cela, une réflexion est engagée, en accord avec la direction du laboratoire, pour la publication régulière d'appels d'offre internes recensant les besoins des scientifiques. Il y sera répondu en fonction des disponibilités des personnels.

### Observatoire virtuel

Un enjeu pour le LEOPARD est sa capacité à répondre aux besoins d'intégration des données du laboratoire dans l'Observatoire Virtuel.

Durant les années récentes, plusieurs projets ont concerné l'Observatoire Virtuel (physique des plasmas, physique solaire, planétologie), d'autres projets démarrent (sismologie stellaire). Ces projets fonctionnent pour la plupart avec des personnels temporaires ; la pérennisation de ces compétences et de ces activités est un enjeu fort pour la période à venir.

## **P2 : Pôle ingénierie**

Concernant les métiers émergents, on peut noter l'informatique embarquée, présente désormais dans la quasi-totalité des expériences spatiales du laboratoire, qui fait appel à des technologies pointues, en évolution rapide. Ce métier nécessite un relativement faible investissement en matériels mais, si le laboratoire envisage de promouvoir ces activités, il faudrait faire le choix d'investir en ressources humaines dans ce domaine.

Le bureau d'étude nécessitera d'être renforcé car les besoins d'études mécaniques et thermiques, dès le début des projets, y compris pour simplement répondre aux appels d'offres, sont récurrents pour tous les projets du LESIA.<sup>3</sup>

### **P3 : Pôle service**

#### Perspective d'évolution du site Intranet

Le site Intranet étant le principal outil de mise en œuvre de la communication interne du laboratoire, il sera forcément amené à se développer, tant sur ses applications que sur ses contenus. Dans le domaine de la gestion des ressources humaines, il faudra adapter le module de gestion des absences pour le rendre cohérent avec celui du CNRS, et prendre en compte la gestion du temps de travail des chercheurs et des enseignants-chercheurs. Dans le domaine de la prévention (hygiène et sécurité), la mise en ligne du cahier d'incidents (actuellement sous forme papier, peu utilisé) est à l'étude.

#### Perspective d'évolution du site web institutionnel

Afin d'élargir la visibilité du laboratoire à l'international, il est nécessaire de proposer une version anglaise du site web. Une traduction des pages de premiers niveaux est actuellement à l'étude par le comité éditorial, et sera mise en œuvre dans les prochains mois. A plus long terme, une nouvelle refonte du site web sera certainement envisagée d'ici 1 à 2 ans, afin de maintenir à niveau cet outil de communication devenu incontournable, et dans la perspective d'une mise en cohérence avec le futur site web institutionnel de l'Observatoire de Paris.

#### Service Internet Graphisme et Animations du LESIA

Le SIGAL a été créé en 2007 pour répondre aux besoins des chercheurs dans le domaine graphique. C'est un service transverse, géré sous la responsabilité de la direction, regroupant des chercheurs et ITA de différents pôles, et qui répond aux demandes couvrant des réalisations de sites web, d'affiches (colloques, animations, événements, logos, etc.) ainsi que des graphiques liés aux concepts scientifiques. Les développements prévus concerneront l'animation 2D, avec des demandes croissantes dans ce domaine, et pourront utiliser comme par le passé des stagiaires issus d'écoles spécialisées dans le graphisme. Les développements du Web 3D et leur implantation possible sur le site observatoire seront suivis avec attention. Les besoins en photographies restent très forts, notamment sur les instruments en développement au LESIA, et cette activité sera développée en suivant les formations spécifiques nécessaires.

## **3.3 RELATIONS AVEC LES TUTELLES**

### **Observatoire**

L'Observatoire de Paris est la tutelle principale du LESIA. A ce titre, il assure l'hébergement du LESIA par la mise à disposition de locaux, leur entretien et leur rénovation. Institutionnellement, cette tutelle apporte une construction particulière à l'organisation des laboratoires, ceux-ci étant à la fois départements de l'Observatoire et UMR CNRS. Ainsi, le Conseil de Laboratoire effectue les tâches à la fois du Conseil de Département prévu dans les statuts de l'Observatoire et celles d'un Conseil de Laboratoire pour le CNRS. Les différences de statuts nécessitent un compromis, réalisé dans le règlement intérieur et les statuts du département, qui doit être adapté en fonction de l'évolution des différentes tutelles : un exemple en est le statut des différents personnels permanents du LESIA (CNAP, CNRS, Université) dont le temps de travail, les obligations statutaires et les relations institutionnelles sont différentes. Une refonte du règlement intérieur est en chantier avec la Délégation Régionale du CNRS (DR5) et l'Observatoire. Aucun conflit n'est apparu récemment, le dialogue entre la DR5, l'Observatoire et les laboratoires étant réalisé dans des réunions de directoire.

### Locaux

Actuellement, le LESIA est réparti entre 9 bâtiments sur le campus de Meudon. La situation a cependant été améliorée depuis le rapport précédent, par le regroupement d'équipes de manière plus cohérente : évolution de la situation au pôle planétologie, regroupement du pôle Etoile nouvellement constitué, déménagement du bâtiment 12 (sauf un chercheur isolé).

La gestion des locaux au LESIA est discutée dans la commission locaux, instituée par le Conseil de Laboratoire, et suivie au sein de la direction par un directeur-adjoint. Les négociations avec l'Observatoire concernent la rénovation des locaux sur le principe d'une responsabilité hébergeur sur

les aspects rénovation/mise aux normes, et d'une contribution du laboratoire sur des locaux techniques dédiés à des expériences (salles blanches, ateliers, etc.), sur crédits propres ou contrats de diverses origines.

Le LESIA dispose de 5 salles blanches pour ses activités spatiales réparties sur 3 bâtiments. Notre objectif serait de créer un nouvel espace salle blanche au rez de chaussée du bâtiment 15 en remplacement des salles existantes ; les 4 salles blanches pour des applications sol sont quant à elles situées au sous-sol du bâtiment 18. Le LESIA souhaiterait continuer à regrouper ses agents à proximité du quadrilatère constitué par les bâtiments 14, 15, 16 et 17. Nous conserverions des bureaux dans l'aile ouest au rez de chaussée du bâtiment 18 et libérerions nos deux bureaux de l'aile est. Nous aimerions regrouper l'équipe HRA dispersée dans les bâtiments 5, 6 et 17 au bâtiment 12 ; cela permettrait de répondre à une demande de l'équipe planétologie et regrouper ses chercheurs au bâtiment 17 et dans l'aile ouest du bâtiment 18. Nous pourrions aussi regrouper une équipe d'ingénieurs au bâtiment 10 qui resterait le seul bâtiment légèrement excentré. En effet avec la création de la salle blanche au bâtiment 15, nous libérerions complètement le bâtiment 8.

### Interaction avec les conseils

La politique scientifique du laboratoire se construit au sein de la politique d'établissement : un principe de « subsidiarité » est appliqué, les objectifs internes au laboratoire étant gérés par le LESIA, les objectifs mutualisés avec d'autres laboratoires étant discutés avec les laboratoires concernés directement, mais aussi avec l'Observatoire, dans les réunions de directoire et le Conseil Scientifique auquel les directeurs de département participent. Le Conseil d'Administration de l'Observatoire invite les directeurs de département également : c'est le lieu des échanges institutionnels laboratoire/tutelle.

### **CNRS**

Les relations du LESIA avec le CNRS comprennent les relations avec la Délégation Régionale (Ile de France Ouest et Nord – DR5) pour les aspects administratifs courants, et avec l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU) du CNRS pour les demandes de moyens annuels, et les discussions de stratégie scientifique pluriannuelle. La part du budget de soutien de base annuelle venant du CNRS est plutôt affectée en priorité sur les volets scientifiques du laboratoire : accompagnement de la recherche, soutien aux équipes entre deux projets de plus grande ampleur, soutien aux étudiants en thèse (missions, colloques en particulier). La diminution drastique en 2012 du soutien de base du CNRS a donc des conséquences sérieuses sur les équilibres internes du laboratoire. En effet, même si une compensation très partielle a été obtenue via l'Observatoire, la politique interne du laboratoire s'en trouve directement affectée sur le démarrage d'actions, malgré des économies sur des frais de représentation ou de communication qu'on peut juger accessoires, mais qui participent à la fluidité des relations entre les personnels : on citera l'exemple de l'annulation du séminaire externé de prospective du LESIA, qui s'est tenu à moindres frais à Meudon.

La compensation par les crédits sur projets et les prélèvements internes (quand ils sont possibles) est illusoire : elle dépend d'une part fortement des succès, toujours irréguliers, aux différents appels d'offres – il faut aussi rappeler que l'ANR n'autorise pas les prélèvements par les labos, les préciput étant affectés à l'établissement.

### **Tutelles universitaires**

Le LESIA a pour particularité d'avoir deux tutelles universitaires parisiennes, l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC) et l'Université Paris-Diderot Paris 7. La politique du LESIA est très ouverte vers les engagements avec ses universités de tutelle, et s'impliquera pour poursuivre dans la période du quinquennal. Une évolution notable à suivre de près sera la fusion annoncée des universités parisiennes dans deux PRES (Sorbonne Université et Sorbonne Paris Cité). Même si des assurances ont été données que ces évolutions ne concerneraient pas les laboratoires en tutelle secondaire comme le LESIA, il sera nécessaire de suivre de près cette évolution, en particulier en participant aux conseils d'UFR qui sont le point d'entrée naturel des laboratoires.

## 1. UPMC

Liste des activités avec l'UPMC

- Enseignants chercheurs
- Thèses/monitorat
- Projets de recherche : financement de projets émergents
- Projet ŒIL avec les XV-XX
- Participation à la vie universitaire : conseils d'UFR

Les activités de recherche menées dans le cadre de l'UPMC sont une composante essentielle du LESIA. Elles concernent les domaines de la planétologie (atmosphères planétaires et exoplanétaires), de la haute résolution angulaire, en particulier avec ses applications en ophtalmologie, et en physique des plasmas. Ces activités sont décrites dans les projets des différents pôles ci-dessus, et ne seront pas reprises en détail ici.

Sur l'insertion dans les projets de recherche de l'UPMC (deux projets « émergents » retenus ces dernières années au LESIA), l'un concerne la physique des plasmas où le LESIA collabore avec le LPP et le LERMA (principalement) au sein de ce qui s'est appelé le « club plasma », aujourd'hui regroupé dans le labex PLAS@PAR dirigé par le LERMA. Sans être partenaire du labex, le LESIA y participe en observateur et collaborateur sur certains types d'activités de physique des plasmas astrophysiques.

En planétologie, les collaborations avec le Laboratoire de Météorologie Dynamique et l'IAP (pour les exoplanètes) se concrétisent via le labex ESEP. Différents projets démarrent sur la modélisation dynamique des exoplanètes, et le transfert radiatif de ces atmosphères.

En ophtalmologie enfin, l'équipe ŒIL sur la thématique originale, initiée par Pierre Léna, de l'imagerie rétinienne par optique adaptative (couplée aujourd'hui à la tomographie cohérente en trois dimensions) sera poursuivie, via des collaborations fortes avec l'Institut de la Vision (Hopital des XV-XX).

## 2. Paris-Diderot-Paris7

- Enseignants/chercheurs
- Thèses/monitorat
- Projets de recherche : Haute résolution angulaire, Optique adaptative pour l'ophtalmologie, planétologie
- Participation à la vie universitaire : conseil d'UFR
- HRAA et Gis PHASE
- Campus Spatial : participation à workshop, journées du Campus spatial, financement de projets émergents

La montée en puissance du Campus Spatial sera dans les prochaines années un point majeur de l'implication du LESIA dans la stratégie scientifique de Paris-Diderot : les relations avec l'IPGP se poursuivent, en particulier sur le sujet de la sismologie planétaire en observations à distance (thèse de Pierdavid Coisson, sept. 2012). L'expertise du LESIA en ingénierie spatiale, démarche qualité et management de mission permet déjà des implications dans l'enseignement technique et se poursuivra à l'avenir.

Le deuxième axe de la stratégie scientifique avec Paris-Diderot concerne la haute résolution angulaire, axe historique mené par Pierre Léna (professeur émérite), et continué par Gérard Rousset. Les retombées en astrophysique seront nombreuses dans les années couvertes par le quinquennal (instrument VLT SPHERE et interféromètre GRAVITY qui seront en opération dans deux ans), mais aussi au-delà en application pour l'ophtalmologie.

### 3.4 Région Ile de France : DIM ACAV

Le domaine d'intérêt majeur « Astronomie et Conditions d'Apparition de la Vie », piloté par l'Observatoire de Paris, offre aux laboratoire d'astrophysique de nouvelles opportunités pour des projets dans le cadre de la Région Ile de France. Le LESIA y participe dès 2012, puisqu'il a bénéficié d'un contrat doctoral débutant en 2012 en planétologie. Cette opportunité pourra être suivie à l'avenir

pour les projets du LESIA, en particulier en terme de locaux comme dans le cadre du GIS Motespace et du regroupement de salles blanches.

### **3.5 LABEX ESEP**

Le Laboratoire d'excellence *ESEP* (Exploration Spatiale des Environnements Planétaires) dont le LESIA est coordinateur, est un réseau de laboratoires travaillant dans le domaine spatial (Ile de France et Orléans). D'un budget de 4 M€ sur 10 ans, il a été sélectionné en première vague en 2011. Ce projet de réseau permet d'initier des recherches de long terme, en mutualisant les ressources de plusieurs laboratoires, avec une forte dimension vers l'enseignement et l'accès du public à la recherche.

#### **3.5.1 Objectif scientifique du Labex**

L'étude des environnements planétaires est au coeur d'un grand nombre de questionnements scientifiques, sociétaux et philosophiques, tels que l'origine du Système solaire et de la vie, ou l'existence de mondes habitables ailleurs dans l'univers. Les objectifs scientifiques d'ESEP sont au centre de ces problématiques, en ciblant l'ensemble des approches à notre disposition pour l'étude des planètes, qu'elles soient dans le Système solaire ou au-delà : développement de nouvelles technologies pour l'observation et l'exploration des planètes du Système solaire, dans l'espace et au sol, recherche de planètes extrasolaires, expériences de laboratoire visant à comprendre l'apparition de la vie, etc.

#### **3.5.2 Actions clés recherche**

Les thématiques scientifiques se déclinent dans un contexte d'exploration spatiale instrumentale (des concepts théoriques aux spécifications techniques) selon les trois domaines suivants :

- l'étude des relations Soleil-Terre et la Météorologie de l'Espace
- l'exploration planétaire dans le Système solaire ;
- les observations des planètes extrasolaires

#### **3.5.3 Action clés de formation**

- insérer davantage les thématiques d'ESEP dans l'offre de formation de l'école doctorale Astronomie et Astrophysique d'Ile-de-France dont plusieurs institutions de PSL sont membres.
- renforcer les liens entre le master OSAE (Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace) et le monde industriel, en s'appuyant sur les actions de R&D développées par ESEP
- renforcer les thématiques d'ESEP dans les enseignements de masters portés par les partenaires d'ESEP au sein de PSL
- ouvrir les enseignements en ligne aux thématiques d'ESEP

#### **3.5.4 Actions clés de diffusion**

- Informations sur les résultats des recherches concernées à partir de supports écrits ou numériques, à destination du grand public, ou des étudiants.
- expositions publiques sur ces mêmes thèmes

L'un des axes de développement d'ESEP sera recherché dans ses relations dans l'environnement des projets d'excellence, en particulier avec le labex Univearth (Paris-Diderot) et P2IO (Orsay). Un projet démarrant en 2012 est le montage d'un master avec l'USTH (Université des Sciences et Techniques d'Hanoï), soutenu par le LESIA via ESEP, et une forte implication dans le montage en enseignement.

Un autre axe, non complètement disjoint d'ailleurs, concerne l'étude de « cubesats » (projet européen QB50) en tant que projets de masters en collaboration régionale ou nationale.

### 3.6 Politique énergétique du laboratoire

Un groupe de réflexion, initié au sein du LESIA, puis élargi au sein de l'établissement, s'est constitué dans le cadre de la prospective quinquennale de l'établissement sur les questions de politique énergétique d'établissement. Le LESIA y participe à son niveau en liaison avec l'Observatoire.

L'épuisement des ressources et le changement climatique sont des enjeux majeurs que l'Observatoire et ses laboratoires doivent prendre en compte, d'une part parce qu'ils sont utilisateurs de ressources qui vont se raréfier et devenir plus chères, et d'autre part, comme générateurs de pollution et en particulier de gaz à effet de serre. Cette réflexion doit concerner les modes de fonctionnement de l'établissement ainsi que ses projets.

De plus, bien que non directement spécialiste de ces sujets, l'Observatoire se doit de participer à la diffusion des connaissances scientifiques sur ces sujets importants et complexes. De la sorte, il doit participer à son niveau à la nécessaire et urgente prise de conscience de la société afin de comprendre et d'accepter les évolutions futures.

Deux axes d'actions se sont dégagés. D'une part, une évaluation de l'empreinte carbone de l'établissement dans son ensemble sera faite. Cette évaluation, faite dans le cadre de la loi Grenelle 2, servira à mettre en place des actions de réduction de cette empreinte écologique de l'établissement, au-delà des obligations législatives. D'autre part, des actions d'information vers les personnels de l'établissement (séminaires, affiches, informations en ligne...), seront menées pour motiver des évolutions de comportement (transport, méthodes de travail...) et inciter les enseignants-chercheurs à inclure ces problématiques dans leurs interventions vers les étudiants et le grand public.