

I - PRESENTATION GENERALE DU LABORATOIRE

1.	POLITIQUE SCIENTIFIQUE.....	1
1.1.	<i>Positionnement</i>	1
1.1.1.	Vocation du LESIA.....	1
1.1.2.	Positionnement scientifique	2
1.1.3.	Structures opérationnelles et répartition des rôles	2
1.2.	<i>Mobilisation des ressources humaines</i>	4
1.2.1.	ITA et ITARF	4
1.2.2.	Chercheurs et Enseignants-Chercheurs	6
1.3.	<i>Cadrage</i>	7
1.3.1.	Axes de recherche	7
1.3.2.	Exploitation et développement du potentiel instrumental	9
1.3.3.	Recherche et Développement	11
	Etudes R&D depuis 2004 :	11
	Etudes R&D en cours et futures.....	12
1.4.	<i>Dispositif méthodologique</i>	13
1.4.1.	Maîtrise de la gestion de projets.....	13
1.4.2.	Culture des filières instrumentales	14
1.4.3.	Partenariats	15
1.5.	<i>Traitement et exploitation scientifique des résultats</i>	15
1.5.1.	Modélisation et simulation	15
1.5.2.	Bases de Données et Centres de Données	16
2.	MISE EN ŒUVRE DES MOYENS	18
2.1.	<i>Le Centre de Traitement Automatisé de l'Information (CATI)</i>	18
2.1.1.	Projets et Développement.....	18
2.1.2.	Stockage, archivage et diffusion des données	19
2.1.3.	Exploitation scientifique et Administration	19
2.2.	<i>Moyens techniques</i>	20
2.3.	<i>Formation permanente</i>	20
2.4.	<i>Hygiène et Sécurité</i>	21
3.	ARTICULATIONS SUR L'ENVIRONNEMENT.....	22
3.1.	<i>Le LESIA, la plus grosse Unité en Astronomie-Astrophysique</i>	22
3.2.	<i>Association du LESIA à la Station de Radioastronomie de Nançay</i>	24
3.3.	<i>Valorisation et Coopérations Industrielles</i>	24
3.3.1.	Le programme Œil	25
3.3.2.	Le programme SIEVERT	25
3.3.3.	Le Banc SESAME	26
3.3.4.	Le projet de centre de prévision	26
3.3.5.	Résumé des actions de valorisation	27
3.4.	<i>Activités d'enseignement au LESIA</i>	28
3.4.1.	Développer l'attractivité du Spatial auprès des étudiants.....	28
3.4.2.	Participation aux enseignements	28
3.5.	<i>Relations avec les Universités</i>	29
3.5.1.	Fourniture d'accès aux données spatiales.....	30
3.5.2.	Association du LESIA à l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC)	30
3.5.3.	Association du LESIA à l'Université Paris-Diderot	31
3.6.	<i>Communication</i>	32
4.	PERSPECTIVES 2010-2013	33

I - PRESENTATION GENERALE DU LABORATOIRE

Cette Section I donne une vision intégrée du LESIA et de ses problématiques, dont certaines seront précisées dans les Sections III à VIII. La Section II présente bilan et prospective des quatre pôles scientifiques du LESIA et l'Annexe IX listes et documents quantitatifs, dont la liste des Publications en IX.25.

1. Politique Scientifique

1.1. Positionnement

1.1.1. Vocation du LESIA

Le LESIA (Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique) est issu de la restructuration de l'Observatoire de Paris, qui visait à constituer des unités dotées de moyens suffisants, en affectant à des équipes complémentaires des supports techniques et administratifs communs. Cette restructuration a été effective au 1er janvier 2002.

Statutairement, le laboratoire est un **département de l'Observatoire de Paris**. Mais il est aussi **Unité Mixte de Recherche du CNRS**, et a donc de ce fait deux tutelles principales, le **CNRS et l'Observatoire**, et en outre deux tutelles dites secondaires, **l'Université Pierre et Marie Curie (Paris-6)** et **l'Université Paris-Diderot (Paris-7)**.

Ce regroupement a fait du LESIA **le plus gros laboratoire de la discipline**. Au 1^{er} octobre 2008 le Laboratoire compte 254 agents, dont 136 permanents. Différents indicateurs montrent que le LESIA représente à lui seul environ **12 % de la discipline**. Cette taille de laboratoire, voulue par l'Observatoire de Paris lors de sa restructuration, et souhaitée par le CNRS, demande à être gardée à l'esprit en de nombreuses circonstances, par exemple lors des recrutements, attributions de personnels, nomination de représentants, etc. Nous discuterons de quelques aspects liés à cette taille dans le paragraphe 3.1.

Le LESIA a pour vocation première :

- la **conception** et la **réalisation** d'instrumentation scientifique spatiale ;
- l'**exploitation** et l'**interprétation** scientifique des observations des instruments réalisés ;
- le développement de **techniques avancées** mises en œuvre tant dans des instruments au sol que dans l'espace.

Le laboratoire est également très impliqué dans de nombreux aspects des **techniques et technologies de l'information**, tant pour le développement de méthodes instrumentales que pour l'analyse de données.

Pour mener à bien ces projets d'instrumentation, de modélisation ou de simulation et en exploiter les résultats, le LESIA, en digne héritier des laboratoires dont il est issu, a continué à développer des compétences collectives particulières. Le laboratoire est ainsi à la pointe en matière de **gestion de projet** (approche **système**), **méthodologie spatiale**, **ingénierie** (en particulier spatiale), **logiciels temps réel et embarqués**, comme en matière de **traitement de données**, **simulations** et **travaux théoriques**.

Une caractéristique du LESIA est que plus de **75 % de son budget** (hors salaires) provient de **contrats**, principalement du **CNES** (Centre National d'Etudes Spatiales), mais aussi de **l'ESO** (European Southern Observatory) et de **l'Union Européenne**. Ce mode de financement tient à la vocation du LESIA dont les projets sont la raison d'être.

L'autre caractéristique, dont l'origine est la même que la précédente, est le rythme de la vie du laboratoire, vie ponctuée par les programmes dont la **durée dépasse couramment la décennie**.

1.1.2. Positionnement scientifique

Le LESIA est à la pointe de l'actualité scientifique dans tous les domaines où il est impliqué, par les **résultats scientifiques de premier plan** qu'il obtient tant à partir d'**instrumentation conçue et réalisée en interne**, que par l'**utilisation des grands moyens nationaux et internationaux**, et par le développement de **simulations** et de **travaux théoriques**.

S'il est un indicateur par excellence du positionnement scientifique dans l'arène internationale, c'est bien la reconnaissance par les grandes agences internationales et l'implication dans les grands projets mondiaux actuels. Lors du récent appel de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) pour préparer son programme **Cosmic Vision 2015-2025**, parmi les 50 propositions soumises, le LESIA a été directement impliqué dans 13, dont 4 en tant que proposant principal (PI : Principal Investigator). Parmi les **6 missions sélectionnées** par l'ESA pour une étude de phase A, **le LESIA est impliqué dans 4, dont 3 en tant que PI (TANDEM, PLATO, MarcoPolo)**. Les implications dans les **grands instruments sol du futur** en astronomie ne sont pas moindres, avec un rôle d'initiateur dans plusieurs instruments de seconde génération du VLT/VLTI, en particulier SPHERE et GRAVITY ; et également EAGLE et E-ELT, en participant activement aux phases préparatoires.

Si ces sélections reposent sur la capacité d'innovation instrumentale, elles restent bien fondées sur la qualité scientifique, non seulement pour l'exploitation des expériences passées et en cours, mais aussi sur la vision vers le futur, et l'implication, en tant qu'acteur principal, dans les grandes problématiques scientifiques actuelles.

Nous mentionnons ci-après quelques-uns des nombreux résultats qui seront détaillés dans le corps de ce rapport (Section II), dont plusieurs d'entre eux ont donné lieu à des communiqués de presse. **Simulations N-corps** de la couronne et accélération du vent solaire. Mesure d'une baisse inattendue des propriétés du vent rapide. Premières mesures du **diagramme d'émission** des types III solaires et caractérisation des sources. Détection de la **période radio variable** de Saturne. Révélation de la **surface de Titan** avec DISR/Cassini-Huygens. Mise en évidence d'une **oscillation du vent équatorial dans la stratosphère de Saturne** avec CIRS/Cassini-Huygens. Découverte avec VIRTIS/VeX d'un **vaste vortex au pôle Sud de Vénus**, et d'une structure complexe dans l'émission nocturne de O₂. Détection de **l'ammoniac hydraté et de N₂** sur les **objets transneptuniens**, et de **rapports isotopiques anormaux** dans des composées azotés cométaires. Mesure avec une **précision kilométrique**, par occultation stellaire, de la **taille de Charon**. Avec Thémis : mise en évidence observationnelle de **l'émergence résistive de flux magnétique** et mesure inédite du **support magnétique des parties basses des protubérances**. **Découverte** théorique et observationnelle avec Hinode du **mode de reconnexion glissante**. **Premières images sub-millimétriques**, avec le Multi beam Radiometer, de **réactions nucléaires** lors d'une éruption X. **Découverte d'enveloppes circumstellaires** autour des **Céphéides** avec Fluor sur CHARA. Détection **d'exoplanètes par transit** avec **CoRoT** et mesures **d'oscillations de type solaire** dans d'autres étoiles que le soleil avec **CoRoT**. Détection de la contrepartie **infrarouge de la source radio associée au trou noir dans le centre galactique** avec NACO sur le VLT. Première classification morphologique infrarouge robuste des galaxies **au-delà de z=1**.

1.1.3. Structures opérationnelles et répartition des rôles

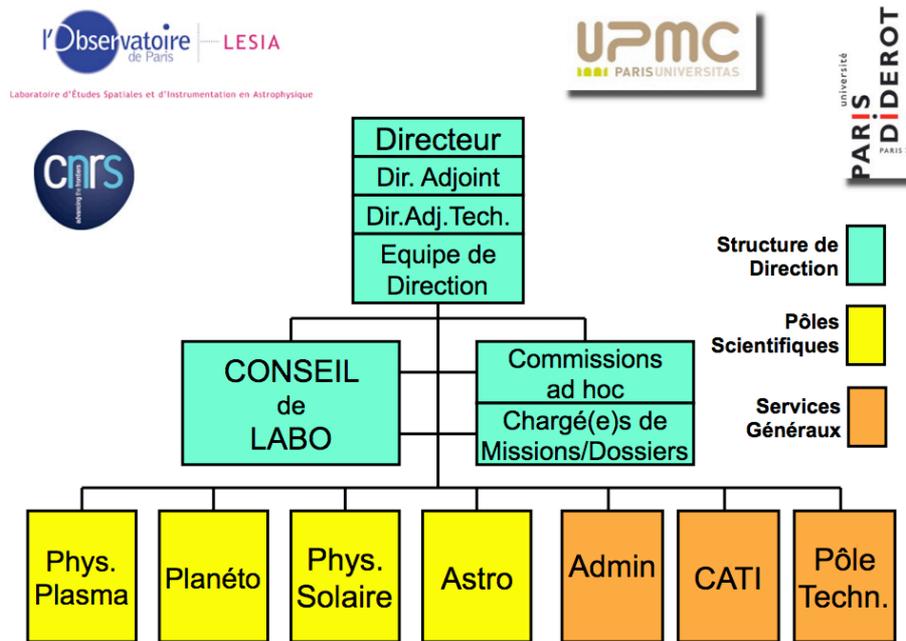
Le Laboratoire est dirigé par une équipe de direction constituée de **Jean-Louis Bougeret**, directeur, **Didier Tiphène**, directeur adjoint, chargé de la coordination technique du laboratoire, de la

formation permanente et des locaux, **Pierre Drossart**, directeur adjoint chargé des relations avec les Universités et les Agences (ESA, Europe, etc), et chargé du suivi des étudiants et thésitifs, **Béatrice Jeanmichel**, administrateur du laboratoire, remplissant également le rôle de secrétaire général et de chef du personnel. La responsabilité de la Formation Permanente, qui a un rôle très important dans la politique de gestion des ressources humaines, est déléguée à Jean-Michel Réess. L'informatique est placée sous la responsabilité de Christian Renié, également en charge des bases de données. L'Hygiène Sécurité, sous la responsabilité du directeur, est coordonnée par un ACMO principal, Bernard Talureau.

Les activités scientifiques du LESIA se répartissent en **quatre pôles** : **physique des plasmas**, **planétologie**, **physique solaire** et **astronomie**. Chaque pôle a à sa tête un coordinateur scientifique : **Karine Issautier** pour les plasmas ; **Dominique Bockelée-Morvan** pour la planétologie, qui a succédé à Pierre Drossart en janvier 2006 ; **Guillaume Aulanier** pour la physique solaire, qui a succédé fin 2007 à Ludwig Klein et **Vincent Coudé du Foresto** pour l'astronomie, qui a succédé début 2008 à Daniel Rouan.

Un comité de recherche de candidat interne pour succéder à Jean-Louis Bougeret a été mis en place par le Conseil de Laboratoire du 20 mai 2008. Ce comité a permis de révéler quelques candidats internes pour la direction du laboratoire.

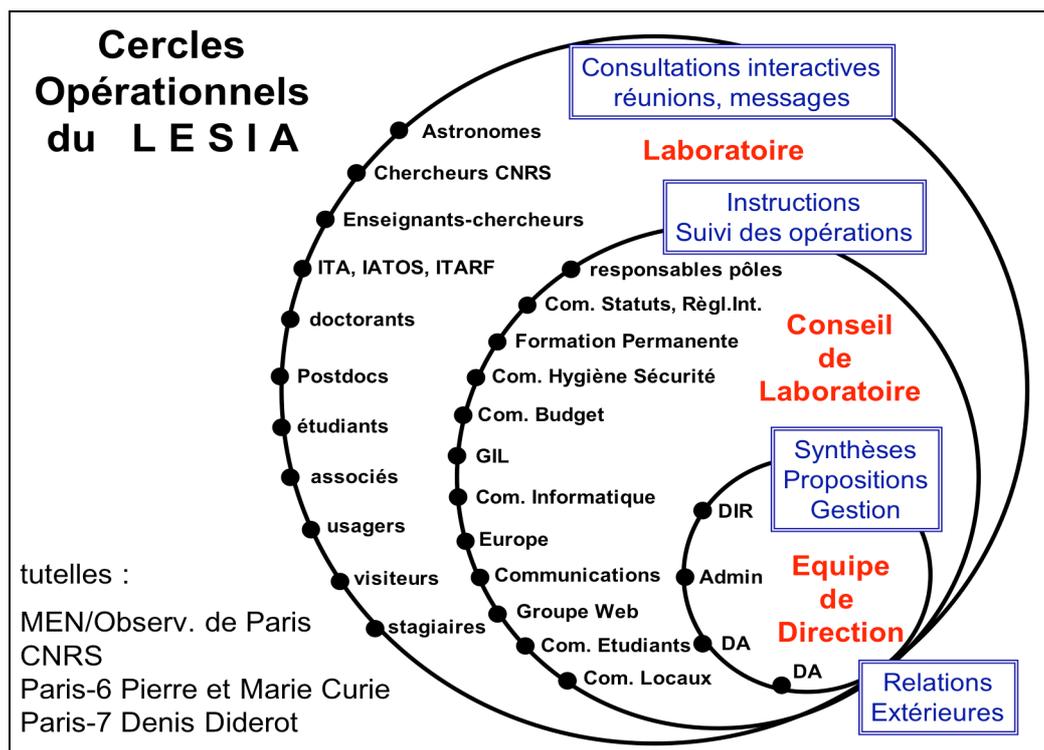
La structure de gestion est représentée dans les deux organigrammes ci-dessous, le conseil de laboratoire s'appuyant sur plusieurs commissions et chargés de mission.



La répartition des chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants, et post-doctorants dans les pôles scientifiques est la suivante :

- pôle phys. plasma : 24
- pôle planéto : 44
- pôle phys. solaire : 21
- pôle astro : 48

L'équipe administration comprend 7 personnes, le Centre de Données "LEOPARD" agréé CATI comprend 19 ITA, et le pôle technique 42 ITA.



1.2. Mobilisation des ressources humaines

Au 1^{er} octobre 2008, les effectifs du laboratoire (hors stagiaires et visiteurs de moins de 6 mois) atteignent **254 personnes**. Le laboratoire compte **72 chercheurs permanents**, dont 27 CNRS (15 DR, 12 CR), 33 CNAP (15 astronomes, 20 astronomes adjoints), 12 enseignants-chercheurs (4 Prof, 8 MdC). Les chercheurs non-permanents comprennent 18 post-docs, 38 doctorants, 33 associés, usagers ou visiteurs de longue durée (*Soit un grand total de 167 chercheurs dont une quinzaine se partagent avec au moins un autre laboratoire ou institut*). Les ITA comprennent **64 ITA permanents** dont 43 CNRS (18 IR, 16 IE, 5 AI, 4 T), et 21 MEN (4 IGR, 4 IGE, 1 ASI, 12 T), plus 17 CDD (*Soit un grand total de 87 ingénieurs-techniciens*).

1.2.1. ITA et ITARF

L'ensemble des ITA est géré par la direction et les ITA sont affectés aux équipes projets des différents pôles, pour le temps de la mise en œuvre de ces projets. Il y a une véritable « horizontalisation » des métiers, type “cercle de métiers“, conduisant à une **structure matricielle** qui donne une grande souplesse de fonctionnement (**gestion centralisée des ITA** au niveau de la direction). Ceci a permis d'optimiser les ressources humaines du laboratoire en une période de **départs à la retraite massifs**. Cette mise en commun des compétences et des moyens humains constitue un levier essentiel dans une période marquée par la pénurie de postes.

La Table 1.1 ci-dessous dresse le bilan des arrivées-départs des ITA sur poste permanent CNRS et MEN de 1998 à 2017, répartis par quadriennal. Les postes mis en concours en 2008 ont été inclus, même s'ils ne sont pas encore pourvus. Par contre, à partir de 2009, les chiffres ne tiennent bien entendu pas compte des recrutements. La Table montre très bien la fin de la vague des départs (retraites en italique entre parenthèses dans la quatrième colonne, y compris 2 décès), correspondant principalement au départ des fondateurs du département de Recherche Spatiale, recrutés dans les

années 1965-1975 : 71 départs sur la période 1998-2009 (20 mutations, 49 retraites, 2 décès). Sur la même période, et après les recrutements, 18 postes d'ITA ont été perdus (ce nombre devrait diminuer après les recrutements 2009). Ces quelques chiffres démontrent l'ampleur des problèmes et difficultés qui ont dus être affrontés durant cette période, au cours de laquelle on constate un accroissement considérable de la productivité du laboratoire, tant dans sa capacité d'innovation instrumentale, que pour ses résultats scientifiques, comme le présent Bilan permettra de le constater. Très clairement, les moyens du LESIA ont été optimisés.

Quadriennal (Vague D)	ITA CNRS arrivées – départ	ITARF MEN arrivées – départ	Total Départs (retraites, dc)	Bilan général ITA perte
1998 - 2001	12 - 18	2 - 6	- 24 (-16)	- 9
2002 - 2005	15 - 14	10 - 12	- 26 (-14)	- 1
2006 - 2009	11 - 17 (*)	2 - 4 (*)	- 21 (-18)	- 8
2010 - 2013	- 5	- 3	- 8	- 8
2014 - 2017	-1	0	- 1	- 1

Table 1.1

(*) sont inclus les concours 2008 (non encore pourvus au 1/10/2008).

Globalement le LESIA doit gérer le **départ de 5 à 7 ITA par an (9 retraites en 2007)**. La perte moyenne est de 1 à 2 ITA par an. Il est clair que partent en retraite des chefs de projets expérimentés et des experts techniques, ce qui pose le grave problème de maintien de la qualification du laboratoire, car le LESIA a de nombreux engagements nationaux et internationaux qui doivent être honorés en toute circonstance. Cette pression impose de gérer les personnels de manière particulièrement volontariste pour :

- assurer la **pérennité de ses filières techniques** (il en sera question plus bas),
- conserver les **savoir-faire spécifiques**,
- assurer le **retour scientifique** des expériences du laboratoire,
- recruter les candidat(e)s d'excellence ayant déjà une **expérience acquise** au sein des équipes.

La stratégie de recrutement sur un plan pluri-annuel a été **soutenue par nos tutelles**, en particulier pour les postes CNRS-INSU qui portaient les forces vives en matière spatiale, mais aussi avec un soutien certain de l'Observatoire de Paris. Le soutien important du CNES est à noter : celui-ci a assuré un volant de CDD, permettant souvent de garantir la transition vers des postes permanents pour les métiers spécifiques spatiaux, métiers qui demandent souvent des années de formation dans les équipes projet. Dans une certaine mesure, le renouvellement profond des personnels du LESIA a pu apparaître comme une opportunité de renouvellement des modes de travail et de fonctionnement des équipes projet.

Le plan de recrutement du LESIA est mis à jour en fonction des recrutements obtenus et des départs effectifs. Le rattrapage des retards accumulés sur les cinq ou six dernières années, dont certains mettent en péril certaines filières instrumentales, la gestion des départs massifs sur la durée du quadriennal actuel (21), et les départs anticipés jusqu'à 2013, nous conduisent à un **minimum de trois à cinq recrutements annuels (CNRS et MEN) sur les quatre années à venir**.

Le détail du plan recrutement annuel est donné dans l'ANNEXE IX-6. Le poids est mis d'une part sur le **maintien de compétences techniques** qui vont depuis la **conception instrumentale** (bureau d'étude, optique, électronique, informatique embarquée, ...) jusqu'aux activités de **d'Assemblage Intégration et Tests** (mêmes compétence que ci-dessus), et à l'**Assurance Qualité**. Nous veillons à maintenir un équilibre dans nos équipes techniques dans lesquelles un maillon faible peut nuire

gravement à nos instruments. D'autre part, nous supportons les équipes du **Centre de traitements des données** (CATI) pour pouvoir extraire le meilleur des données fournies par nos instruments pour la qualité des publications de nos équipes de recherche.

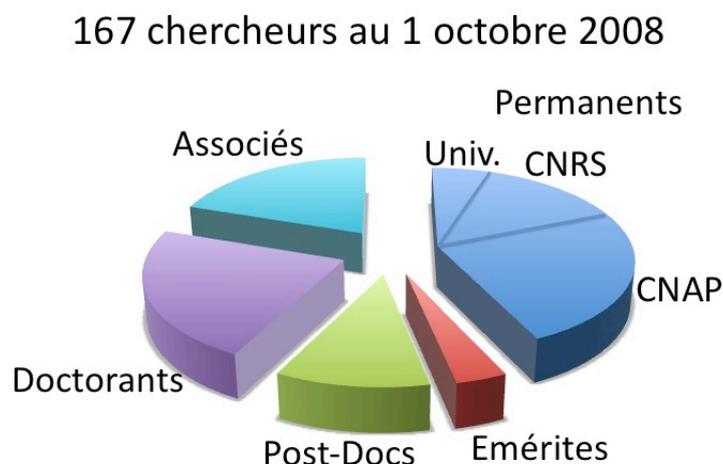
Cette stratégie de recrutement s'inscrit dans la continuité. Elle est associée à une **véritable politique des métiers**, visant à assurer la **préservation des métiers spécifiques** qui sont à la base de notre expertise (les filières instrumentales).

Parallèlement, le LESIA mène une politique dynamique de **formation permanente** qui soutient la **reconversion de profils** et l'**émergence de chefs de projets**. Grâce au soutien du CNRS –et à la qualité des agents promouvables–, un retard évident de promotions (en particulier vers IR1) commence à être épongé, mais l'effort doit être soutenu. Globalement, le laboratoire accuse encore un net retard de promotions. Pour tenter de pallier cette difficulté, les agents les plus méritants (et qui le peuvent) sont encouragés et soutenus par le laboratoire pour postuler aux concours internes et examens de qualification professionnelle. Les quelques résultats obtenus nous encouragent à persévérer dans cette voie.

La **taille du laboratoire** en ITA s'est avérée être un **atout considérable** pour remédier à l'ensemble des problèmes rencontrés, en globalisant ces problèmes qui pris séparément peuvent être fort délicats, voire insolubles. La **structure matricielle** des métiers permet de mener de front plusieurs projets à des stades différents, et de gérer correctement phases de R&D et phases de pré-étude. Les **transmissions d'expertises** et les **transferts de chefs de projets** d'un projet à un autre à travers les pôles ne sont pas rares, ainsi que les **cross fertilisations** entre des domaines voisins. S'établissent ainsi de véritables cercles de métiers ou **réseaux d'expertise** (par exemple miniaturisation, détecteurs, etc...), qui fonctionnent très bien parce que, d'une part ils sont soutenus formellement par une politique de formation permanente active (organisation régulière de séminaires techniques très suivis), et que d'autre part, ils bénéficient de la structure centralisée de la gestion des ITA.

1.2.2. Chercheurs et Enseignants-Chercheurs

Chercheurs et enseignants-chercheurs animent la vie scientifique du laboratoire, en s'appuyant sur les moyens techniques. Les permanents (72) représentent moins de la moitié des scientifiques.



L'évolution, présentée dans la Table ci-dessous, montre une **diminution nette du nombre de permanents, surtout au CNRS**, et une **augmentation du nombre d'universitaires**. La projection

en 2015 a été choisie, car c'est une date repère pour beaucoup de nos projets futurs, entre autre le programme Cosmic Vision 2015-2025, dans lequel le LESIA est fortement impliqué.

	CNRS	CNAP	Universités	Total
01.01.2002	34	36	7	77
01.10.2008	27	33	12	72
Horizon 2015	15	26	11	52
<i>Perte 2008-2015</i>	<i>-12</i>	<i>-7</i>	<i>-1</i>	<i>-20</i>

Clairement, au fil des ans, **le LESIA perd sa coloration CNRS** pour les chercheurs permanents (44% des permanents en 2002, 37% en 2008, et 29% projetés en 2015, sans recrutements). Alors que la force vive en ingénierie, particulièrement dans le **domaine spatial, reste au CNRS**. Cette diminution régulière d'environ un chercheur CNRS par an (après recrutement) résulte probablement en grande partie de l'effet "gros laboratoire", dont une tentative d'analyse sera présentée au paragraphe 3.1.

1.3. Cadrage

1.3.1. Axes de recherche

Les activités au sein des quatre pôles scientifiques se répartissent en 12 "opérations scientifiques" auxquelles les différents projets sont rattachés.

Physique des plasmas :

- Radioastronomie basse fréquence, spatiale et sol
- Mesure *in situ* des plasmas spatiaux
- Théorie et simulation des plasmas astrophysiques

Planétologie :

- Dynamique, composition et propriétés physiques des petits corps du Système Solaire
- Dynamique, composition et photochimie des atmosphères planétaires
- Surface des planètes et des satellites
- Origine et évolution du Système Solaire et autres Systèmes Planétaires

Physique solaire :

- Formation et structuration des champs magnétiques
- Phénomènes éruptifs et accélérations des particules
- Perturbations héliosphériques et météorologie de l'espace

Astronomie :

- Haute Résolution Angulaire (HRA)
- Physique stellaire

Les activités scientifiques de chacun des pôles sont résumées ci-après.

Le **Pôle Plasmas** du LESIA étudie les plasmas héliosphériques par l'observation, la théorie, et la simulation numérique. Cette approche est appliquée au diagnostic local (*in situ*) et à distance d'environnements variés, grâce à l'expertise instrumentale du pôle pour la conception et réalisation de récepteurs d'ondes radio inégalés. L'activité du pôle s'est concentrée autour de **l'exploitation des missions spatiales en vol** (Ulysses, Wind, Cassini, Image, Cluster et STEREO), la conception de l'instrument SORBET sur BepiColombo/MMO, pour l'étude de l'environnement de la planète Mercure, l'implication sur des projets spatiaux et sol, du milieu interplanétaire aux environnements planétaires (Solar Orbiter, Phoibos, Mona, Laplace, Sentinels, LOFAR).

Parmi les faits et résultats marquants on peut noter :

- 1) Premières mesures du **diagramme d'émission des sources radio solaires**, modélisation des sources radio des planètes géantes, mesure d'un spectre radio de référence de Jupiter, découverte de **sauts de potentiel électrique** dans le tube de flux Io-Jupiter, détection de la **période radio variable de Saturne**.
- 2) Mesure d'une baisse inattendue des **propriétés du vent rapide**, structure à grande échelle du vent solaire et **évolution radiale des fonctions de distributions des électrons**, mesure *in situ* de densité et température des **électrons à Saturne**.
- 3) **Modélisation** et accélération du **vent solaire**, simulations (**N-corps**) de la couronne et des phénomènes à petite échelle (**hybrides et Vlasov**), détection et interprétation théorique de l'**émission radioélectrique des gerbes cosmiques**.

La période 2004-2008 a vu les activités du **Pôle de Planétologie** du LESIA se resserrer autour de l'**exploitation de données spatiales** des missions Smart-1, Mars Express, Venus Express et Cassini-Huygens. Le LESIA est très fortement impliqué dans ces missions au niveau instrumental (VIRTIS/VEx en tant que PI, OMEGA/MEX, CIRS/Cassini, DISR/Huygens) et au niveau scientifique avec de nombreux co-Is sur plusieurs instruments. En parallèle, une partie de nos activités se sont également tournées vers l'étude des **planètes et des petits corps** du Système Solaire par des **observations au sol** ou depuis des **télescopes spatiaux** (Spitzer, Odin) dans tous les domaines de longueur d'onde, du visible au décimétrique. Des résultats fondamentaux sur la **dynamique, chimie et photochimie des atmosphères des planètes et des comètes**, et sur les **propriétés de surface des astéroïdes** et des **objets transneptuniens** ont été obtenus. Parmi les très nombreux résultats et faits saillants, qui seront détaillés dans le chapitre II.2, on peut extraire :

- Révélation de la **surface de Titan** avec DISR/Cassini-Huygens.
- Mise en évidence d'une **oscillation du vent équatorial** dans la stratosphère de Saturne avec CIRS/Cassini-Huygens.
- Découverte avec VIRTIS/VeX d'un **vaste vortex au pôle Sud de Venus**, et d'une structure complexe dans l'**émission nocturne de O₂**.
- Détection de l'**ammoniac hydraté** et de **N₂** sur les **objets transneptuniens**, et de **rapports isotopiques anormaux** dans des composées azotés **cométaires**.
- Mesure avec une **précision kilométrique**, par occultation stellaire, de la **taille de Charon**.

Les recherches du **Pôle de Physique Solaire** (PPS) portent sur l'étude de l'**activité magnétique de l'atmosphère du Soleil**, depuis ses origines au niveau de la photosphère jusque dans ses manifestations interplanétaires.

Le PPS exploite **de nombreux instruments** sol (NRH, THEMIS, VTT/DPSM,...) et espace (SOHO, TRACE, RHESSI, STEREO, HINODE, WIND). L'analyse de leurs observations se fait **en couplage avec des modélisations** (extrapolations du champ magnétique, simulations MHD et accélération de particules dans la couronne solaire). Parmi les faits saillants :

- la mise en évidence observationnelle de l'**émergence résistive de flux magnétique**, avec Thémis ;
- la mesure inédite du **support magnétique des parties basses des protubérances**, avec Thémis ;
- la découverte théorique et observationnelle avec Hinode du **mode de reconnexion glissante** ;
- les premières **images sub-mm de réactions nucléaires lors d'une éruption X**, avec le Multi-Beam Radiometer ;
- la découverte de la **forte érosion magnétique des éjections de masse (CME)** dans le vent solaire.

Le PPS a la responsabilité de plusieurs activités de service : **surveillance du Soleil** (spectrohéliographe de Meudon, radiohéliographe et interféromètre 3cm de Nançay), responsabilité

scientifique de la **prévision des événements à particules** (moniteurs à neutrons des Iles Kerguelen et de Terre Adélie). Le PPS a aussi la responsabilité de plusieurs centres de donnée : antenne meudonnaise **BASS2000** (données sol Soleil entier) ; service d'extrapolation des champs magnétiques vers la couronne (**FROMAGE** avec le CPhT) ; service transversal **SECCHIRH** (synthèse de données radios sol et espace, et des caractéristiques des éjections de masse (CME) observées par STEREO).

Les activités du **Pôle Astronomie** se sont renforcées autour des deux thématiques principales qui le structurent :

- d'une part **l'astérosismologie** axée sur le programme **CoRoT**, les programmes au sol associés et la modélisation numérique : dans ce domaine le fait marquant majeur de la période est sans conteste la mise en service réussie du satellite CoRoT, et la moisson de retombées scientifiques associées (notamment l'étude fine des **oscillations de type solaire** autour d'autres étoiles);

- et d'autre part **l'astrophysique à haute et très haute résolution angulaire** autour de la conception instrumentale et de l'exploitation astrophysique en optique adaptative, interférométrie et coronographie. Les principaux faits marquants dans ce domaine sont :

La découverte par interférométrie d'**enveloppes circumstellaires** autour des **Céphéides**;

La détection de la contrepartie **infrarouge** de la source radio associée au **trou noir** dans le **centre galactique** ;

Parmi les programmes instrumentaux : la réalisation au LESIA d'un **banc prototype** pour le projet "Rétinopathie" d'optique adaptative pour l'**ophtalmologie**, le démarrage des projets d'Optique Adaptative (OA) **SPHERE** et **EAGLE**, ainsi que le développement du banc d'interférométrie annulante **PERSEE** pour le CNES. L'intégration, en 2006, des activités instrumentales du pôle avec celles de l'ONERA/DOTA et du GEPI dans le groupement d'intérêt scientifique (**GIS**) **PHASE** (Partenariat Haute résolution Angulaire Sol - Espace) nous permet de renforcer notre présence sur ces programmes, et représente sans aucun doute une étape importante pour toute la discipline.

La thématique transverse des **exoplanètes**, historiquement très présente dans le pôle via les développements instrumentaux (CoRoT, MIRI, NAOS, SPHERE, ALADDIN, EPICS) est désormais marquée par l'obtention de résultats effectifs, avec les **cinq premières planètes découvertes par CoRoT** et des observations en **coronographie** et en **interférométrie** dans le domaine connexe des **disques de débris**.

1.3.2. Exploitation et développement du potentiel instrumental

La vocation du LESIA est **l'innovation instrumentale** dans le domaine de l'astronomie et de l'astrophysique, appliquée aux **instruments spatiaux et aux grands instruments au sol**, et **l'exploitation scientifique** des résultats ainsi obtenus.

Actuellement, **13 sondes spatiales** transmettent au sol des données issues d'instrumentation spatiale **conçue, développée et construite au LESIA**, et les données de 10 d'entre elles parviennent quotidiennement au LESIA. Par ailleurs, le LESIA est fortement impliqué dans trois gros instruments (avec 2 Co-Pis) qui sont en cours de production finale (JWST/MIRI, BepiColombo/MMO/SORBET et BepiColombo/MPO/VIHI).

Le tableau ci-dessous détaille contributions, et programmes en cours de développement.

Hardware LESIA en vol et en opération au 1 octobre 2008 (sur 13 sondes spatiales !)

Sonde	Exp.	lancement	contribution/responsabilités LESIA
ULYSSES	URAP	Nov. 1990 - Juil. 2008	2 analyseurs de spectre radio : 18 ^{ème} année ! (fin Nov.2007)
WIND	WAVES	Nov. 1994	PI/Co-PI ; 3 analys. spectre radio (1 numérique)
CASSINI	RPWS	Oct. 1997	1 analyseur de spectre radio numérique (2 voies)

CLUSTER (x4)	Staff/SA	Juill.-Août 2000	1 analyseur de spectre radio numérique (x4)
ODIN	SMR/AOS	Fév. 2001	PI fourniture AOS (spectromètre Acousto-Optique)
Mars Express	OMEGA	Juin 2003	imageur spectral en infrarouge (1 à 5 μ)
ROSETTA	VIRTIS	Mars 2004	canal Virtis/H (voie haute résol. spectrale 2 à 5 μ)
Venus Express	VIRTIS	Nov.2005	PI avec IASF-Roma
STEREO (x2)	WAVES	octobre 2006	PI ; analyseur de spectre 3 voies large bande
CoRoT		décembre 2006	PI ; IS ; Corot/CASE, CAM, LOG, AIV, Segt Sol
Hardware LESIA en fabrication			
JWST	MIRI	vers 2010	coronographe 4 quadrants
BepiColombo/ MMO	SORBET	2013	Instrumentation mesure spectre radio
BepiColombo/ MPO /VIHI		2013	Electronique de proximité / étalonnage détecteurs
Hardware LESIA en phase A / B et attente confirmation			
SMESE	DESIR	2013/14	PI analyseur IR lointain
ExoMars	MicrOmega	2013	électronique proximité détecteur, Détecteur/étalonnage
R&D spatiale			
Miniaturisation (ASIC, spectro IR); PERSEE (PEGASE et Darwin); Phase A: PLATOn, TANDEM, MarcoPolo			

L'implication dans les programmes au sol est également très importante, comme la table ci-dessous le démontre.

Grands Instruments/Equipements au sol en opération (et développés) sous responsabilité LESIA	
Radio Héliographe de Nançay	<i>observations quotidiennes</i>
Réseau Décamétrique de Nançay	<i>observations quotidiennes</i>
Héliographe λ -variable de Meudon	<i>observations quotidiennes</i>
Spectrohéliographe solaire de Meudon	<i>observations quotidiennes (depuis 1907 !)</i>
DPSM (Tour solaire Meudon, Pic du Midi, VTT, THEMIS, Wrocław)	
Banc SESAME	<i>moyen national</i>
Instrumentation au sol en opération développée et construite au LESIA	
Hécate sur ARTEMIS (Grèce)	<i>observations quotidiennes</i>
Spectro radio sur UTR-2 (Kharkov)	
Fluor sur CHARA	GriF sur CFHT
NAOS sur VLT	VINCI sur VLTI (décommissionné en 2008)
Nombreux Tip-Tilts : MegaCam sur CFHT, MACAO (5 pour VLTI + 3 pour SINFONI), SESAME	
Polarimètre Achromatique "Grands Télescopes" (monté sur AAT, Gregory, Locarno)	
Instrumentation au sol en développement au LESIA (et sur site)	
'OHANA	GEIL (Meudon et Hôpital des Quinze-Vingts)
Nombreux Tip-Tilts :	WIRCAM sur CFHT, SUBARU
SPHERE Banc PERSEE	Spectropolarimètre Tourelle (Pic du Midi)
Utilisation des grands télescopes mondiaux (toutes longueurs d'ondes : radio-optique) :	
Nançay, IRAM, CSO, CARMA, VLT, CFHT, IRTF (télé-observation LESIA), THEMIS, etc...	

Enfin, il faut ajouter à ces listes l'importante implication des personnels du LESIA dans **l'utilisation des moyens nationaux et internationaux de l'astronomie au sol** (IRAM, CFHT, ESO, VLT, CSO, JCMT, IRTF, ...). Dans le domaine de la planétologie, par exemple, ces observations ont permis la détection de nouvelles molécules cométaires et planétaires, ainsi que l'observation et la caractérisation d'objets lointains (Centaurés, TNOs, ...).

Ces développements instrumentaux s'appuient sur un fort investissement en R&D, dont la logique est décrite ci-dessous.

1.3.3. Recherche et Développement

Les activités de Recherche et Développement au LESIA représentent une **part essentielle** du processus conduisant à l'innovation instrumentale et à sa compétitivité. Ces activités rentrent dans la logique du développement des **filères technologiques** qui sera explicitée plus bas, en permettant au laboratoire de conserver, et d'élargir en permanence, son champ de compétitivité. La R&D est fondée sur **l'identification** (veille technologique), **l'assimilation**, puis la **mise en œuvre** d'innovations instrumentales et de sauts technologiques. En effet, des reconversions technologiques totales s'imposent parfois (par exemple le cas du développement d'ASIC analogiques). Alors, au cours du temps, ces activités s'intègrent dans la **logique à trois grandes phases** :

- (1) innovation - R&D ;
- (2) mise en œuvre - réalisation - opération ;
- (3) exploitation scientifique.

Notons l'intérêt pour le laboratoire, et d'ailleurs pour toute la discipline, de disposer de la part des tutelles et agences, de financements en phase avec le rythme de ces activités, et donc capables de pallier les aléas de réalisation de certains programmes, ce qui est inévitable pour les programmes spatiaux. L'existence de **financements récurrents** permet ainsi parfois de compenser utilement un creux de programmation spatiale par un renforcement des efforts de R&D. Dans le passé, le CNES est parfaitement rentré dans cette logique en soutenant fortement le laboratoire dans ses développements R&D, notamment pour la spatialisation de concepts instrumentaux, et particulièrement dans les creux de programmation spatiale. Ce mode de gestion particulièrement responsable nous paraît exemplaire et digne d'une tutelle (même si le CNES n'en est pas une pour le LESIA, au sens strict du terme).

Les activités de R&D sont fondées sur la collaboration très étroite des trois grands profils mentionnés plus haut : **l'instrumentaliste**, le **projeteur** et le **réalisateur**. Très souvent, ces activités sont effectuées en partenariat étroit avec l'industrie et en collaboration avec d'autres laboratoires impliqués dans des développements complémentaires (par exemple lors des reconversions technologiques mentionnées plus haut).

Nous détaillons ci-dessous, sous forme synthétique, les activités passées ou en voie d'achèvement au LESIA, en optique, en détecteurs, en électronique (fréquences radio) et en logiciels, puis nous donnerons un résumé des activités futures, souvent en prolongation et extension des activités passées. Ces dernières seront présentées avec plus de détails dans l'ANNEXE IX.20. Nous remarquons en passant que ces activités s'intègrent toutes, naturellement, dans la logique globale du Grand Etablissement "Observatoire de Paris".

Etudes R&D depuis 2004 :

1) Banc d'Optique Adaptative : Projet SESAME (banc optique polyvalent)

- Multi-analyse et optique adaptative pour grands télescopes ;
- analyseurs de surface d'onde performants (recherche d'exoplanètes) ;
- couplage optique adaptative – interférométrie (OHANA).

2) Interférométrie à fibres

- fibres monomodes pour le domaine 6-20 μm (interférométrie spatiale - et cadre de MIDI) ;
- fibres à maintien de polarisation en verres fluorés (OHANA) ;
- techniques de fabrication de fibres en verres fluorés (OHANA) ;
- systèmes de compensation de la biréfringence...

3) Sismomètre interférentiel à mesurer les oscillations des intérieurs stellaires

- faisabilité d'un sismomètre stellaire par TF. (SIAMOIS), pour la mesure de vitesse radiale.
- 4) Miniaturisation de spectromètres à TF Spatiale embarqués. Deux filières :**
 - spectromètres à très haute résolution spectrale (Transformée de Fourier),
 - spectromètres à basse résolution spectrale, ultra-légers (filtres variables).
- 5) Masque de phase coronographique à 4 quadrants**
 - principes d'achromatisation pour la coronographie à 2 μm (VLT-PF de l'ESO).
- 6) Détecteurs IR lointain non refroidi**
 - bande 35-150 μm : observations du Soleil en infrarouge lointain ;
- 7) Détecteurs visible APS**
 - comportement dans un environnement radiatif spatial;
- 8) Détecteurs IR SWIR et MWIR :**
 - participation au groupe FP 6, Opticon...
- 9) Conception d'ASIC analogique (collaboration avec le LISIF à Paris 6) :**
 - miniaturisation des récepteurs radiofréquences embarqués (contrôle automatique de gain, détection quadratique, mélangeur équilibré, synthétiseur de fréquence, etc).
 - miniaturisation de l'électronique de proximité des spectromètres embarqués.
- 10) Conception de cartes DSP spatiales :**
 - miniaturisation et réduction des consommations des récepteurs radio à faible bruit pour l'étude de la physique du Plasma (module analogique et filtrage numérique du signal -carte DSP)
- 11) Reconfiguration des logiciels de bord :**
 - technologies "composants", dans les systèmes liés au traitement de l'information => reconfiguration des logiciels spatiaux pour la maintenance corrective bord.
- 12) Analyse de Courbure pour le Traitement des Images solaires :**
 - nouvelle méthode d'analyse et de traitement des images à posteriori
 - application à la correction d'une optique adaptative de deuxième génération pour l'observation des grands champs stellaires et solaires.
- 13) Interférométrie radio basse fréquence :**
 - interféromètre expérimental à 2 antennes équipé d'un récepteur numérique adapté à la détection des émissions parasites typiques de la bande métrique (FASR)

Etudes R&D en cours et futures.

(Ces études sont détaillées dans l'ANNEXE IX.20)

1) Imagerie à haute dynamique

- a) FIRST : Fibered Imager foR Single Telescope : Masquage de pupille par fibres**
Reconstruction d'image par techniques interférométriques : *self-calibration*
- b) R&D Corono 4 quadrants multi passages :**
Besoin pour ELT-EPICS et coronographes pour le spatial :
- c) R&D Self Coherent Camera**
Problème : Résidu de phase en imagerie à haut contraste
Solution : coder les speckles en utilisant des franges d'interférences (recombinaison Fizeau)
- d) Le banc DAMNED : Dual Achromatic Mask for Nulling - Experimental Demonstrator**
Science : détection/caractérisation directe d'exoplanètes par nulleur interférométrique dans l'espace
- e) Exo-Planet Imaging Camera and Spectrograph (EPICS)**
Projet proposé pour OWL en FP6 (ELT-DS)

2) Imagerie à haute résolution angulaire

- a) ŒIL, 2 bancs : OA seule au CIC (CHNO des Quinze Vingts)**

OA/OCT au LESIA

b) **EAGLE** : Un instrument très ambitieux

Science visée : formation des galaxies lointaines ($z=0.5$ à 6)

Spectro multi objet (20 à 30 galaxies) 20 à 30 spectros

c) **CANARY** : **Démonstrateur** technique pour EAGLE

d) **ADONF** : Un analyseur de front d'onde nouveau (R&D) destiné à EAGLE, CANARY, ...

3) **Imagerie radio du futur**

a) **FASR** : Prototype de récepteur numérique en ondes radio basse fréquence (50-300 MHz)

4) **Très haute résolution angulaire multi pupilles**

a) **OHANA**

Interféromètre imageur Keck I - Keck II - Subaru

b) **GRAVITY** : Instrument de 2ème génération du VLTI

Mesurer directement le champ gravitationnel engendré par le trou noir au centre de la galaxie

c) **PERSEE** : **démonstrateur** laboratoire pour la stabilité d'un nulleur interférométrique spatial

d) **ALADDIN** : préparation sol (antarctique) d'un détecteur spatial d'exoterres

5) **Photométrie à haute dynamique [SIAMOIS, PLATO]**

a) **SIAMOIS** : Astérosismologie au Dôme C

b) **PLATO** : PLAnetary Transits & Oscillations of stars

Mission présentée dans le cadre du programme Cosmic Vision de l'ESA, AO en cours

6) **Spectropolarimétrie à haute résolution [SPIROU, EST-DS]**

a) **SPIROU** : Spectropolarimétrie haute résolution dans l'IR au CFH

b) **EST-DS** : Polarimètre à cristaux liquides LCVR à transmission par fibres optiques

c) **EST-DS** : Double Passage Soustractif Multi-canal (DPSM) avec éclateur de faisceau à fibres optiques

7) **R&D Spatiale**

a) **La mission SMESE (Small Explorer for Solar Eruptions)**

Un microsatellite CNES / CNSA (Chine) en orbite polaire héliosynchrone

L'instrument DESIR : un photo imageur infrarouge lointain

R&D : filtres et matrice de μ bolomètres non refroidi

b) **Software** : Algorithmes embarqués

c) **Spectro-imageur miniaturisé**

étudier les caractéristiques d'un concept de spectro imageur miniaturisé, combinant haute résolution spectrale et imagerie pour des applications planétaires

→ Spectro imageur IR/Cosmic Vision (Marco Polo, Laplace/Tandem)

d) **2 Développement d'ASIC spatiaux** (contraintes de radiation) :

- pilotage d'une matrice infrarouge et traitement du signal vidéo ; gestion des HK

- miniaturisation d'un récepteur radiofréquences (10kHz – 40 Mhz) très faible bruit

1.4. Dispositif méthodologique

1.4.1. Maîtrise de la gestion de projets

Pour mener à bien ses projets, le LESIA s'est fortement investi en vue de maîtriser les techniques spécifiques au domaine spatial, en ce qui concerne : **gestion des projets**, selon une **approche système, méthodologie et ingénierie spatiale**. L'expertise acquise en **logiciels de vol** est également notable. Cette maîtrise tient à ce que, depuis la création du Département Techniques Spatiales par

Jean-Louis Steinberg au début des années 60, jusqu'à maintenant, le laboratoire a toujours eu en permanence la **responsabilité intégrale**, en **maîtrise d'œuvre**, d'**au moins un projet spatial**, voire souvent deux ou plus. Ce métier difficile, appris lors des premiers projets spatiaux, et approfondi sur les projets suivants, constitue la **culture du LESIA**, qui est transmise à la plupart des ingénieurs et techniciens du laboratoire qui bénéficient ainsi d'une formation en continu. Cette **compétence de systémier-intégrateur** nous est largement reconnue et a pu être mise en évidence et valorisée lors de l'intégration de la partie centrale du modèle de vol de CoRoT (CorotCASE) dans les locaux du LESIA, à l'Observatoire de Meudon. Avec le temps, les techniques changent : les projets se complexifient, se multiplient. Pour encadrer cette évolution, le laboratoire s'est largement tourné vers la **sous-traitance** et/ou le **partenariat** pour beaucoup de réalisations, développant ainsi sa **compétence d'équipementier**.

Cependant, il nous paraît **essentiel** de conserver, au sein même du LESIA, la **maîtrise des détecteurs** et de la partie instrumentale directement liée à la **physique de la mesure**. De même, lors des **intégrations**, **tests** et **calibrations**, le rôle du laboratoire est à nouveau essentiel. L'implication technique du LESIA est donc essentielle en **amont** comme en **aval**. Il importe de souligner l'importance de l'**expertise en ingénierie spatiale**, qui est indispensable pour rester dans l'arène spatiale internationale, car elle assure le **contrôle de la maîtrise d'œuvre** de certaines parties critiques (pour la science) des équipements de vol. Cette **expertise en spatialisation** doit impérativement être **conservée** dans les laboratoires comme le LESIA qui seuls peuvent prendre en charge des projets scientifiques spatiaux de petite ou moyenne taille et jouer ainsi un **rôle majeur dans l'innovation instrumentale**. En outre, les **perspectives** de ce domaine sont larges puisque les agences spatiales annoncent, en plus de très grands projets clairement à l'échelle de l'industrie, de nombreux projets à la mesure des laboratoires de recherche dans beaucoup de thématiques où le LESIA est directement impliqué.

Schématiquement, les grands laboratoires instrumentaux pluri-disciplinaires (donc à plusieurs pôles scientifiques, comme le LESIA) peuvent avoir le choix entre deux approches :

- modèle 1 : "*l'alternance*", qui consiste à concentrer le gros du potentiel technique sur un gros projet porté par l'un des pôles du laboratoire, pendant que les autres pôles sont dans des phases d'exploitation scientifique ou de R&D instrumentale ;

- modèle 2 : "*la parallélisation*", qui consiste à répartir le potentiel technique sur plusieurs projets plus petits, et à des stades différents, ce qui revient à privilégier la notion de "*filière instrumentale*", alimentée en permanence. Cette notion sera présentée plus bas.

En suivant une typologie proposée par nos tutelles (Classe 1 > 50M€ ; 10 M€ < Classe 2 < 50 M€ ; Classe 3 < 10 M€), le modèle 1 peut être celui choisi par un laboratoire s'impliquant dans de grands projets (classe 1 ou classe 2), le modèle 2 sera celui préféré par un laboratoire comme le LESIA s'impliquant surtout dans des projets de classe 3 (moins de 10 M€).

1.4.2. Culture des filières instrumentales

De fait, ces nombreuses réalisations se regroupent en quelques "filières instrumentales", le plus souvent basées sur la **mise en œuvre d'une innovation instrumentale**. Un développement instrumental novateur se produit lorsqu'un problème astrophysique soulève un problème instrumental qui lui-même suscite, une fois résolu, une solution au problème astrophysique. Ainsi, une fois mis en œuvre, ce progrès instrumental ouvre de nouvelles perspectives astrophysiques, souvent par le biais d'un nouveau champ d'investigations, d'une part, mais tout en amorçant un mouvement d'innovations instrumentales, lui-même porteur de potentialités investigatrices, d'autre part. Le processus est ainsi bouclé. C'est d'ailleurs la base de la méthode scientifique. Mais ici, le

couplage entre astrophysique et instrumentation est non seulement très fort, mais constitue le **moteur** même du progrès astrophysique ET instrumental, et donc le cœur de la mission des laboratoires de recherche fondés sur l'instrumentation, tels que le LESIA.

Toute innovation instrumentale donne un avantage à ceux qui la mettent en œuvre, pendant un temps limité. Pendant le temps que dure cet **attrait**, le laboratoire dispose d'un réel **atout** pour être sélectionné et placer son instrumentation. Mais, pour qu'une filière se constitue, puis se développe et se pérennise, il va falloir constamment **la ressourcer**, en améliorant le dispositif instrumental par de **nouvelles innovations**, ou en bénéficiant de **sauts technologiques** (par exemple nouveaux composants, miniaturisation). Ceci suppose de coller aux besoins de l'astrophysique pour opérer le bouclage dont il a été question plus haut, bouclage qui est à la base du progrès instrumental (et astrophysique).

Le LESIA vit de filières. Certaines perdurent depuis longtemps (plus de 40 ans pour les récepteurs radio), restant compétitives grâce à des **progrès permanents** et à **des sauts technologiques**. Ces filières constituent un des **atouts majeurs** du laboratoire, avec ses capacités en **analyse de données, modélisation, et simulations** dont il sera question plus bas.

Les grandes filières instrumentales du LESIA, à la base de sa compétitivité internationale, sont :

- récepteurs radio spatiaux (VLF à HF) ultra sensibles
- récepteurs visibles et IR 2-5 μ
- tip-tilts (\rightarrow espace ?)
- spectro-imageurs embarqués
- photométrie à très haute précision relative
- spectro-polarimétrie
- imagerie radio VHF/UHF (\rightarrow espace ?)
- optique adaptative
- interférométrie à fibres
- imagerie 3-D in vivo par OA-OCT (Œil)
- coronographie 4-Q "quatre quadrants"

rouge : spatial noir : sol

1.4.3. Partenariats

Comme tout grand laboratoire instrumental, le LESIA est très ouvert aux **partenariats** et **collaborations** avec la grande industrie, comme avec les PME, pour la plupart de ses projets. Mais ces coopérations, pour durer, supposent que le LESIA alimente continuellement le flux d'innovations dont ses partenaires ont besoin, et conserve donc la **maîtrise de moyens suffisants** en **bureau d'étude** et support technique (**atelier, électronique, optique**). Le **triangle instrumentaliste, projeteur, réalisateur** constitue, en effet, un **socle indispensable de la R&D** comme du prototypage et le maintien de ce socle suppose que les investissements matériels et humains correspondants soient financés.

1.5. Traitement et exploitation scientifique des résultats

1.5.1. Modélisation et simulation

Parce que fondées sur des bases théoriques fortes, **modélisations et simulations constituent des composantes essentielles des projets scientifiques spatiaux et sol** du LESIA, et ce dès leur phase

de conception. Le développement de ces pôles d'excellence en matière de modélisation et de simulations a d'ailleurs conforté grandement la constitution des filières technologiques complètes énumérées ci-dessus.

Les thématiques du LESIA ont amené à cultiver les pôles d'excellence suivants en théorie, modélisation et simulations :

- théorie et modélisation des antennes dans les plasmas et de la propagation des ondes
- théorie cinétique, modélisation, simulation numérique (codes Vlasov, etc)
- interaction vent solaire/magnétosphère, dynamique magnétosphérique
- chocs, turbulence
- mécanismes de rayonnement (radio)

- transfert radiatif dans les atmosphères planétaires et cométaires
- spectroscopie IR et mm des objets du système solaire
- dynamique des objets du système solaire
- modèles d'évolution de la nébuleuse protosolaire
- modèles d'atmosphères d'exoplanètes

- transfert de rayonnement, polarisé ou non, inversion des raies spectrales polarisées
- modélisation des rayonnements X, gamma et radio, MHD et plasmas
- technique d'extrapolation des champs magnétiques
- techniques d'inversion en temps réel
- techniques de traitement d'images interférométriques
- physique atomique, des collisions, de l'élargissement et de la polarisation des raies

- analyse de la turbulence atmosphérique
- modélisation des pulsations stellaires

1.5.2. Bases de Données et Centres de Données

Le LESIA doit faire face à l'**archivage massif de données**, tant **spatiales** que **sol**. Il est **également utilisateur** de données archivées. Le laboratoire est donc en relation permanente avec plusieurs bases de données nationales, européennes et internationales. En particulier, en s'appuyant sur le Centre de Traitement Automatisé de l'Information "LEOPARD", qui sera présenté au paragraphe 2.1, il est responsable d'une importante base de données (BASS2000), ainsi que du Centre de Données Corot (CDC), qui sont décrits ci-dessous.

La base de données « Soleil Entier multi-longueur d'onde » BASS2000

BASS2000 est un **service labellisé SO5 INSU**, dont l'antenne meudonnaise est sous la responsabilité du PPS. En dehors de son activité principale d'archivage des données Soleil-entier de Meudon et de Nançay mentionnées ci-dessus, le PPS travaille actuellement à la finalisation de codes de **détection automatique de structures** sur les images du Soleil, et au développement de techniques de **suivi temporel automatique** de ces structures. Ce travail pourrait prendre une grande ampleur dans le cadre d'un futur programme européen en cours d'élaboration visant à construire un **observatoire virtuel héliosphérique**. BASS2000 y jouerait un **rôle majeur** en tant que responsable d'un workpackage. Il est prévu dans ce cadre de développer des outils statistiques permettant l'étude des structures, de leur évolution et de leurs inter connections. Par ailleurs, une discussion est en cours avec l'Observatoire de Coimbra (Portugal), qui souhaiterait que leurs observations, similaires à celles du spectrohéliographe de Meudon, soient mises en ligne à BASS2000. Une réflexion sur la

modernisation de l'interface de BASS2000 est en cours. Elle vise non seulement à améliorer l'ergonomie du site mais aussi à prévoir l'arrivée de nouveaux types de données et de résultats de traitements, notamment dans le cadre du programme SOTERIA.

BASS 2000 Meudon est une **vitrine de la physique solaire** et sans doute la base de données solaire sol **de loin la plus évoluée et parmi les plus consultées**. Ses données, qui ont pour objectif à long terme de fournir des informations sur le cycle solaire, servent régulièrement de support aux observations sur de grands télescope (sol ou espace) pour les préparer. Un miroir des données de Meudon est d'ailleurs disponibles, à la NASA (GSFC) et le nombre moyen d'accès atteint **10 000 "hits" par jour** (en croissance, année après année).

BASS 2000 est en passe de devenir **l'un des éléments clés de l'observatoire virtuel solaire**. Par ailleurs de nouveaux types d'accès aux utilisateurs ont vu le jour, permettant entre autres une interrogation et un traitement de la réponse automatiques et facilitant le traitement de masse des données. Les grandes quantités (en nombre de fichiers, sinon en volume) de données dont nous disposons nous placent en excellente position pour tester de nouvelles méthodes.

Les implications des services FrOMagE et SECCHIRH dans BASS2000 seront présentées dans le Chapitre II.3.

Le Centre de Données COROT CDC

Le LESIA assure la responsabilité globale du Centre de Données COROT (CDC).

Les principales missions de ce centre sont la définition, le développement et l'exploitation de la **chaîne complète de traitement des données du satellite CoRoT**.

La première étape des corrections instrumentales, sous la responsabilité du scientifique de projet (LESIA), prend en compte les **caractéristiques de l'instrument et ses calibrations**. La deuxième étape, qui se base sur des données acquises spécifiquement par des programmes sol complémentaires, nécessite des **expertises scientifiques** précises ; elle est partagée entre le LESIA, l'IAS et le LAM.

Pendant les premiers mois de la mission, le CDC a assuré la produit des fichiers N1 nécessaires au LAM pour la détection des alarmes de transits ; après avoir finalisé les traitements adaptés et assuré la formation des équipes concernées, le LESIA a transféré cette production au Centre Spatial de Toulouse (CNES) en juillet 2008.

Le LESIA accueille à la fois les **machines de développement** sur laquelle l'ingénieur qualité gère les différentes versions des logiciels et assure les recettes et les tests de la chaîne complète, et la **machine de production** sur laquelle sont générées les données corrigées destinées à la communauté scientifique.

Les données sont livrées à l'IAS qui les stocke en base de données et les met à la mise à disposition de la communauté scientifique via une interface web dédiée qui gère les différents droits d'accès.

Le centre CDC assure l'aide aux utilisateurs sur le plan technique et scientifique ; il peut accueillir dans ses locaux des **réunions de formation** et des **forums de discussion** et apporte son soutien matériel à l'organisation des **événements scientifiques** autour de CoRoT.

L'équipe du centre de données CoRoT du LESIA participe aux **opérations régulières de mise en station du satellite** : à chaque changement d'orientation du satellite (4 ou 5 fois par an), le pointage et le fenêtrage doivent être reprogrammés. Ces opérations critiques qui nécessitent une préparation

rigoureuse se déroulent au CNES/CSToulouse et durent environ une semaine.

La mise en place du CDC au sein du LESIA, et son succès, démontre l'intérêt (et la nécessité !) qu'il y a à implanter ce type d'activité **sur le site même où l'instrumentation a été conçue**, de façon à garantir le bouclage entre concepteurs et utilisateurs.

2. Mise en œuvre des moyens

2.1. Le Centre de Traitement Automatisé de l'Information (CATI)

Le LESIA a mis en place un Centre de Traitement Automatisé de l'Information "LEOPARD", centre **homologué CATI** par le CNRS. La première mission du LEOPARD consiste à assurer le développement et l'exploitation de chaînes de traitement automatisé de données satellitaires et sol. Une seconde mission du LEOPARD, liée à la première, consiste à prendre en charge, en développant et en mettant en œuvre les moyens informatiques adéquats, le stockage, l'archivage et la diffusion des données traitées.

2.1.1. Projets et Développement

Les données scientifiques produites quotidiennement par les instruments du LESIA en cours d'exploitation doivent être transmises le plus rapidement possible à la communauté scientifique internationale pour laquelle ces instruments ont été conçus (communauté scientifique de la physique des plasmas, de la physique solaire, de la planétologie ou de l'astrophysique).

La conception, le développement, la mise en œuvre et l'exploitation de ces chaînes de traitement recouvrent un grand nombre de savoir-faire et de compétences. Le LEOPARD est ainsi structuré autour d'équipes composées de chefs de projets, d'ingénieurs en développement logiciel, d'ingénieurs en informatique scientifique, d'administrateurs de base de données, de gestionnaires de site Web, de techniciens d'exploitation, etc.

Actuellement, le LEOPARD gère plusieurs **chaînes d'étalonnage et de traitement de données**.

Par exemple, pour la communauté scientifique des **planétologues**, le LEOPARD a en charge le pipeline de **calibration des données de l'instrument VIRTIS** embarqué sur la sonde Venus Express. Des outils de réduction des données VIRTIS sont aussi mis à disposition de la communauté à travers un serveur WEB.

Pour la communauté scientifique de la **physique des plasmas**, le LEOPARD gère, entre autres infrastructures, la chaîne d'étalonnage et de traitement des données des **analyseurs de spectre radio URAP et STAFF** embarqués respectivement sur les sondes spatiales ULYSSES et CLUSTER : en entrée du pipeline, la télémétrie brute est reçue directement de la NASA ou de l'ESA, et, en sortie, les données exprimées en valeurs physiques de niveau 2 sont distribuées sous la responsabilité du laboratoire.

Pour la communauté scientifique des **astrophysiciens** et dans le cadre du projet CoRoT, le LEOPARD a mis en place un **centre de données** et un **atelier logiciel vol** qui jouent un rôle de premier plan, d'une part dans l'**exploitation** des données scientifiques et techniques de la mission, et d'autre part dans la **préparation des observations**. Depuis le 2 janvier 2007, date de la mise sous-tension de la charge utile, le LEOPARD reçoit quotidiennement, en provenance du Centre de Mission hébergé au CNES, la télémétrie scientifique et technique de l'instrument. Ces données alimentent différentes chaînes de traitement de données automatisées, comme les chaînes de corrections instrumentales ou encore les chaînes d'analyse technique de l'instrument et de son logiciel vol. Les données produites par les chaînes de corrections instrumentales sont transférées à l'IAS qui se charge de les distribuer à la communauté scientifique.

Pour la communauté scientifique de la **physique solaire**, le LEOPARD a développé un système logiciel permettant de gérer de façon **automatisée** les **observations systématiques** multi longueurs d'onde du Soleil effectuées par le spectrohéliographe de Meudon et le Radiohéliographe de Nançay. Ces données sont transmises et insérées automatiquement dans la base de données BASS2000.

2.1.2. Stockage, archivage et diffusion des données

La deuxième mission du LEOPARD est directement liée à la première : elle consiste à assurer le **stockage**, l'**archivage** et la **diffusion des données** produites par les chaînes de traitement.

Une activité importante du LEOPARD consiste dès lors à **concevoir**, **mettre en place** et **administrer** des **systèmes de gestion de bases de données** capables de prendre en charge de très gros volumes de données (plusieurs Tera octets). Le LEOPARD gère actuellement **plusieurs bases de données** comme la base de données **CLUSTER**, la base de données **Venus Express/VIRTIS**, la base de données des **étalonnages de la mission COROT** ou encore la base de **spectres solaires multi-longueurs d'ondes et d'images radio SECCHI**.

Le LEOPARD gère aussi, pour la communauté scientifique de la physique solaire, des catalogues en ligne de données d'observations d'instruments sol. Ainsi, la **base de données BASS2000** constitue une archive accessible via le Web des observations systématiques du Soleil (observations quotidiennes du spectrohéliographe de Meudon, données du radiohéliographe de Nançay, images du coronographe du Pic du Midi).

Parmi toutes les expériences développées au Laboratoire, le LESIA est parfois Principal Investigator d'un instrument pour lequel nous avons une tâche de traitement informatique de distribution de données vers les co-investigateurs internationaux (ESA, NASA, JAXA, ESO).

2.1.3. Exploitation scientifique et Administration

Le LESIA dispose d'équipements et de logiciels informatiques qui répondent aux besoins quotidiens des personnels du laboratoire. Ils se déclinent en plusieurs services proposés à l'ensemble du laboratoire : traitements de moyenne taille, impression, serveur de licences IDL, sauvegarde, stockage, listes de diffusion, serveurs Web, outils collaboratifs ... Ces différents services s'appuient sur des architectures matérielles composées de serveurs sous Linux et de logiciels Open Source.

À côté de ces **serveurs départementaux**, on trouve des **machines d'équipe**, financées sur les crédits des expériences, et dédiées à l'exploitation des données de ces expériences : ce sont des stations Unix (HP/Compaq Tru64 et SUN/Solaris) et de plus en plus de PC puissants sous Linux.

Pour les **traitements** de données et **calculs intensifs**, les membres du laboratoire utilisent les **machines du SIO** de l'Observatoire de Paris (cluster, grille de calcul EGEE) ainsi que les **moyens de calcul nationaux**.

Les postes de travail sont pour l'essentiel des PC ou des Mac, au choix de l'utilisateur. Les ingénieurs sont quasiment tous équipés en PC ; la répartition parmi les chercheurs est partagée. Un support micro-informatique est assuré et des outils d'inventaire du parc sont utilisés.

L'informatique administrative (serveur XLAB, postes de travail) vient d'être renouvelée pour une meilleure adaptation aux logiciels BFC et SIFAC en particulier, ainsi qu'aux applications Labintel (passage sous PC).

Le laboratoire a une politique de sauvegarde : d'une part, un service de sauvegarde basé sur le logiciel AMANDA est proposé pour les serveurs des équipes et projets, d'autre part, les postes de travail sont sauvegardés sur un espace disque via un logiciel client. Les sauvegardes sont effectuées

sur disques et sur bandes LTO.

Au niveau réseau, une segmentation au niveau IP a été réalisée en partenariat avec le SIO et la mise en place prochaine de VLAN permettra d'atteindre l'objectif d'amélioration globale de la sécurité.

Afin de faciliter le partage des informations entre les différentes composantes du laboratoire, les personnels proches des moyens informatiques communs constituent le **Groupe Informatique du LESIA (GIL)**. L'objectif principal de ce groupe est de proposer des architectures matérielles et logiciels mutualisées afin d'optimiser l'usage des ressources (équipements et logiciels) et des infrastructures (salles, réseau, sécurité) informatiques, notamment pour le Centre de données LEOPARD (agrégé CATI).

2.2. Moyens techniques

À l'heure actuelle, le laboratoire dispose d'**une dizaine de salles blanches** dédiées à des activités d'intégration spatiales, à des bancs optiques et à des intégrations électroniques. Le détail de ces salles ainsi que leur affectation est décrite dans l'annexe IX.21 qui regroupe tous nos moyens techniques.

Un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) est en cours de mise en place, destiné à coordonner les moyens de test et d'intégration qui sont complémentaires dans le domaine de l'astrophysique spatiale au **LESIA**, à l'Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay (**IAS**), et au Service d'Astrophysique de Saclay (**SAP** de l'IRFU). Ces trois laboratoires ont développé au fil du temps de nombreuses collaborations fructueuses autour de programmes majeurs du CNES, de l'ESA et de la NASA. Ce **GIS MoTeSPACE** (Moyens de Tests spatiaux franciliens pour l'astrophysique) donne lieu à une **convention** qui devrait être signée sous peu. Ce GIS permettra de **coordonner des moyens de test et d'intégration couvrant quasiment l'ensemble du spectre électromagnétique** γ et X, UV, visible, infrarouge proche, moyen et lointain, submillimétrique et radio de HF à ELF. Dans chacun des laboratoires LESIA, SAP et IAS, le succès de la mise en œuvre de ces moyens est fondé sur l'expertise spécifique du personnel spécialisé dans leur utilisation, formé tout au long des nombreuses missions spatiales qu'ils ont réalisées, et aussi sur le fort couplage entre ingénieurs et chercheurs autour de ces moyens de test. Ce GIS, une fois mis en place, contribuera certainement à la visibilité de ces activités autour de l'**Astrophysique Spatiale en Ile-de-France**, et à une meilleure optimisation de l'utilisation de ces moyens, souvent uniques.

2.3. Formation permanente

(voir aussi Chapitre VI, et ANNEXE IX-16)

Comme cela a déjà été indiqué au paragraphe 1.2.1, la formation permanente est, au LESIA, particulièrement **intégrée au processus des projets**. Une **commission** de quatre membres, dont le correspondant formation auprès de la délégation régionale, émane du Conseil de Laboratoire. Cette commission est principalement chargée de :

- Etablir la politique générale de formation en concertation avec le Directeur du Laboratoire en recensant les besoins du laboratoire et des personnels
- Répercuter ces besoins auprès du CNRS et du MEN, les deux tutelles du Laboratoire qui offrent des prestations en matière de formation permanente
- Informer le personnel des possibilités de stages
- Transmettre les demandes de stage.

Un des outils principaux de cette commission est un **serveur interne au LESIA** (intranet), dédié à la formation permanente.

La commission FP a également pris en charge l'organisation de **séminaires techniques** internes au LESIA. Ces séminaires sont courts (environ 1 heure) de forme libre, et permettent, essentiellement aux ITA, de connaître l'activité de leurs collègues. La liste de ces séminaires est fournie dans l'ANNEXE IX-14.

Des **détails** sur le fonctionnement de la Commission et le bilan des années passées sont fournis dans le **Chapitre VI** du présent bilan. Le Plan de Formation de l'Unité (PFU) et le Plan d'Actions Annuelles (PAA) sont donnés dans l'ANNEXE IX-16.

2.4. Hygiène et Sécurité

(voir aussi Chapitre VII, et ANNEXE IX-17)

L'Hygiène et la Sécurité (H&S) occupent une **place importante** parmi les préoccupations de la direction du LESIA. En effet, le LESIA, fait face à un grand nombre de situations nécessitant une gestion très rigoureuse de l'H&S (machines-outils, travail isolé, utilisation de produits chimiques, source radioactive, travail sur équipements électriques, utilisation de lasers, etc.).

La constitution d'un Comité d'hygiène et de sécurité des laboratoires du CNRS est prévue et définie dans le Bulletin Officiel de l'organisme. Les textes donnent la possibilité à plusieurs laboratoires regroupés sur le même site de créer un "**Comité Spécial d'H&S**". Ceci s'est traduit à l'Observatoire de Paris (EPSCP) par la mise en place d'un "**Comité d'Hygiène et de Sécurité**" de l'Observatoire de Paris, Comité Paritaire présidé par le Président de l'Observatoire, qui traite de toutes les situations pouvant se présenter sur les 3 sites qui relèvent de cet établissement (Paris, Meudon, Nançay).

Cependant, pour les raisons développées plus bas, le LESIA a tenu, dès sa création en 2002, à créer une "**Commission Hygiène et Sécurité du LESIA**", qui se réunit formellement deux fois par an, les interactions et réunions de travail étant évidemment très nombreuses entre ces réunions. Cette Commission est **présidée par le Directeur** du Laboratoire. Elle comporte **cinq ACMOs** (Agent Chargé de la Mise en Œuvre des règles d'hygiène et de sécurité), qui ont suivi les formations appropriées du CNRS. L'un d'entre eux coordonne les activités et assure le lien avec le directeur. Les autres se répartissent des rôles précis, ainsi que le suivi des dix bâtiments du campus de Meudon dans lesquels les agents sont répartis. Lors des réunions formelles de la Commission (deux fois par an), suivant l'ordre du jour, les personnalités suivantes peuvent être invitées aux réunions : *l'Ingénieur H&S du CNRS DR5* (inspecteur régional d'Hygiène et Sécurité), *le Médecin du CNRS* assurant le suivi médical des agents CNRS du Laboratoire, *le Médecin de l'Observatoire* assurant le suivi médical des agents MEN du Laboratoire, *l'Ingénieur H&S Observatoire*, un *représentant du STID* (Service Technique Immobilier et Domanial de l'Observatoire de Paris).

La Commission H&S LESIA permet de **rester proche des préoccupations des agents et des situations** rencontrées, sans toutefois se substituer au Comité H&S de l'Observatoire, afin :

- d'identifier défaillances et problèmes
- de faire remonter les demandes (ex : sécurité, mise aux normes, etc.)
- de vérifier la mise en application des règles de sécurité et de prévention.

Ainsi, la CHS LESIA joue un rôle fort utile, et qu'elle est seule à pouvoir jouer, pour gérer de nombreuses questions : établissement du "document unique", inventaire des situations à risque,

habilitations diverses (électriques, autorisations d'accès aux machines-outils), formations diverses (ACMOs, secourisme, laser, sources radioactives), suivi des locaux, identification des besoins, etc.

Le coordinateur des ACMOs LESIA étant lui-même membre du CHS de l'Observatoire, la communication entre LESIA et Observatoire s'établit de fait naturellement. Mais cette représentation n'est pas statutaire. A priori, le Directeur devrait pouvoir être membre ès-qualité du Comité Spécial d'H&S de l'Observatoire.

Le bilan et rapport des activités touchant à l'hygiène sécurité font l'objet de la Section VII du présent rapport, et le détail du dernier "Document Unique" est fourni dans l'Annexe IX-17.

3. Articulations sur l'environnement

3.1. Le LESIA, la plus grosse Unité en Astronomie-Astrophysique

Par sa taille (254 personnes dont 136 permanents au 1^{er} octobre 2008), le LESIA est la plus grosse Unité de Recherche de France en Astronomie Astrophysique. Si ceci lui apporte des avantages certains, évoqués à de nombreuses occasions dans ce rapport, cela conduit à un certain nombre de difficultés.

Gestion et administration : La mise en place d'un gros laboratoire comporte des avantages évidents. Le premier est certainement de simplifier les interfaces entre les tutelles et les différentes équipes. Cependant ceci conduit à reporter vers le laboratoire des tâches relevant préalablement des administrations centrales. Ainsi, il est nécessaire de **renforcer le soutien administratif et gestionnaire au niveau du laboratoire** ; il lui faut donc un administrateur de tout premier plan, omniprésent, sachant aborder tous les problèmes, et encadrant une équipe compétente et nombreuse. Le LESIA a été très soutenu sur ce point.

Implantation Universitaire : Le LESIA est une UMR dont l'affectation principale est un Grand Etablissement, l'Observatoire de Paris. Même si l'Observatoire est un EPSCP, Etablissement Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel, avec un statut dérogatoire d'Université, son contact avec le milieu universitaire reste limité. Pour le LESIA, département de l'Observatoire, l'association avec une ou plusieurs universités est donc fondamentale. La **diversité des thématiques** abordées **rend nécessaire et vitale son association à deux Universités**. Le caractère transverse des disciplines de l'Observatoire rend possible ces associations, sans présence de l'une ou l'autre université. Ceci doit être compris et accepté de tous.

Arithmétique : Un laboratoire est une Unité (de Recherche) quelle que soit sa taille, mais pas une unité (au sens arithmétique) quelle que soit la question abordée. Tel est le cas, en particulier, pour tout ce qui touche aux **attributions de postes**, ou autres **affectations** et **attributions**. Le bilan de la Section "Système Solaire et Univers lointain", publié fin 2004, présentait une statistique très détaillée des recrutements de chercheurs permanents, tous statuts confondus, dans les 31 laboratoires rattachés à cette Section. Le LESIA figurait en tête de toutes les listes, comme étant le laboratoire ayant le plus recruté. Même si l'idée "gros labo" pouvait pondérer ce résultat chez certains, aucune autre indication quantitative n'était donnée. Il suffit pourtant de faire une **simple règle de trois** et de **normaliser au nombre de chercheurs permanents** pour constater que le **LESIA est en huitième position**, et n'est pas le laboratoire en tête pour le taux de remplacement des départs en retraite, comme cela pouvait être suggéré par ce classement largement diffusé. Cet "effet" pourrait expliquer la **diminution forte du nombre de chercheurs CNRS** au LESIA, en absolu et en relatif, dont il a été question au paragraphe 1.2.2. Lors de la dernière Section (2005-

2008), le LESIA a vu le départ de 5 chercheurs CNRS (1 DR1, 3 DR2, 1 CR1), alors que, sur la même période, 2 chercheurs CNRS ont été recrutés (1 CR1, 1 CR2). Pourtant, de nombreux candidats de valeur s'étaient présentés.

Les règles édictées pour le présent Bilan d'activités (rapport de 60 pages, 3 Mø) illustrent très bien l'apparente incompréhension de ce qu'est un gros laboratoire. Le LESIA n'a pas pu les respecter (sa bibliographie seule, comprimée sur 2 colonnes, comprend 120 pages). Le LESIA reste un laboratoire et ses membres doivent pouvoir décrire leurs activités de la même façon que s'ils appartenaient à un plus petit laboratoire. Mais c'est un gros Laboratoire, et il y a inévitablement plus d'activités, souvent avec des impacts plus larges. Le LESIA représente l'équivalent de quatre laboratoires. Les organismes d'évaluation doivent aussi en avoir conscience, et sans aucun doute, leur tâche sera plus lourde.

De même, pour ce qui est de la "voix" d'un laboratoire de grande taille, si l'on peut s'attendre à ce que son directeur ait l'envergure nécessaire pour faire entendre sa voix, en paroles, représentant l'ensemble de son laboratoire, quand il s'agit d'une voix au sens d'un **avis** éventuellement **exprimé par un vote**, un gros laboratoire de 250 personnes ne doit **pas** avoir le **même poids** qu'un laboratoire de plus petite taille. Là encore, les tutelles doivent imposer les ajustements nécessaires.

Section efficace : Le nombre de personnels, leur variété et la variété des situations affrontées, et des initiatives, conduit inévitablement à rencontrer la plupart des difficultés, les "bogues" qui peuvent exister. C'est une simple question de probabilité : plus le nombre d'échantillons est grand, plus la chance d'occurrence d'un événement, même de faible probabilité, est importante. Le laboratoire va donc inévitablement être **plus souvent qu'un autre** en contact avec tutelles, agences, etc, pour **faire remonter ses problèmes**. Cela est en général considéré par celles-ci de façon constructive, le LESIA pouvant être un **bon champ de tests**, en **travaillant de façon étroite avec les administrations centrales** (par exemple récemment, succès de la collaboration avec la DR5 du CNRS, pour avancer dans la mise en place des logiciels BFC).

De façon positive, cette variété de personnels, de situations et d'initiatives conduit inévitablement à une **potentialité d'échanges**, à un **brassage d'idées plus grand**, et à des propositions de tous ordres qui contribuent à **mettre le LESIA en avant** (par exemple, organisation de journées de rencontre avec les journalistes scientifiques ; mise en place du Service SIGAL, présenté dans la Section V ; forte participation aux activités collectives de l'Observatoire : le Comité Local d'Action Sociale de Meudon (CLAS) comporte 33 positions, dont 21 (63%) sont occupées par des membres du LESIA, etc...).

Clairement, si la taille peut augmenter le nombre de problèmes, elle apporte une plus-value certaine.

Co-localisation : Le LESIA est actuellement **réparti dans 9 bâtiments** du campus de l'Observatoire de Meudon. Ceci est certainement un **handicap** pour les équipes qui se trouvent ainsi séparées, mais surtout, la **dispersion des moyens techniques** (salles d'intégration, salles blanches, ateliers, bureau d'étude, etc) pose de sérieux problèmes pour la réalisation de projets, particulièrement dans certaines phases (par exemple déplacement de modèles de vol d'un bâtiment à un autre). Un rassemblement de l'ensemble des forces du LESIA dans un nombre très réduit de bâtiments (idéalement un seul) accroîtrait sans aucun doute sa visibilité et faciliterait grandement les échanges entre les différentes composantes scientifiques et techniques, renforçant ainsi leur cohérence. Cette unité de lieu nous paraît être un facteur essentiel pour **optimiser les moyens et les efforts** fournis, donnant toute sa réalité à l'existence d'une grosse Unité.

Conclusion : La plupart des difficultés évoquées ci-dessus ont certainement été considérées par nos tutelles lors de l'incitation que nous avons reçus d'elles, à créer le LESIA. Métiers, contraintes et engagements d'un gros laboratoire spatial comme le LESIA sont différents de ceux d'un laboratoire non spatial ou plus petit. Ceci doit être perçu et compris par nos tutelles et agences.

Clairement, l'arithmétique d'un gros laboratoire tel que le LESIA est : $1 + 1 > 2$, tant pour les avantages que pour les difficultés (!). Pour les difficultés, seules les tutelles peuvent prendre, parfois imposer, les mesures correctrices. Pour les avantages, les tutelles pourront être amenées à un soutien accru aux actions de ces laboratoires. A défaut, la mise en place de grosses Unités (> 200) risque d'être problématique.

3.2. Association du LESIA à la Station de Radioastronomie de Nançay

La Station de radioastronomie de Nançay est une Unité Scientifique de l'Observatoire de Paris, et une Unité de Service et de Recherche du CNRS (USR 704). L'implication étroite de la station de radioastronomie de Nançay dans plusieurs projets du LESIA est citée à plusieurs reprises dans le présent rapport (voir Section II). L'ANNEXE IX-24 fournit la liste des 33 membres du LESIA, chercheurs, ingénieurs et techniciens, impliqués d'une façon ou d'une autre dans cette association.

Cette importante collaboration est résumée ci-dessous :

- Radiotélescope décimétrique : étude des comètes, (voir Section II.2, chapitre 6).
- Radiohéliographe : couronne solaire active et quiescente, soutien à plusieurs expériences spatiales, (voir Section II.3).
- Réseau Décamétrique : couronne solaire, émissions de Jupiter et de Saturne (éclairs d'orage), en soutien à plusieurs expériences spatiales, et pulsars, (voir Section II.1).
- Expérience d'astro-particule CODALEMA : étude des gerbes cosmiques, (voir Section II.1, paragraphe 1.4).
- Projet LOFAR : ce grand réseau Basse-Fréquence Hollando-Européen doit être opérationnel en 2009. Il inclut une Station (réseau élémentaire d'antennes) à Nançay (voir chapitre II.1).
- Projet FASR : Radiohéliographe dédié au diagnostic de la couronne solaire (voir Section II.1, paragraphe 2.3.3).
- Actions de R&D : miniaturisation ASIC et élimination des parasites, en particulier en liaison avec le programme européen SKA-DS.

3.3. Valorisation et Coopérations Industrielles

Dans un laboratoire de recherche fondamentale, la valorisation peut présenter des aspects variés, parfois non évidents. Cette valorisation peut en effet se concrétiser autrement que par le brevet ou la contribution à une activité commerciale. De ce fait, le retour financier, pour le laboratoire, peut se traduire par une participation au fonctionnement et/ou en soutien en personnel. Le LESIA étant un laboratoire dont la finalité scientifique est fondée sur des développements technologiques novateurs, ces développements mêmes peuvent avoir des retombées ou des domaines d'application dépassant largement l'objectif scientifique initial. Ce processus est à la base même de la curiosité scientifique et du génie créatif humain.

Ainsi, deux grands champs d'applications ont pu être développés au LESIA, en collaboration large avec d'autres laboratoires, instituts et grands établissements : le programme ŒIL (application de techniques de l'astronomie à l'ophtalmologie), et le programme SIEVERT (évaluation des doses de radiation reçues lors des transports aériens). Strictement, au départ, une opération de R&D, le banc SESAME, maintenant ouvert à la communauté française pourrait l'être à des PME, et correspond certainement à une valorisation des activités de R&D du LESIA. Enfin, le projet de redémarrage au sein de l'Observatoire de Paris d'une structure de Prédiction de l'Activité Solaire est une opération de valorisation en cours de montage.

D'autre part, de nombreux chercheurs et ingénieurs du LESIA sont appelés à des opérations de valorisation correspondant essentiellement à des transferts technologiques. Quelques opérations seront listées à la fin de ce chapitre.

3.3.1. Le programme Œil

Depuis 1998, le LESIA s'est engagé dans un programme de valorisation et transfert des techniques développées en optique adaptative vers le domaine biomédical. Ce programme vise à mettre au point un prototype de système de tomographie à haute résolution, capable de **fournir *in vivo et in situ* de véritables coupes optiques du tissu rétinien à une échelle sub-cellulaire**. Les applications sont importantes, au plan clinique (diagnostic précoce des grandes pathologies rétinienne) comme au plan de la recherche (rétinologie, micro vascularisation).

Ce programme est le fruit d'une large collaboration avec :

- Initialement : l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle (ESPCI) et le Laboratoire de Biophysique de la Vision (Paris 7, Hôpital Lariboisière)
- Actuellement : le Centre d'Investigations Cliniques de l'Hôpital des Quinze Vingts (CIC), l'ONERA dans le cadre du GIS PHASE, et l'Institut de la Vision.
- L'Observatoire de Toulouse a également participé ponctuellement au projet (étude du film lacrymal).
- Enfin, deux jeunes sociétés (PME) spécialisées dans le développement d'instrumentation pour l'Ophthalmologie (**Imagine Eyes**) et l'imagerie cellulaire et moléculaire (**MKT : Mauna Kea Technologies**) sont également partenaires à des niveaux différents.

Le LESIA participe à deux projets à connotation industrielle : **INOVEO**, financé par l'**ANR-RNTS**, et **Rétinopathies**, labellisé par le **Pôle de Compétitivité MEDICEN**. Ces activités seront décrites dans la Section II.4.

Le programme OEIL s'est concrétisé pour l'instant par l'implantation d'un **banc prototype en milieu hospitalier** (CIC). Une **convention de collaboration** avec l'**Institut de la Vision** est en cours de finalisation. Ce programme a également donné lieu à des **accords de confidentialité**, un **contrat CIFRE**, deux **thèses soutenues**, une en cours, une qui débute actuellement, et plusieurs **dépôts conjoints de brevets**.

En outre, ce programme, qui est donc un cas exemplaire de valorisation de résultats de la recherche, offre aussi un champ extrêmement riche de coopérations universitaires, ce qui sera détaillé plus bas, dans le paragraphe consacré à ce sujet.

3.3.2. Le programme SIEVERT

La directive européenne 96/29/Euratom enjoint les compagnies de transport aérien européennes de faire un **suivi individuel des doses reçues** annuellement par le **personnel navigant**. L'effet des rayons cosmiques, peu important au sol par rapport aux autres sources de rayonnement, doit être pris en compte en raison de la protection bien moindre aux altitudes de croisière. Le système de traitement de l'information SIEVERT, mis au point par la DGAC, l'IRSN (Institut de Radioprotection et Sécurité Nucléaire) et l'Observatoire de Paris présente deux volets. D'une part, il permet aux compagnies, sur la base des plans de vol détaillés, de connaître l'estimation par calcul de la dose reçue sur chaque vol et de la transcrire dans les dossiers individuels du personnel navigant. D'autre part un accès public par le Web (<http://sievert-system.org>), secondaire mais garant d'une certaine transparence, permet au public de calculer une dose approximative pour un

trajet donné. Les doses reçues des éruptions sont prises en compte dans le système SIEVERT, grâce à un modèle semi empirique basé sur les mesures faites à bord de vols du Concorde.

Les observations du rayonnement cosmique sont effectuées depuis 1957 aux îles Kerguelen (Port-aux-Français) et depuis 1968 en Terre Adélie (Dumont d'Urville). Les **moniteurs à neutrons** permettant ces mesures ont été installés par le Laboratoire du Rayonnement Cosmique du CNRS de Verrières. Ils appartiennent aujourd'hui à l'IPEV, Institut Polaire de Brest. Les mesures ont été, par le passé, prises en charges par le CETP et le département INSU-mesures. La **responsabilité scientifique** du programme est aujourd'hui assurée par l'Observatoire de Paris (LESIA). Le retour se traduit par un soutien financier de l'IRSN à l'IPEV, pour participer à la collecte des données d'observation, et à un soutien au LESIA pour assurer analyse et archivage.

3.3.3. Le Banc SESAME

Le LESIA a ouvert en 2006 à la communauté astronomique française le banc de recherche en optique adaptative SESAME. Ce programme a bénéficié par deux fois de financements du programme de la Région Ile-de-France du même nom. Ce banc permet de simuler les conditions d'observations sur un télescope de 8m de diamètre. Il offre une architecture complète d'optique adaptative avec miroir déformable, miroir de basculement, analyseurs de front d'onde et calculateur de commande. Plusieurs voies optiques en parallèle (jusqu'à 5) permettent d'installer plusieurs appareils ou expériences sur le banc en même temps. Il est couramment utilisé pour mener des R&D dans le domaine de la HRA.

3.3.4. Le projet de centre de prévision

Dans le contexte d'un intérêt soutenu au niveau national comme international pour la Météo de l'Espace, le LESIA, sollicité par le CNES, se propose de reprendre une partie de la **prévision de l'activité solaire** que l'Observatoire de Meudon avait faite durant de nombreuses années.

L'Observatoire de Paris a une **longue expérience** de la prévision de l'activité solaire et des phénomènes associés. Le centre de Meudon aura été l'unique centre de prévision pour l'Europe de l'Ouest de 1965 à 1999, centre régional de l'International Space Environment Service (ISES). A partir de 1985 il a développé de nombreuses applications destinées à l'orbitographie des satellites pour le CNES (SPOT, Topex-Poséidon ...) et pour le GeoForschungCentrum, Potsdam (satellites ERS de l'ESA). Le centre a passé la main à l'Observatoire de Bruxelles pour les activités liées à l'ISES, et à CLS (Collecte Localisation Satellites) pour celles liées à l'orbitographie, lorsque la suppression du statut de scientifique du contingent, en 2000, a rendu illusoire le maintien de la qualité des prévisions, faute de personnel ad hoc.

Meudon a néanmoins continué deux activités difficilement transférables et jugées stratégiques : la **prévision du cycle solaire**, qui nécessite une adaptation constante des méthodes, et la responsabilité scientifique du programme « **Observation des rayons cosmiques** » (RAYCO) de **l'Institut Polaire IPEV**. Dans ce dernier cadre, une **application exemplaire** de la Météo de l'Espace a été développée en collaboration avec la **DGAC** (Direction Générale de l'Aviation Civile) et **l'IRSN** (Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire) : le **suivi des doses reçues à bord des avions commerciaux**, système SIEVERT, incluant la prise en compte des rayons cosmiques galactiques et, pour la première fois, des éruptions solaires.

Si le contexte national et européen a été peu clair ces dernières années, la situation est en évolution très favorable, qui permettrait une valorisation de l'acquis et de l'expérience du LESIA dans ce domaine. Parmi les évolutions favorables, notons :

- la proposition par l'ESA de la mise en place d'un nouveau programme optionnel : Space Situation Awareness (SSA), qui comporte un volet "Météo de l'Espace" ;
- l'évolution récente de prise en compte par la défense des risques liés aux événements soleil-terre (Météo de l'Espace), suite au "Livre Blanc sur la Défense et la Sécurité Nationale" ;
- la décision du WMO (World Meteorological Organisation) de se préparer à une coordination mondiale des activités de Météo de l'Espace.

La mise en place de cette nouvelle activité doit répondre à des engagements précis, et doit passer par une **convention impliquant le CNES et les tutelles du LESIA**, en particulier Observatoire et CNRS-INSU. En plus de l'aspect "service", un besoin évident d'amélioration de la qualité des prévisions implique des travaux scientifiques, pouvant être conduits dans le cadre de thèses telles que celle actuellement financée par la DGA sur l'origine des particules relativistes solaires dans l'espace interplanétaire et l'atmosphère de la Terre.

3.3.5. Résumé des actions de valorisation

- brevet déposé "Dispositif et procédé pour compenser la biréfringence cornéenne dans un examen optique de parties de l'œil situées au-delà de la cornée, et système d'examen de l'œil incluant un tel dispositif".
- brevet déposé "Système et procédé de tomographie *in vivo* à haute résolution latérale et axiale de la rétine humaine"
- brevet déposé "Dispositif et procédé de visée pour un examen de l'œil, et système d'examen de l'œil équipé de ce dispositif"
- brevet déposé "Dispositif et procédé pour mesurer le contraste des franges dans un interféromètre de Michelson et dispositif et système d'examen de l'œil incluant un tel dispositif".
- (une demande de brevet pour un dispositif d'amélioration des détections synchrones a été rejetée)
- Contrats avec ASTRIUM (Stevenage, UK), pour l'étude des missions ISHTAR et APIES
- Contrat industriel avec la Société "Le Verre Fluoré" pour la réalisation du corrélateur en optique intégrée de VINCI (fibres optiques monomodes pour le domaine infrarouge)
- travaux de R&D sur le développement de fibres monomodes à 10 mm avec la Société "Le Verre Fluoré"
- coopération industrielle avec la Société "Mauna Kea Technologies"
- coopération industrielle avec la Société "Imagine Optics"
- coopération industrielle avec la Société "Imagine Eyes"
- contrat avec ALCATEL SPACE : Phase A pour l'instrument GENIE
- contrat avec ALCATEL SPACE sur la Météorologie de l'Espace
- consultance auprès d'ALCATEL SPACE "Compréhension des spécifications scientifiques de la mission Eddington et traduction en spécification de haut niveau. Analyse de performances du concept instrumental"
- nombreux contrats industriels dans le cadre du Projet COROT
- contrat avec le CNES pour fourniture de prévisions de l'activité solaire

- contrat avec l'Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire (IRSN) pour la fourniture de données de rayonnement cosmique (programme Sievert de la DGAC).

On pourra également consulter la liste des contrats donnée dans l'ANNEXE IX.18 : un bon nombre d'entre eux peut relever d'actions de valorisation.

3.4. Activités d'enseignement au LESIA

L'enseignement est omniprésent au LESIA pour trois raisons principales :

- caractère particulièrement pédagogique des travaux effectués au sein du laboratoire
- articulation sur plusieurs universités
- charges d'enseignement assurées par de nombreux chercheurs et ITA du laboratoire.

Ces facteurs se combinent et une optimisation systématique de leur incidence devrait permettre un fort développement de cette fonction enseignement du LESIA dans les prochaines années. Il s'agit, en effet d'abord d'une des missions essentielles d'un laboratoire public.

Mais le LESIA doit aussi pouvoir se donner, par ce biais, un supplément de dynamisme utile au moment où, comme beaucoup de laboratoires, il doit constater un certain vieillissement de ses personnels.

3.4.1. Développer l'attractivité du Spatial auprès des étudiants

Le Spatial attire naturellement les jeunes, mais peut rebuter certains scientifiques débutants, en raison du caractère particulièrement astreignant du traitement des données qui constitue le préalable incontournable de la recherche dans ce domaine.

Plus que tout autre, un laboratoire d'instrumentation et d'analyse scientifique des données offre pourtant la possibilité de travailler sur des projets concrets, associant réalisation pratique et réflexions physiques de haut niveau, ce qui constitue une préparation privilégiée à la vie professionnelle. Tous les efforts sont faits pour que les stages, thèses ou travaux de post-docs soient donc au LESIA être particulièrement motivants et formateurs.

À ces facteurs positifs s'ajoutent des **perspectives professionnelles** plus ouvertes que dans d'autres secteurs. Une enquête destinée à connaître les trajectoires de tous les doctorants passés par le LESIA a mis en évidence des carrières très satisfaisantes. Les **2/3 des anciens doctorants** ont trouvé leur voie dans le domaine de l'**Astronomie-Astrophysique**, tandis que les autres valorisaient ailleurs, avec succès, l'acquis de leurs études (voir la Section IV du Présent rapport, et l'ANNEXE IX.10).

Les débouchés offerts maintenant par le LESIA paraissent prometteurs avec la percée de l'optique adaptative dans le domaine médical et l'intérêt de l'Industrie pour différentes spécialités développées au LESIA.

Le LESIA développe donc une politique active pour mettre ces atouts en évidence dans le monde universitaire, conscient qu'il s'agit là d'un sujet majeur.

3.4.2. Participation aux enseignements

Le LESIA a trois tutelles qui relèvent du monde universitaire (EPSCP) : L'Observatoire de Paris, l'Université Paris 6, et l'Université Paris 7. Ainsi, pratiquement chaque année 3 à 5 thèses du LESIA sont soutenues à Paris 6 et 4 à 6 à Paris 7.

Par ailleurs, dans le cadre de la réforme LMD, de nombreux personnels du LESIA sont directement impliqués dans plusieurs projets de l'Observatoire de Paris, dont le "Master de l'Observatoire de Paris". Un autre projet important est le "Parcours en Planétologie", programme inter-universitaire mis en place avec la participation des universités P6, P7, P11 et UVSQ. De nombreux membres du LESIA (plus d'une dizaine) sont très actifs dans cette dernière structure, comme ils le sont à l'UFE

(l'Unité Formation Enseignement de l'Observatoire de Paris), dont la direction est assurée par un membre du LESIA (Françoise Roques).

Notons les activités d'enseignement de formation par la recherche en spectro-polarimétrie, spectro-imagerie et imagerie, qui ont été mis en place depuis la rentrée universitaire 2007 utilisant le grand instrument qu'est la Tour Solaire de Meudon. Un coelostat de 60 cm d'ouverture situé au sommet de la Tour, à 35 mètres au dessus du sol, et le spectrographe situé dans un laboratoire au bas de la Tour, sont mis à disposition des étudiants pour la formation en instrumentation, associé à un module de 30 heures en spectroscopie solaire au Master 1^{er} année. Le succès de cette activité nous a conduit à poursuivre ce module pour la rentrée 2008-2009 et à proposer des enseignements en instrumentation pour les étudiants en Master M2 pro et recherche.

Le LESIA participe en outre aux activités d'enseignement de l'Université Paris-Sud, Paris 11 et de l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines en Ile-de-France, et de l'Université d'Orléans afin de renforcer les liens avec la station de radioastronomie de Nançay, implantée en Région Centre. Une liste plus détaillée de la participation à ces enseignements est fournie dans la Section IV et une liste des thèses 2004-2008 et des statistiques est fournie en ANNEXE IX-10.

3.5. Relations avec les Universités

Le Laboratoire a, comme il a été exposé précédemment, des liens fondateurs et traditionnels avec les Universités Pierre et Marie Curie (UPMC, Paris-6) et Paris-Diderot (Paris-7), et il intervient largement dans l'enseignement qu'elles prodiguent.

Il est évident que **l'implantation universitaire** est **essentielle** pour tout laboratoire de recherche. Les réformes actuelles rendent encore plus critique cette nécessité. Cependant, le LESIA a comme **tutelle principale**, avec le CNRS, **l'Observatoire de Paris, Grand Etablissement** de recherche, qui, bien qu'EPSCP, ne peut procurer au LESIA les avantages des liens étroits avec le monde de l'enseignement universitaire. Le rattachement à une ou plusieurs universités, à titre "secondaire" est donc essentiel. La **taille du LESIA et la diversité de ses thématiques**, le conduisent naturellement à devoir être **associé à deux Universités, l'UPMC et Paris-Diderot**, et sa tutelle principale Grand Etablissement permet de le faire sans introduire de "hiérarchie" entre ces Universités co-tutelles. Il nous paraît essentiel que ce point soit bien accepté et assimilé, bien sûr par les Universités elles-mêmes, mais aussi par les services du Ministère et du CNRS, et que cela soit compatible avec l'environnement juridique, en particulier dans le cadre de la LRU.

L'implantation universitaire du LESIA se traduit par :

- la fourniture de supports pour les étudiants de ces 2 universités ;
- des liens se renforçant avec l'UPMC (1 Professeur, 2 Maîtres de Conférences), initialement axés sur la télédétection planétaire, puis ouverts à une collaboration en instrumentation avec le L2E, ex LISIF, s'ouvrant à une collaboration autour de la physique des plasmas en Ile-de-France, et proposant actuellement une ouverture vers l'enseignement des techniques d'optique adaptative appliquées à l'imagerie bio-médicale ;
- le développement de liens de très longue date en astronomie et planétologie avec Paris-Diderot (2 Professeurs, 2 Maître de Conférence), en particulier en participant à une plateforme de coopération de recherche autour de la physique Terre-Planètes.

Ces points seront brièvement développés dans ce qui suit.

3.5.1. Fourniture d'accès aux données spatiales

Le LESIA bénéficie actuellement de l'arrivée massive de données d'une qualité exceptionnelle, en provenance des sondes spatiales MarsExpress (arrivée 25 décembre 2003), CASSINI (arrivée et satellisation autour de Saturne le 1^{er} juillet 2004) et d'HUYGENS (arrivée sur Titan, satellite de Saturne, le 14 janvier 2005). Toutes ces sondes sont en pleine opération, et fournissent des données quotidiennes, de même que les sondes WIND, Cluster, STEREO en physique des plasmas. Ces données, au-delà de l'attrait évident auprès des étudiants, permettent d'aborder à la fois des problèmes de physique de base, et des problèmes de traitement de données (traitement d'images), et des problèmes de physique fondamentale. Les équipes concernées du LESIA sont PI (Investigateur Principal) de 4 des instruments, et comportent de très nombreux Co-Investigateurs.

Ce potentiel a conduit à proposer sur les 2 campus, dans le cadre du plan quadriennal, un centre d'accès aux données spatiales ("vitrine"), où celles-ci pourront être élaborées, dépouillées et interprétées. Ceci doit se traduire par un soutien en personnel, et par un minimum de locaux (terminaux informatiques d'accès aux données et de dépouillement).

3.5.2. Association du LESIA à l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC)

Cette association remonte à la formation du LESIA, au 1 janvier 2002. Auparavant, aucun des laboratoires fondateurs du LESIA (DESPA, DASOP et ARPEGES essentiellement) n'était associé à Paris-6. Il existait cependant un Protocole signé en 1999 entre l'Université Paris-6 et l'Observatoire de Paris, qui avait permis de mettre en place, la même année, une Convention Particulière entre le DESPA et l'UFR 924 (EEAAP). Celle-ci avait concrétisé les liens en planétologie (atmosphères planétaires) et en électronique (miniaturisation de circuits). Au fil du temps, **grâce à l'association effective depuis 2002**, les relations se sont **intensifiées**, ayant conduit au recrutement de deux Maîtres de Conférences affectés au LESIA, et de **nouvelles thématiques** de collaboration sont apparues, comme cela est exposé brièvement ci-dessous. Il est évident que le resserrement des liens entre le LESIA et l'UPMC doit passer par un renforcement des postes d'enseignant-chercheur, et par l'implantation physique d'une cellule LESIA, type "tête de pont" sur le campus de l'UPMC, tel que mentionnée au paragraphe 3.4.1.

Planétologie et atmosphères planétaires

Cette thématique a un impact et un attrait très forts sur les étudiants. Ceux-ci sont très demandeurs, dès le 1^{er} cycle. L'arrivée massive de données d'une qualité exceptionnelle, mentionnée ci-dessus au paragraphe 3.4.1, nous a conduit à proposer d'installer, sur le campus de l'UPMC, un centre d'accès aux données spatiales, où celles-ci pourront être élaborées et dépouillées. Enfin, la planétologie comparée peut donner des clés de compréhension pour des questions fondamentales concernant l'évolution des atmosphères, et leur lien avec la climatologie. Les collaborations en planétologie se sont donc très fortement renforcées depuis 2002 (recrutement de 2 MCF).

Miniaturisation des récepteurs radio avec le L2E, ex LISIF

L'équipe radio-plasma du LESIA collabore étroitement, depuis plusieurs années, de façon très fructueuse, avec l'équipe miniaturisation du LISIF (Laboratoire des Instruments et Systèmes d'Ile-de-France), devenu L2E (Laboratoire d'Electronique et d'Electrotechnique, maintenant rattaché à l'UFR Ingénierie de l'UPMC). Cette collaboration a fait l'objet d'un programme pluri-formation (PPF miniaturisation) qui a permis l'intégration, sous forme d'un ASIC, de l'électronique analogique de mise en forme des ondes naturelles captées par des antennes dans la bande de fréquences 1kHz - 30 MHz, avant numérisation. Le **circuit ASIC analogique** qui a résulté de cette étude permet de répondre aux contraintes de poids, de volume et de consommation imposées dans les applications spatiales embarquées. Le **circuit a été "spatialisé"**, avec le soutien du CNES, et **il doit voler sur la Mission ESA-JAXA BepiColombo**. Il permet de conserver au LESIA sa position internationale de

premier plan dans ce domaine : réponse PI pour le Solar Orbiter, et implications dans de nombreuses autres propositions NASA, Cosmic Vision, JAXA, CNSA. (Ce saut technologique illustre la volonté de pérennité des filières instrumentales du LESIA, dont il a été question plus haut, au § 1.4.2).

Physique des plasmas en Ile-de-France

Sous l'impulsion de Pierre Encrenaz, alors directeur de l'UFR 924, l'UPMC a initié la mise en place d'un "Pôle Plasma" regroupant plusieurs laboratoires d'Ile-de-France, qui se trouvent être tous associés à l'UPMC. Ce Pôle implique plasmas de laboratoire et plasmas naturels (astrophysiques), et présente un intérêt évident pour la coordination des efforts afin d'aborder les programmes ambitieux du futur, au sol et dans l'espace (ITER, Laser Méga Joules, grandes missions de physique héliosphérique, etc). Une **convention** entre l'Observatoire de Paris, au titre du LESIA, du LERMA et du LUTH et le nouveau Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), associé à l'Ecole Polytechnique, à l'UPMC et à Paris-11, est en cours de finalisation. Fondée en partie sur la très longue collaboration sur plusieurs projets spatiaux entre le LESIA (antérieurement DESPA) et le CETP, dont une partie rejoint le LPP, cette convention renforcera les liens entre les deux laboratoires (LESIA-LPP) et permettra de confirmer la présence de la thématique plasma du LESIA au sein de l'UPMC (demande de poste de MCF effectuée).

Optique adaptative et applications ophtalmologiques

A la suite de discussions avec l'UFR 924 puis avec l'UFR 925, le LESIA a proposé la mise en place d'un **nouveau volet de collaboration avec l'UPMC**, autour des applications ophtalmologiques de l'optique adaptative, en se fondant sur la collaboration entre le LESIA et l'Institut de la Vision (Hôpital des 15-20) autour du Projet Oeil. Une **convention** entre le **LESIA** et l'**Institut de la Vision** est en cours de finalisation. Un poste de MCF a été demandé afin de démarrer à l'UPMC des cours sur les techniques de l'optique adaptative et de l'instrumentation associée, y compris (et surtout) pour les applications biomédicales.

3.5.3. Association du LESIA à l'Université Paris-Diderot

L'association du LESIA (antérieurement du DESPA) avec l'Université Paris-7 est très ancienne et suit quasiment la carrière du Professeur Pierre Léna, actuellement Professeur Emérite, et Chercheur Associé à l'Observatoire de Paris, et membre du LESIA. Pierre Léna a été l'initiateur de l'astronomie spatiale infrarouge à l'Observatoire de Paris, peu avant les années 1970, disposant à l'époque d'un ingénieur de recherche de Paris-7 affecté au LESIA, retraité depuis quelques années (et pas remplacé). Le Prof. Léna a fondé toute une école d'astronomie, basée sur des développements instrumentaux de pointe suivant les progrès technologiques en électronique, en optique et opto-mécanique, en informatique temps réel, et sur les nouveaux travaux en interférométrie optique. Ceci a permis le développement de la haute résolution angulaire (HRA) avec plusieurs de ses facettes : Optique Adaptative (OA), interférométrie, en particulier interférométrie à fibres, etc. Le projet Œil, initié par P. Léna, a découlé de la forte expertise du LESIA (DESPA) en optique adaptative. Il est évident que le resserrement des liens entre le LESIA et l'Université Paris-Diderot doit passer par un renforcement des postes d'enseignant-chercheur, et par l'implantation physique d'une cellule LESIA, type "tête de pont" sur le campus de PRG, tel que cela a été mentionné au paragraphe 3.4.1.

Plate-forme de coopération sur la Haute Résolution Angulaire

Les liens étroits avec Paris-7 sur ces thématiques liées à l'observation en astrophysique, perdurent et se développent, P. Léna ayant trouvé un successeur en la personne de Gérard Rousset, et un poste de MCF venant de lui être associé cette année, afin d'étayer cette composante fondamentale de l'enseignement en astrophysique. Les nombreux projets dans lesquels le LESIA est impliqué

donnent tout un champ d'applications propice à l'enseignement, aux travaux de thèse théoriques ou instrumentales, à l'exploitation de données, etc. Là encore, l'attrait de l'astronomie joue en faveur de l'enseignement de la physique.

Planétologie et étude des petits corps

Cette thématique a également un impact et un attrait très forts sur les étudiants. Elle est actuellement renforcée avec l'arrivée massive de données d'une qualité exceptionnelle, fournissant déjà de nombreux résultats nouveaux. La rencontre récente de la sonde Rosetta avec l'astéroïde Steins vient illustrer la richesse de ce domaine. Ces données permettent d'aborder à la fois des problèmes de physique de base, et des problèmes de traitement de données (traitement d'images). Le Pôle Terre-Planètes proposé par P. Lognonné pour le Campus Paris Rive Gauche, auquel le LESIA contribue de façon étroite, est sans aucun doute une base de collaboration qui permettra de valoriser les données existantes ou à venir, et de préparer les projets futurs. La collaboration avec les PME (en particulier Noveltis) est également un fort sujet d'intérêt pour le LESIA, en ce qui concerne les données de Météo de l'Espace et de climatologie solaire.

3.6. Communication

La communication du laboratoire est confiée à une commission composée de 10 membres. Le rapport d'activité de cette commission est fourni dans la Section V- Information et culture scientifique et technique, avec le rapport d'activité du service SIGAL, Service Internet Graphisme et Animation du LESIA. L'ANNEXE IX-15 donne une liste des actions de communication pour les membres du LESIA qui ont pu répondre à l'enquête.

L'Observatoire de Paris s'est doté d'une structure capable d'élaborer, puis de mener une politique de communication systématique. Cette structure a permis l'organisation de plusieurs manifestations directement orientées sur les activités du LESIA : Communiqués de Presse, Conférences de Presse, Manifestations spécifiques pour des grands projets (lancement de CoRoT, célébration de IHY, etc), toutes activités que le LESIA n'aurait pas été en mesure d'organiser. Cependant, cette même structure ne peut répondre à la variété et à la quantité des actions souhaitées par le LESIA. Ainsi, le LESIA peut être à communiquer directement avec un soutien au cas par cas de l'Observatoire (et en informant bien entendu ses tutelles.

Les actions de communication visent ainsi des publics variés :

- personnels du LESIA ;
- institutionnels et partenaires ;
- étudiants, etc ;

ce qui conduit à concevoir et mettre en oeuvre des événements variés, en particulier :

- assemblée générale du laboratoire ;
- journée des thèses ;
- rencontre avec des journalistes scientifiques (organisées 2 fois) ;
- présentation scientifique de grands événements (par exemple la rencontre Rosetta-Steins) ;
- soutenances de thèses

et à élaborer à ces occasions ou indépendamment des documents :

- plaquette de présentation du laboratoire ;
- cartes de vœux etc.

La communication du LESIA est orientée vers le support à son activité de recherche en facilitant les mises en relation qui permettent en partie de compenser le manque de moyens (en personnels). Malgré le soutien du Service de Communication de l'Observatoire, les besoins de communication des résultats scientifiques et techniques du LESIA ne peuvent être satisfaits. Comme cela sera indiqué dans la Section V, les discussions pour trouver une solution restent d'actualité.

4. Perspectives 2010-2013

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

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

- exploration de l'héliosphère interne (Solar Orbiter/RPWS, Solar Probe +, PHOIBOS) ; exploration des magnétosphères terrestre et planétaires (BepiColombo/SORBET, MMS, JUNO, JASSI, JIMO, Missions CV CrossScale et Laplace) ; sonde interstellaire, imagerie radio à grande longueur d'ondes ; développement de programmes au sol de pointe (LOFAR/LSS, SKA, gerbes cosmiques, surveillance solaire, recherche d'exo-planètes par techniques radio, ...).
- exploration des planètes et des petits corps, qui si elle rentre dans une phase d'exploitation intensive, n'en est pas moins orientée vers le futur, (Programmes Rosetta (exploitation), BepiColombo/SIMBIO-SYS, MicrOmega/ExoMars, implication dans Herschel/HIFI, ALMA et SKA, poursuite de la filière spectro-imageur miniaturisé, Missions CV Tandem (PI) et Laplace, Mission CV MarcoPolo (PI).
- magnétisme solaire (engagement dans EST-DS et positionnement pour l'EST et les grands instruments solaires optiques du futur, à travers une utilisation importante du télescope THEMIS, tant pour les observations que pour la mise au point de techniques de spectro-polarimétrie) ; imagerie radio solaire (FASR, collaboration avec la Chine, interférométrie spatiale) ; Hautes énergies avec une implication dans STIX sur l'Orbiteur Solaire et développement d'une instrumentation en infra-rouge lointain (opportunité de collaboration avec la Chine en matière spatiale : DESIR sur SMESE) ; redémarrage d'une activité de service de Prédiction de l'Activité Solaire (en relation avec le CNES).
- optique adaptative et coronagraphie : développements particulièrement novateurs dans les prochaines années avec études pour les ELT, exploitation du banc SESAME, participations majeures aux ELT dans EAGLE avec en particulier CANARY, dans EPICS, forte implication dans SPHERE et GRAVITY (VLTI), continuation du programme ŒIL, avec soutien au passage au stade clinique et au stade R&D OA-OCT. Implication dans SPIROU au CFHT.
- interférométrie : passage à 'OHANA-II, spectro-interférométrie à haute dynamique, (FLUOR/CHARA), préparation des futures missions spatiales de détection et caractérisation d'exoterrés.
- astérosismologie et exoplanètes avec la Mission CV PLATOn (PI), instrumentation Dôme C avec SIAMOIS et ALADDIN.

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

Nous devons tenir compte dans cette démarche du changement de contexte qu'induit la multiplication des intervenants spatiaux. Le LESIA est particulièrement préparé à cette évolution

avec sa culture de partenariat et ses collaborations significatives avec l'Asie, en particulier Chine et Japon. Il reste à inventer les solutions pour garder une vue d'ensemble sur sa discipline en conservant des relations avec les principaux acteurs du Spatial, tout en maintenant sa vocation instrumentale, ce qui interdit toute dispersion. Il s'agit d'un challenge important qui mobilisera toutes les énergies.

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

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

Enfin, parmi les facteurs technologiques susceptibles d'accélérer le développement de notre discipline figure en première place la croissance particulièrement rapide des **outils de traitement informatique**. En effet, la croissance extrêmement rapide des potentialités informatiques constitue une réponse à la croissance tout aussi rapide des flux de résultats générés par les missions et autres explorations. Cette évolution sera notamment mise à profit pour développer des outils d'interprétation (**modélisation numérique, théorie**) sans lesquels les développements instrumentaux perdraient leur sens scientifique, ainsi que pour alimenter des **centres de données et bases de données** stratégiques (Corot, BASS2000). Le LESIA va donc dans les prochaines années étudier systématiquement toutes les possibilités de tirer parti de ce phénomène décisif, tant pour l'exploitation des résultats de ses missions que pour la constitution de bases de données.

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