

Vague B (2012-2015)
Unité de recherche : dossier unique

Laboratoire J.L. LAGRANGE

(Partie I : Projet scientifique)





Cote : W 975

Sommaire

Résumé exécutif.....	5
Executive summary	6
Auto-analyse	7
Projet et objectifs scientifiques de l'unité.....	9
Les grands axes scientifiques	9
Structuration scientifique	9
Présentation de la gouvernance	10
Présentation des cinq équipes thématiques	12
Présentations des deux groupes transverses	13
Pôle Technique de Recherche	13
Comité Technique	14
Projets du laboratoire	15
Organisation de l'administration du Laboratoire	16
Présentation du rôle dans l'enseignement	17
Interfaces avec l'UMS de l'OCA	18
Insertion dans le tissu local, national	19
Les grands axes de la prospective	19
Mise en œuvre	21
Adéquation des moyens humains.....	21
Adéquation des moyens financiers.....	22
Valorisation, Communication	22
H&S, Sécurité, Ethique	23
Plan de Formation de l'Unité	23
Annexe 1 : Planétologie	25
Annexe 2 : Physique stellaire et solaire	33
Annexe 3 : Galaxie/Galaxies/Amas/Cosmologie/Gravitation	39
Annexe 4 : Turbulence Fluide et Plasma	45
Annexe 5 : Traitement du Signal et des Images	51
Annexe 6 : Méthodes Physiques de l'Observation	55
Annexe 7 : Calcul Numérique Haute Performance	59
Annexe 8 : Le projet GAIA	63
Annexe 9 : Le projet MATISSE	65

Résumé exécutif

Ce document présente notre projet de laboratoire J.L. LAGRANGE, Unité Mixte de Recherches regroupant les équipes des laboratoires CASSIOPEE et FIZEAU. Il fait suite aux réflexions menées à l'Observatoire de la Côte d'Azur depuis plusieurs mois et dont les conclusions ont été présentées aux personnels ainsi qu'aux tutelles pour une décision collective prise au début du mois de juin 2010. Ce projet prolonge les précédentes restructurations scientifiques de l'OCA qui ont vu l'émergence des laboratoires CASSIOPEE et GEMINI puis FIZEAU en finalisant la plus grande partie des conclusions intermédiaires de ces processus. La dimension globale de notre tutelle OCA en tant qu'établissement assure la cohérence d'ensemble des recherches menées et nous donne, à travers l'UMS Galilée, de nombreux moyens d'accompagnement.

Ce laboratoire rassemble près de 190 personnes dont environ 120 permanents et 70 personnels temporaires. Cela représente environ 76 chercheurs, 33 ingénieurs et techniciens, 9 personnels administratifs, 32 doctorants, 4 CDD, 18 visiteurs, post-docs et chercheurs associés. En moyenne une vingtaine de stagiaires y travailleront chaque année.

Le laboratoire J.L. LAGRANGE a pour objectifs le développement d'activités de recherche pluridisciplinaire dans le domaine de l'astrophysique, de la mécanique et du traitement des signaux et des images ainsi qu'un effort important en offre de formations associées à ces thématiques. Les thèmes fédérateurs s'articulent autour de la formation et l'évolution des systèmes planétaires (propriétés physiques et dynamiques, observations et caractérisation), la physique stellaire et solaire (structure interne, atmosphère et environnement, étude des processus physiques en œuvre et du transfert radiatif), la physique des galaxies et la cosmologie (grandes structures, formation et évolution des galaxies, archéologie galactique), la dynamique non-linéaire (turbulence dans les fluides et les plasmas, processus de transport) et enfin le traitement du signal et des images (problèmes inverses, reconstruction, estimation, déconvolution, représentation optimale des données). Soutenues par des compétences uniques en haute résolution angulaire et en calcul numérique, ces recherches se développent en collaboration avec les grands organismes européens et internationaux où le laboratoire dispose d'une reconnaissance scientifique de premier plan. Très attractif, le laboratoire accueille de nombreux visiteurs scientifiques (une vingtaine par an) et est impliqué dans de nombreux réseaux de recherche nationaux et internationaux ainsi que dans des projets de grands équipements sol et espace comme VLT2/MATISSE et ESA/GAIA. Les activités relèvent, au niveau du CNRS, des sections 17 (Système solaire et univers lointain), 10 (Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation) et 7 (Sciences et technologies de l'information). Outre l'Observatoire de la Côte d'Azur, tutelle principale, ce laboratoire a comme tutelles l'Université de Nice Sophia Antipolis et le CNRS (INSU et INSIS).

Nous présentons dans les pages ci-dessous les grandes questions scientifiques que l'Unité veut développer dans les années à venir. Elles reprennent les activités actuellement structurées dans les équipes de Fizeau et Cassiopée et pour lesquelles les bilans présentent les grandes avancées et les résultats de ces dernières années. Beaucoup de ces thèmes sont communs aux deux laboratoires et aux différentes équipes scientifiques et au-delà de la convergence des objectifs, le regroupement au sein d'un même laboratoire vise à renforcer la position des nouvelles équipes au niveau national et international en associant plus étroitement les forces théoriques et instrumentales, à associer les compétences en astrophysique, mécanique et traitement du signal dans des projets originaux où l'OCA et l'UNS ont une position dominante et à continuer la structuration des moyens pour la recherche en Sciences de l'Univers en région niçoise.

Nous présentons donc le projet de structuration scientifique que nous comptons mettre en place afin d'apporter les moyens nécessaires à la mise en œuvre de cette politique. Nous mettons en particulier en place un Bureau Stratégique (direction + responsables d'équipe et de groupes transverses) pour l'animation scientifique ainsi qu'un Comité Technique dont le mandat est le suivi des projets et la gestion des ressources humaines et des moyens communs. Dans la deuxième partie du document, nous décrivons le schéma de gouvernance proposé pour le nouveau laboratoire. Le développement de ce laboratoire s'appuie naturellement sur les deux sites du Mont Gros et de Valrose et l'organisation des équipes, de l'administration et de la direction prend totalement en compte cette dimension géographique en assurant une unité de services. Nous tenons à rappeler ici que les objectifs du CPER Fizeau, notamment en ce qui concerne l'occupation des sites et bâtiments, sont intégralement pris en compte dans le présent projet.

Executive summary

In this document we will present the project of our new CNRS/OCA/UNS laboratory called J.L. Lagrange. This new lab will merge the teams from the current CASSIOPEE and FIZEAU laboratories. This document is the synthesis of many months of work initiated at the OCA level. A preliminary version has been presented to the FIZEAU and CASSIOPEE members and a collective positive decision has then been taken in June 2010, after discussions with our authorities. This project continues the two precedent scientific reorganizations of OCA (creation of CASSIOPEE and GEMINI laboratories and then FIZEAU) by taking into account the major part of the intermediate conclusions. The global coherence of the researches is ensured by the OCA supervision, as an independent institute that also gives us, thanks to the UMS Galilée, important supports.

With about 190 persons, almost 120 with permanent positions, the LAGRANGE laboratory will be composed by almost 76 researchers, 33 engineers, 9 administrative staffs, 32 PhD students and about 20 visitors (associate researchers, post-doc, contractual positions). We estimate the number of students in traineeship to about 20.

The main goal of the J.L. LAGRANGE laboratory is the development of multidisciplinary research fields in Astrophysics, Mechanics, Image and Signal Processing. An important effort is also devoted to the formation around these topics. We distinguish five themes: Formation and evolution of the planetary systems (physical and dynamical properties, observations and characterization), Solar and stellar physics (internal structure, physical processes and radiative transfer), Physics of the galaxy(ies) and cosmology (large structures, formation and evolution of the galaxies), Fluids Dynamics and non-linear dynamic (turbulence in fluids and plasmas, transport process) and finally image and signal processing (inverse problem, deconvolution, image reconstruction, optimal description of data). These researches are strongly supported by unique skills in high angular resolution and numerical processing. These researches are developed in collaboration with the main European agencies as well as at the worldwide level where the laboratory benefits from a very high scientific credit. The laboratory is also very attractive and many visitors are coming here for few months stays. The activities are linked, at the CNRS level (INSU and INSIS), to section 17 (Système solaire et univers lointain), 10 (Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation) and 7 (Sciences et technologies de l'information). Observatoire de la Côte d'Azur is our main authority and Université de Nice Sophia Antipolis is our secondary authority.

In the following, we will describe the main science objectives for the coming years. These goals have been elaborated with the participation of all the current teams. They are of course based on the current activities of the Fizeau and Cassiopée teams. The two "Bilan" documents give details about the main results and progresses obtained these last years. Many of these activities are already shared in the two laboratories and merging them will improve the coherence of the researches. It aims also at strongly reinforcing the position of the teams at the national and international level. Bringing closer the theoretical and instrumental skills and building bridges between astrophysics, mechanics and signal processing in original research projects is certainly one of our main goal with the Lagrange Laboratory. Beyond this lies our willingness to continue structuring in Nice our research field in Universe Sciences.

This document presents also the organization of the Lagrange Laboratory so that our objectives will become reality. The governance of the laboratory is detailed as well as its foreseen operation. The most important points of this organization are the definition of a Strategic Committee for the prospective and the scientific animation and a Project Office in charge of the global management of all the projects and of the human resources. The Lagrange Laboratory will be based on the two sites Mont Gros and Valrose and the team's organization as well as the administration and the direction will take this aspect into account. The current goal of the Fizeau « Contrat de Projet Etat-Région », especially for what concerns sites and buildings, are totally integrated in the present project.

Auto-analyse

Lors des nombreuses réunions de discussion et de préparation du laboratoire Lagrange, nous avons pu identifier de manière assez claire les avantages et inconvénients de ce projet et analyser les éléments à mettre en œuvre pour faire de ce projet une réussite. Durant la phase de rédaction du présent document nous avons également demandé aux équipes actuelles des laboratoires Fizeau et Cassiopée de mener leur propre autoanalyse de manière à compléter cette description. C'est donc une synthèse de tout cela que nous présentons ci-dessous. Mais avant d'aborder les différentes rubriques de cette autoanalyse nous présentons tout d'abord ce qui selon nous caractérise de manière forte le nouveau laboratoire Lagrange.

En premier lieu il convient de souligner la richesse thématique large des activités de recherche. C'est une caractéristique forte qu'il est important de conserver et d'accompagner. Cette étendue thématique se complète également par une organisation forte autour de l'exploitation astrophysique des très grands équipements de la discipline ainsi que des instruments développés localement. La production scientifique des deux laboratoires est de ce point de vue une bonne représentation de cette activité. Nous notons cependant en contrepoint de cela la nécessité d'une plus grande implication amont dans le futur E-ELT et ses instruments ainsi que la poursuite de l'analyse prospective vis-à-vis de l'exploitation astronomique du Dôme C en accord avec les agences concernées. Enfin, le laboratoire est impliqué de manière très importante dans le développement et l'exploitation de codes numériques dans la plupart des grands domaines d'activité ; un effort important devra être mené pour la valorisation de ces travaux et leur diffusion notamment en mécanique des fluides.

• Points Faibles

- Bien que Fizeau ait beaucoup contribué à de nombreuses ANR, et notamment certaines portées par Cassiopée, il apparaît important que le nouveau laboratoire puisse compter un plus grand nombre de porteurs de projets ANR.
- Le manque local d'étudiants dans nos thématiques prioritaires est un sérieux problème et la recherche de doctorants à l'extérieur est une difficulté supplémentaire pour les équipes.
- Le programme Poincaré de l'OCA a beaucoup aidé les laboratoires initiaux pour l'accueil de post-doctorants dont un bon nombre ont ensuite pu obtenir une position à l'Observatoire ou offrir dans leurs établissements actuels des liens scientifiques très forts. Ce programme est aujourd'hui en difficulté et en combinant cela avec le premier point faible nous devons constater une certaine faiblesse relative sur l'accueil de post-doctorants.

• Points Forts

- La fusion des deux laboratoires se base sur de nombreuses interactions scientifiques de longue date. Les nouvelles équipes se connaissent donc bien et les activités croisées sont déjà bien structurées.
- Il existe une très forte synergie entre les différentes thématiques comme en témoigne la présentation générale des grands thèmes (voir figure 3).
- Deux compétences transverses fortes apportent une force d'innovation et de réflexion amont très forte au niveau des moyens en complément des études prospectives. Elles s'appuieront de plus sur une base scientifique beaucoup plus large. Nous maîtrisons donc les différents aspects nécessaires à l'élaboration de nouveaux axes de recherche.
- Au-delà des engagements spatiaux déjà importants, nous tenons également à souligner la très forte volonté des équipes de s'investir dans des futures missions spatiales. Cela se retrouve dans la plupart des grandes thématiques et la participation amont dans ces projets est très forte.
- Le laboratoire dispose d'une très bonne attractivité et visibilité. Il existe déjà une forte demande de collègues étrangers pour des séjours scientifiques et il est important de soutenir financièrement cet aspect afin de continuer à renforcer les équipes de recherche.

• Opportunités

- Synergie sol/espace et exploitation croisée grâce à GAIA. Le projet de spectrographe GYES pour le CFHT représente une bonne opportunité s'appuyant sur des compétences complémentaires entre les deux laboratoires fondateurs.
- Avec l'animation scientifique que nous comptons mettre en place, les fortes synergies notées dans les points forts devraient conduire les équipes à l'identification de thèmes émergents. Nous identifions ainsi des liens entre équipes dans le texte ci-après.
- Le contexte local de la recherche universitaire à Nice nous place aussi en très bonne position pour le développement de nouveaux axes, notamment dans le cadre des programmes EQUIPEX avec l'INRIA par exemple sur le calcul et la visualisation. Notons aussi que le démarrage du futur master IMAG2E est une grande opportunité pour le laboratoire. Le dynamisme de l'engagement des enseignants/chercheurs et chercheurs du laboratoire dans cette filière permet d'imaginer une bonne réussite croisée autant pour la formation par et pour la recherche. De plus le regroupement au sein d'un seul laboratoire permettra de présenter une offre de formation plus globalisée et de mettre en place un suivi plus élaboré des doctorants.

• Risques

- Malgré l'importance 'numérique' des thématiques astrophysiques dans le nouveau laboratoire, l'équilibre des grandes thématiques est un enjeu et en ce sens il est important que les tutelles soutiennent les recrutements en Section 10 et Section 7. Nous devons également veiller à la valorisation et au soutien des niches interdisciplinaires.
- La localisation sur deux sites sera source de complexité, notamment pour la direction et l'administration. Une organisation correcte et une bonne communication devront être mises en place afin de pallier à ce risque.
- Dans le même esprit, la répartition des équipes sur les deux sites devra veiller à ne pas briser les synergies et les interactions.

Projet et objectifs scientifiques de l'unité

Les grands axes scientifiques

Le projet scientifique que nous présentons pour l'UMR Lagrange montre une palette très diversifiée de thèmes et un caractère pluridisciplinaire marqué. Les disciplines de recherche sont d'une part l'Astrophysique avec la formation et l'évolution des systèmes planétaires, la physique solaire et stellaire, la physique des galaxies et la cosmologie, d'autre part la Mécanique avec la dynamique non-linéaire, la mécanique des fluides, la turbulence et enfin le Signal et les Images avec les données multi-échelles, les problèmes inverses et la représentation optimale des données. Ces disciplines s'appuient des compétences transverses reconnues et représentatives des équipes du Laboratoire autour de la Haute Résolution Angulaire et plus largement des Méthodes Physiques de l'Observation (spectro-interférométrie, interféromètres du futur, coronographie, optique atmosphérique) et enfin sur le Calcul Numérique Haute Performance (codes et technologies, parallélisme, visualisation interactive).

Dans le domaine planétaire, au-delà des efforts sur les découvertes et la caractérisation des exo planètes, les enjeux résident dans la compréhension des mécanismes de formation et d'évolution (étoile hôte, disque circumstellaire...) en s'appuyant sur la richesse des études sur les propriétés physiques et dynamiques. Le rapprochement des études exo planètes de celles des petits corps du système solaire permettra une planétologie comparée qui s'ouvre de plus sur de nombreux projets observationnels ou instrumentaux sol et espace.

Le domaine solaire et stellaire dans Lagrange se caractérise par une approche très large à la fois théorique et observationnelle de l'astrophysique stellaire depuis l'intérieur jusqu'à l'environnement proche en passant par les études de surface et les atmosphères. Un travail approfondi est entrepris à la fois sur les processus physiques en œuvre (pulsation, rotation, convection, magnétisme, perte de masse) et les méthodes de transfert du rayonnement ou la modélisation réaliste des surfaces et des intérieurs. Ce travail s'appuie sur de nombreuses observations en privilégiant l'approche multi technique.

En partant de notre Galaxie et en s'étendant jusqu'aux amas, c'est toute une palette de questions que le Laboratoire veut adresser dans ce domaine avec notamment en ligne de mire une meilleure compréhension de la formation et de l'évolution des galaxies dont la notre mais aussi de mieux caractériser pour mieux comprendre l'accélération de l'expansion de l'Univers. Ces études s'appuient sur un travail d'analyse de données très poussé et qui utilise la plupart des grands relevés de la discipline.

Les recherches en Mécanique au Laboratoire incluent le rôle et les propriétés de la turbulence dans les fluides ou les plasmas astrophysiques, géophysiques ou de laboratoire, la turbulence magnétohydrodynamique, le vent solaire, l'effet dynamo, les transports de particules dans des régimes turbulents, les flux thermiques, ainsi que des phénomènes hors équilibres, généralement liés à des interactions non linéaires. Ces travaux utilisent des outils théoriques et numériques, mais restent en relation étroite avec les expériences de laboratoire ou les observations spatiales.

C'est autour des observables multi échelles et multi fréquences que les recherches en Traitement du Signal et des Images se développent dans le Laboratoire. Les problèmes inverses de diverse nature ont conduit à la recherche de représentations optimales des données et à des algorithmes optimaux en terme de bruit. Ce lien fort avec les données se renforce également aujourd'hui en amont des nouveaux instruments. Les champs d'application vont de l'interférométrie optique polychromatique à la détection de planètes et à la spectro-imagerie de champs étendus.

On ne saurait être complet dans cette présentation synthétique sans mettre en avant les deux grands projets phares du Laboratoire : GAIA et MATISSE. Au niveau de GAIA, nous assurons la présidence du comité exécutif du Consortium GAIA (430 personnes) et nous avons la responsabilité générale du Consortium DPAC (avec de nombreux développements sur le traitement des données GAIA) ainsi qu'une forte participation au Gaia Science Team au sein de l'ESA. Les activités scientifiques contribuent à la définition de la future base de données GAIA et permettent de mieux définir et d'engager le programme d'accompagnement sol. MATISSE quant à lui est le futur instrument de deuxième génération du VLTI dans l'infrarouge moyen. Le projet est dirigé par le Laboratoire dans un consortium incluant l'ESO l'institut Max Planck d'Heidelberg, l'institut Max-Planck de Bonn, l'Université de Leiden et l'institut NOVA-ASTRON en Hollande. MATISSE devrait voir le ciel en 2015/2016 au Chili sur le site du VLTI à Paranal.

Structuration scientifique

L'évolution méthodologique et structurelle de la recherche en Astrophysique, que ce soit au niveau national ou international, conduit à se poser la question de la place de l'Observatoire de la Côte d'Azur dans le dispositif national, aujourd'hui et dans les années à venir. Conscient de nos forces et de nos faiblesses, la construction du présent projet est articulé principalement autour de quelques idées directrices fortes, à savoir l'affirmation du caractère multi disciplinaire de nos recherches, une volonté d'une part de renforcer la structuration scientifique des grands projets et d'autre part de favoriser le rapprochement entre théorie et instrumentation et enfin d'encore mieux préparer les équipes aux grands enjeux de la discipline. Pour ce faire notre projet s'articule autour de cinq équipes thématiques, de deux groupes transverses, l'un dédié aux méthodes physiques de l'observation et l'autre au calcul numérique haute performance, et enfin d'un pôle technique de recherche en charge du développement des projets. L'identification de ces groupes transverses est clairement faite par rapport à l'aspect très amont des recherches qui y sont développées en complément des applications développées dans les équipes thématiques. Par ailleurs, deux grands projets (GAIA et MATISSE) vont structurer fortement le laboratoire dans la période à venir et au-

delà et nous souhaitons leur donner également une place particulière. La direction, l'administration du laboratoire et le pôle technique de recherche sont structurées au service de ces objectifs.

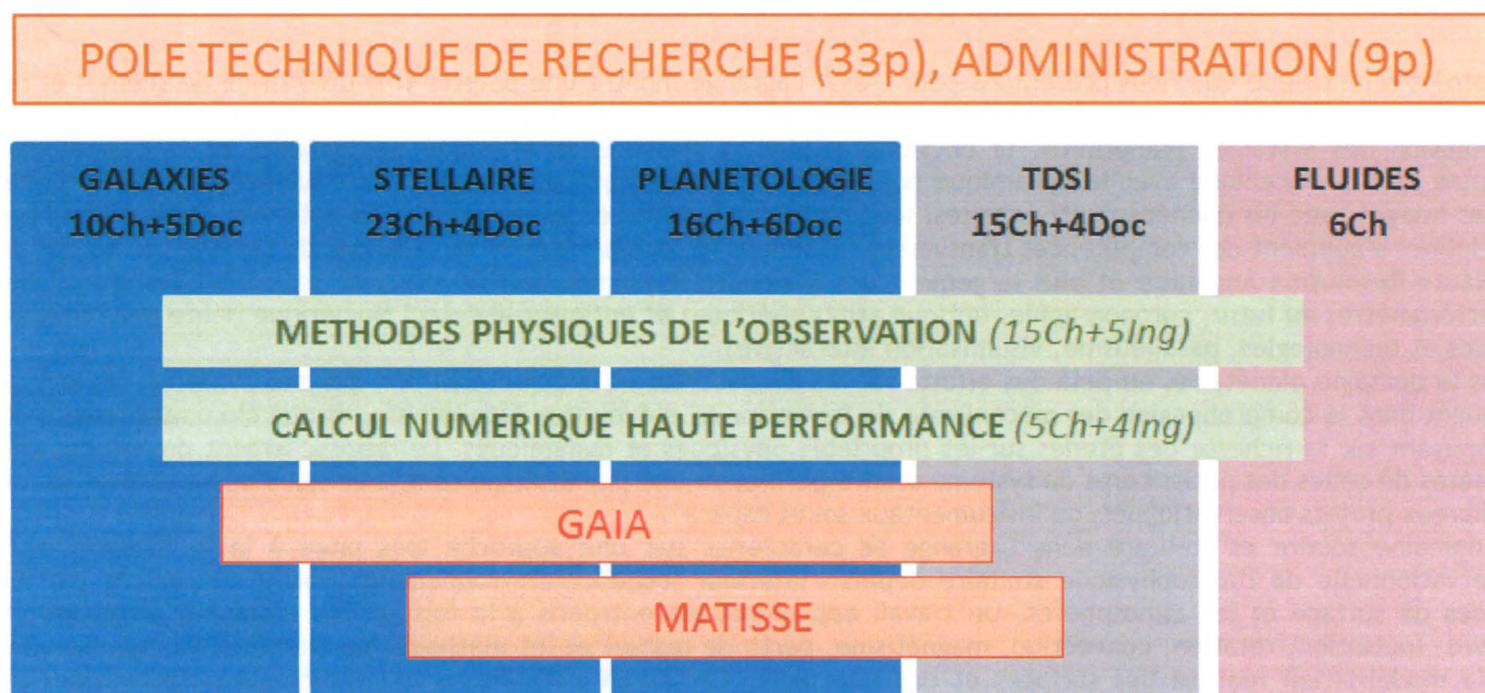


Fig. 1 : Structuration scientifique de l'UMR J.L. LAGRANGE. Les chiffres indiquent le nombre de personnes (Chercheurs, Doctorants et ingénieurs). Pour les groupes transverses il s'agit de l'identification des personnes des groupes thématiques et du pôle émergeant aux activités transverses.

Le laboratoire J.L. LAGRANGE a pour objectifs le développement d'activités de recherche pluridisciplinaire dans le domaine de l'astrophysique, de la mécanique et du traitement des signaux et des images ainsi qu'un effort important en offre de formations associées à ces thématiques. Les équipes thématiques s'articulent autour de (PLANETOLOGIE) la formation et l'évolution des systèmes planétaires (propriétés physiques et dynamiques, observations et caractérisation), (STELLAIRE) la physique stellaire et solaire (structure interne, atmosphère et environnement, étude des processus physiques en œuvre et du transfert radiatif), (GALAXIES) la physique des galaxies et la cosmologie (grandes structures, formation et évolution des galaxies, archéologie galactique), (TDSI) le traitement du signal et des images (problèmes inverses, reconstruction, estimation, déconvolution, représentation optimale des données) et enfin (FLUIDES) la dynamique non-linéaire (turbulence dans les fluides et les plasmas, processus de transport). Ces recherches sont soutenues et favorisées par des compétences uniques, organisées en groupe transverse, en méthodes physiques de l'observation (Interférométrie différentielle, concepts avancés en interférométrie et imagerie à très haute dynamique, optique atmosphérique) et en calcul numérique haute performance (calcul haute performance, parallélisme massif, visualisation 3D).

Au-delà de la convergence des objectifs, le regroupement au sein d'un même laboratoire vise à renforcer la position des nouvelles équipes au niveau national et international en associant plus étroitement les forces théoriques et instrumentales, à associer les compétences en astrophysique, mécanique et traitement du signal dans des projets originaux où l'OCA et l'UNS ont une position dominante et à continuer la structuration des moyens pour la recherche en Sciences de l'Univers en région niçoise. Les grandes évolutions par rapport à la présente situation sont une meilleure visibilité des thématiques exo planètes du laboratoire Fizeau, un regroupement des recherches en physique stellaire et solaire de Cassiopée et Fizeau, une empreinte thématique beaucoup plus large des recherches méthodologiques autour de la haute résolution angulaire et enfin une organisation généralisée des projets techniques.

Présentation de la gouvernance

La structuration scientifique présentée de manière générale au paragraphe précédent ainsi que les grands objectifs du nouveau laboratoire conduisent à une organisation représentée par l'organigramme fonctionnel de la figure 2.

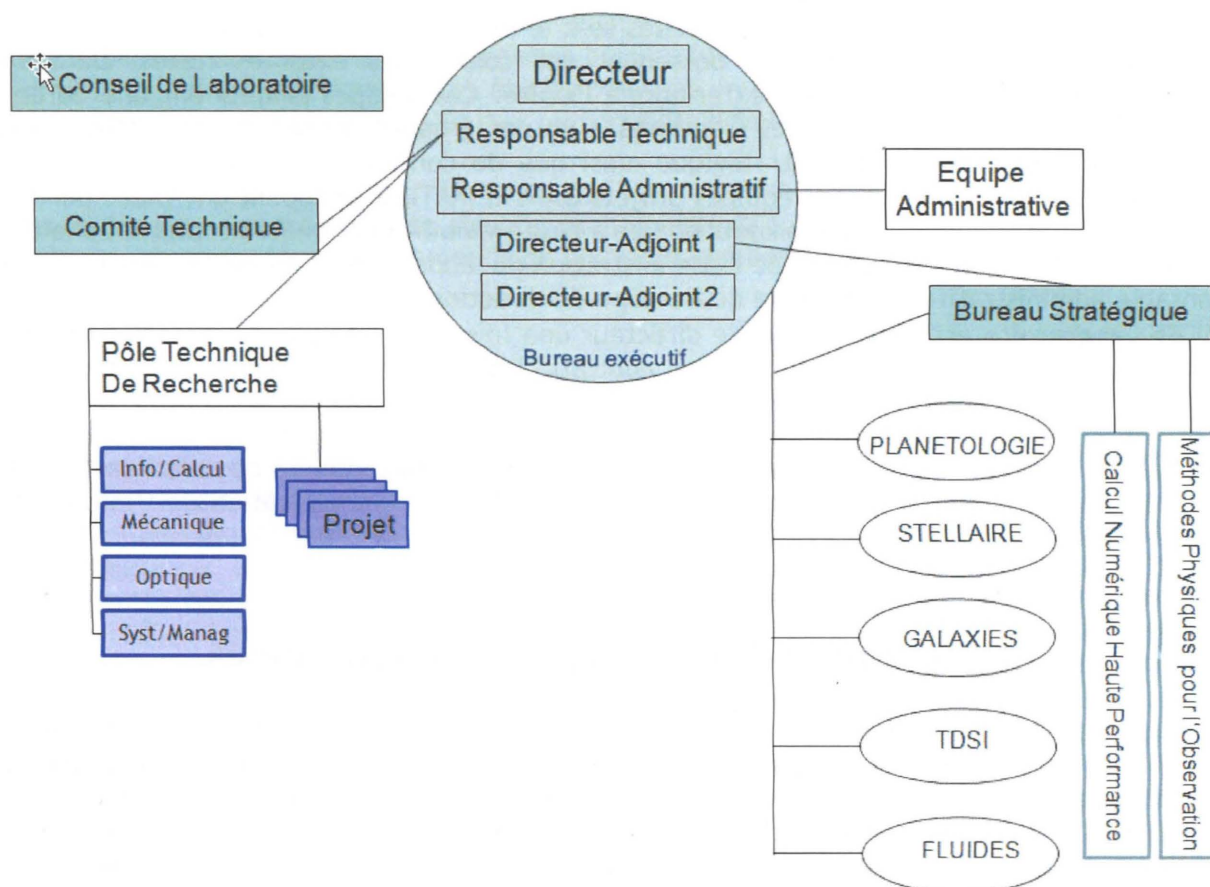


Fig. 2 : Organigramme fonctionnel du laboratoire J.L. LAGRANGE

Dans cet organigramme fonctionnel, on distingue plusieurs entités:

- **La direction** est constituée d'un directeur, de deux directeurs adjoints, du responsable technique et du responsable administratif. Ces cinq personnes constituent le bureau exécutif du laboratoire, dont les réunions sont hebdomadaires. Il a pour objectif de fournir au directeur une aide opérationnelle et réactive pour le pilotage quotidien du laboratoire, et doit assurer les échanges d'informations avec les différentes composantes du laboratoire. Le rôle respectif des directeurs-adjoints sera défini plus précisément par l'équipe de direction une fois constituée. Néanmoins nous proposons que l'animation scientifique d'une part et que les aspects budget et enseignement d'autre part soient délégués aux deux directeurs-adjoints.
- **Les équipes thématiques** : ces équipes (Planétologie, Physique stellaire et solaire, Galaxies et Cosmologie, Traitement du Signal et des Images, Turbulence Fluide et Plasma) se caractérisent par une animation scientifique autour des thèmes dont le détail sera donné ci-après et dans les différentes annexes, une gestion régulière des activités (missions, commandes, stagiaires...) et par une réflexion prospective à court, moyen et long terme. L'équipe doit assurer un rôle de veille scientifique dans son domaine notamment vis-à-vis des sollicitations externes: appels d'offre, collaborations, etc... Le responsable représente l'équipe auprès de la direction et organise la réflexion sur les priorités internes en termes de recrutement, stagiaires, doctorants, post-doctorants... Ces cinq équipes thématiques regroupent l'ensemble des chercheurs du laboratoire.
- **Les groupes transverses** : En plus des aspects listés dans les équipes thématiques, ces groupes transverses (Méthodes Physiques pour l'Observation et Calcul Numérique Haute Performance) se caractérisent par une recherche amont transverse dont les objectifs sont clairement axés sur la réflexion prospective pour la haute résolution angulaire, l'imagerie à très haute dynamique et le calcul numérique haute performance. Ils ont donc vocation à développer ses axes de recherche en liaison avec les grandes orientations scientifiques du laboratoire. L'appartenance des chercheurs et ingénieurs à ces groupes thématiques se fait en plus de leur appartenance aux équipes thématiques/pôle technique de recherche, et vis-à-vis des activités menées par ces groupes.
- **Le bureau stratégique** : ce comité est constitué de la direction du laboratoire et des responsables des équipes thématiques et des groupes transverses. Il est placé sous la responsabilité d'un des directeurs-adjoints et se réunit à une fréquence bimestrielle. Il a pour mandat d'assurer la communication scientifique entre les différents groupes : collaborations internes (groupes de travail), collaborations externes, appels d'offre, prospective. Il élabore des propositions devant le Conseil de Laboratoire. Son rôle va être central dans le dispositif d'animation scientifique du Laboratoire et il devra notamment s'attacher à la cohérence des activités entre les équipes thématiques et les groupes transverses, tout en préservant leurs initiatives d'action. Ce bureau aura non seulement un rôle d'harmonisation mais devra être en mesure de proposer des actions (réponse à appel d'offre, organisation de journées thématiques, mise en place de groupe de travail...) en cohérence avec la politique scientifique du laboratoire et en s'appuyant sur les compétences et moyens disponibles.
- **Le Pôle Technique de Recherche** regroupe l'ensemble des ingénieurs et techniciens du laboratoire. Il est placé sous la responsabilité d'un responsable technique faisant partie de l'équipe de direction.
- **Le comité technique** a pour mandat d'assurer, en liaison avec la direction et le conseil de laboratoire, le suivi des projets en cours, de gérer les ressources humaines ainsi que les moyens communs de l'Unité : locaux

techniques, matériels scientifiques, et d'aider à la structuration initiale des nouveaux projets avant leur phase de dépôt pour acceptation/financement. Sa composition relève de la direction du Laboratoire.

- **Les équipes projets:** structures opérationnelles, elles sont le lieu d'activités centrées autour d'un projet avec un calendrier, des échéances, un budget qui possèdent des contraintes externes fortes. Dans ces structures interviennent très souvent des personnels extérieurs à l'Unité. Ces équipes projets ont une durée de vie finie. Elles ont vocation à s'étendre au-delà des frontières d'un des groupes précédemment cités. C'est le rôle des scientifiques d'une part et du bureau stratégique ainsi que du conseil de laboratoire que de veiller à cette structuration horizontale en projets. Les équipes projets GAIA et MATISSE occupent une place particulière dans la structuration du laboratoire en tant que projets phares à haute visibilité nationale et internationale.
- **L'équipe administrative** gère l'ensemble de l'administration du laboratoire. Elle est placée sous la responsabilité d'un responsable administratif faisant partie de l'équipe de direction.
- **Le Conseil de Laboratoire** est convoqué par le directeur une fois par trimestre. Ce conseil consultatif donne ses recommandations sur les moyens budgétaires, les contrats, les ressources humaines, la formation et sur toute mesure relative à l'organisation et au fonctionnement de l'Unité et susceptibles d'avoir une incidence sur la situation et les conditions de travail du personnel. Il examine les propositions du bureau stratégique et notamment sur les contrats nécessitant l'engagement de moyens importants. Sa composition (membres de droit, élus, nommés) devra assurer les équilibres nécessaires à une bonne communication de l'information à tous les niveaux du laboratoire.

Présentation des cinq équipes thématiques

Nous rappelons que les équipes thématiques s'articulent autour de la formation et l'évolution des systèmes planétaires (22 FTE, propriétés physiques et dynamiques, observations et caractérisation), la physique stellaire et solaire (27 FTE, structure interne, atmosphère et environnement, étude des processus physiques en œuvre et du transfert radiatif), la physique des galaxies et la cosmologie (15 FTE, grandes structures, formation et évolution des galaxies, archéologie galactique), la dynamique non-linéaire (6 FTE, Turbulence fluide et plasma, processus de transport) et enfin le traitement du signal et des images (19 FTE, problèmes inverses, reconstruction, estimation, déconvolution, représentation optimale des données).

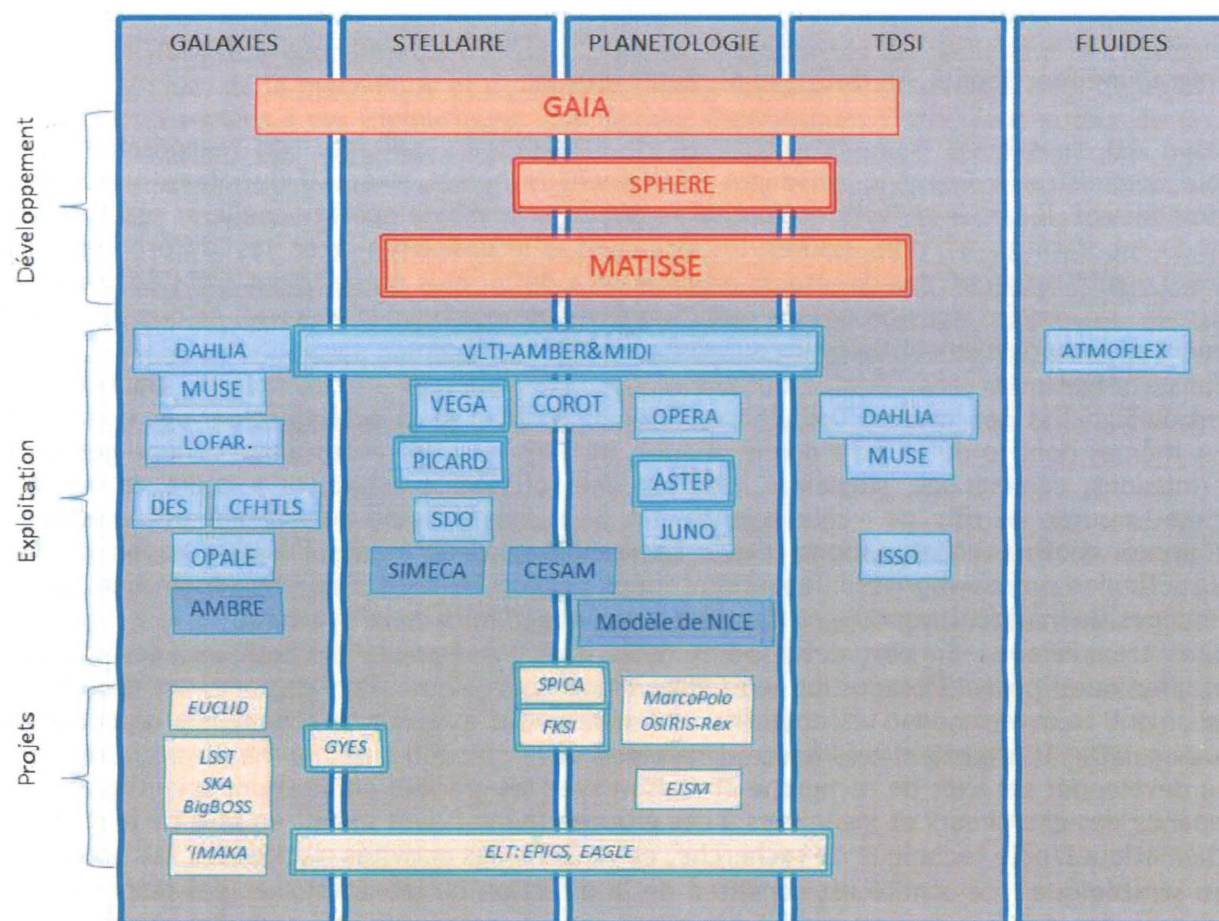


Fig. 3 : Développements, Recherches et Projets des équipes thématiques. Les boîtes sur-encadrées correspondent aux activités comportant des développements instrumentaux. Bien que non représenté ici les deux groupes transverses jouent un rôle fort dans un grand nombre de ces activités. Le détail de ces activités se retrouve dans les annexes correspondant aux équipes thématiques.

On trouvera dans les annexes 1 à 5 le détail du projet scientifique de chacune de ces équipes. La présentation que nous faisons ici a pour objectif de montrer de manière synthétique les liens forts qui existent déjà entre les équipes à travers les projets en exploitation ou en cours de développement, les contrats de recherche ou les projets futurs en préparation. Ces interactions apparaissent déjà bien structurées sous forme de projets, de contrats ANR mais il est important également de souligner l'existence de thèmes émergents que nous devrons soutenir. A ce titre nous pouvons citer les liens naissants entre l'étude de la dynamique des particules dans un écoulement turbulent, avec

application à la physique de l'atmosphère (équipe FLUIDES), et l'étude de la croissance des planétésimaux, qui nécessite la prise en compte de la turbulence du disque protoplanétaire (équipe Planétologie). Nous pouvons également citer les activités à la frontière entre planétologie externe et mécanique des fluides, comme la modélisation des processus turbulents dans les plasmas baignant le système Soleil-Terre (rôle du champ magnétique, formation de structures, effets cinétiques). Ces études pointent en particulier vers une problématique multi-échelle nécessitant des moyens de calcul et de visualisation performants développés au laboratoire et à l'Observatoire et qu'il est indispensable de faire évoluer.

C'est donc dans la prise en compte de cette structuration complexe que nous situons l'effort important d'animation transverse du laboratoire pour aider à l'émergence de nouveaux thèmes/groupes de recherche.

Présentations des deux groupes transverses

Compte tenu de la richesse des thématiques astrophysiques présentées ci-dessus et de l'existence également d'un thème centré sur le traitement du signal et des images, il était important de mettre clairement en lumière les recherches instrumentales amont développées dans le laboratoire. La place transverse que nous donnons à ces thèmes de recherche, complétée par la gouvernance et l'animation scientifique telles que nous les avons présentées, vise à renforcer les liens entre ces recherches amont et les thèmes astrophysiques. Il est important de noter que cela ne signifie pas que ces recherches amont sont au service des thématiques astrophysiques mais que l'une et l'autre de ces recherches s'alimentent selon les progrès des modèles et des instruments/concepts. On notera en particulier la richesse du peuplement des intersections de ces groupes transverses avec les différentes équipes thématiques. L'étendue thématique du Laboratoire est un atout supplémentaire pour ces groupes transverses qui trouveront là des champs de recherche nouveaux permettant d'étendre encore plus leurs apports.

On trouvera en Annexe 6 le détail des activités amonts et transverses menées par les chercheurs instrumentalistes et ingénieurs de recherche du thème « Méthodes Physiques pour l'Observation » et en Annexe 7 une présentation des activités actuelles et prospectives du groupe « Calcul Numérique Haute Performance ».

Veille scientifique, réflexion prospective, initiation de recherches amonts représentent les maîtres mots de l'activité de ces groupes qui devra s'organiser autour d'ateliers de travail où sera dressé le bilan des activités passées et où seront débattues les nouvelles orientations le cas échéant. Articulés ensuite autour de groupes de travail, ces activités pourront bénéficier d'un budget d'aide à l'exploration qui sera géré par le groupe transverse puis, le cas échéant, ces activités pourront passer à un statut de projet du laboratoire. Les animateurs de ces groupes transverses auront comme responsabilité de faire le lien, à travers leur participation au bureau stratégique du laboratoire, avec les équipes thématiques et cela devra se faire autant en amont qu'en aval de leur activité.

Les grands axes de ces recherches concernent particulièrement le développement futur de l'interférométrie optique dans l'infrarouge et le visible en capitalisant sur notre savoir-faire unique en matière de couplage des distributions spatiales et spectrales d'énergie. Il s'agit en effet, tout en continuant à renforcer l'exploitation astrophysique des interféromètres actuellement en fonctionnement, de pouvoir préparer les concepts aptes à répondre aux avancées des questions scientifiques autour de la caractérisation des planètes ou de l'étude des surfaces stellaires. Outre les aspects conceptuels, nous envisageons de continuer à développer les savoir-faire en matière de mise en phase des réseaux de télescopes. Tout ce travail s'appuie de manière large sur les compétences uniques en optique atmosphérique, que ce soit pour la modélisation de l'atmosphère ou l'impact de la turbulence dans les observables pour la haute résolution angulaire.

Pour ce qui concerne le groupe Calcul Numérique Haute Performance, on notera l'importance du rôle joué par les chercheurs et ingénieurs du Laboratoire en liaison forte avec l'OCA pour le développement des grands moyens de calcul, au niveau local, national et européen. Les objectifs du Laboratoire sont d'organiser une synergie autour de la problématique du calcul parallèle, du traitement massif des données et de la visualisation. Plusieurs applications scientifiques pourront ainsi bénéficier de ces développements, en hydrodynamique, en planétologie et en imagerie. L'ouverture locale du Laboratoire devrait aussi permettre de se doter de moyens uniques et performants en visualisation 3D.

Pôle Technique de Recherche

Le POLE TECHNIQUE DE RECHERCHE regroupe tous les Ingénieurs et Techniciens (IT) permanents et temporaires qui y sont rattachés administrativement. Ce pôle a pour mission de soutenir les activités de recherche et les activités de développement instrumental du Laboratoire. Il prend également part aux activités amont de R&D et R&T qui sont le cœur d'excellence des laboratoires actuels à savoir la haute résolution angulaire et le calcul numérique haute performance. Chaque IT sera affecté à un ou plusieurs projets ou équipe de recherche. Ces affectations relèvent de la direction du Laboratoire sur la base des études et propositions du comité technique.

La notion de rattachement administratif implique:

- une gestion des carrières (avancements, primes, ...) coordonnée de manière globale pour tous les IT par le responsable du pôle, en liaison avec le responsable du ou des projets/équipes d'affectation et sous la responsabilité du directeur du Laboratoire.
- des crédits de fonctionnement gérés par le Pôle Technique de Recherche (subvention du laboratoire)
- des démarches administratives (conges, ...) effectuées via le pôle par le responsable technique.

La notion d'affectation est définie de la manière suivante :

Les ITs sont rattachés administrativement au Pôle (voir les 3 points ci-dessus) mais sont affectés dans une ou plusieurs équipes projets ou équipes scientifiques. Certains IR peuvent être affectés dans une équipe pour y mener leurs activités de recherche. La décision d'affectation est prise par le DU après consultation du responsable du Pôle et des responsables d'équipes ou de projets et, dans le cas des projets instrumentaux, cette décision se fondera sur la base des recommandations du Comité Technique (voir le descriptif ci-dessous).

Les missions de ce Pôle sont les suivantes :

- Assurer un support aux projets et activités scientifiques du laboratoire approuvés par l'Equipe de direction et le Conseil de Laboratoire ;
- Proposer et mettre en œuvre des actions de R&T en adéquation avec les projets scientifiques et instrumentaux du Laboratoire ;
- Encourager et favoriser la formation continue pour tous les agents ;
- Organiser la veille technologique (par métier) ;
- Organiser l'achat des équipements mutualisés (matériel, logiciel,..) et en assurer la gestion ;
- Participer à la gestion des salles techniques de l'OCA dont le pôle pourra avoir l'usage (interface nécessaire avec l'UMS) ;

Le Pôle est subdivisé en Groupes 'métiers' (informatique et calcul scientifique, optique, mécanique, gestion de projet, ...). Ces Groupes 'métiers' ont pour objectifs de favoriser les échanges de compétences, gérer de manière commune les moyens techniques spécialisés, proposer des formations spécialisées. Chaque groupe est animé par un responsable.

Notons que le groupe logiciel de la nouvelle UMR regroupera 14 informaticiens appartenant à deux services actuellement homologués au niveau du CNRS (Centre de Traitement Automatique de l'Information), 4 pour l'UMR Cassiopée (label en 2010), 10 pour l'UMR Fizeau (label en 2009). Le nouveau groupe garantira aux équipes scientifiques une continuité des services rendus tout en créant une synergie des techniques de l'astronomie spatiale et terrestre. Le fonctionnement du groupe devrait reprendre celui du groupe Fizeau. Il assurera les missions de conception et développement, maintenance, assistance et soutien aux opérations, administration de données, valorisation des résultats, veille technologique et dans les limites de la responsabilité de l'OCA. Les opérations actuelles sont les missions spatiales (GOLF, Picard, GAIA, AMBRE), le CFHTLS, les observations interférométriques (VEGA, AMBER, MIDI), les observations au dôme C en Antarctique et les services Observatoire Virtuel (Base de données (VEGA, CFHTLS-cluster), mise à disposition de modèles (SIMECA, FRACS...)). Il est important de noter qu'il est, vis-à-vis de ses mandats, bien distinct du groupe transverse « Calcul Numérique Haute Performance ».

Le Pôle est placé sous la responsabilité de l'ingénieur responsable technique de l'UMR qui, assisté des responsables des groupes métiers, veille à son bon fonctionnement conformément aux missions qui viennent d'être décrites. Le rôle du responsable technique est en particulier de :

- Elaborer, avec les responsables des groupes 'métier' dans le cadre du Comité Technique (voir ci-après) des propositions d'affectation des personnels IT sur les projets, et assurer un suivi de ces affectations ;
- Elaborer en concertation avec la direction le plan de recrutement des personnels techniques ;
- Veiller à la valorisation des carrières des agents et à leur bonne évolution au bénéfice de tous.

Comité Technique

La mission de ce Comité est :

- d'aider à la structuration initiale des nouveaux projets avant leur phase de dépôt pour acceptation/financement.
- d'assurer un suivi des projets en cours, en particulier un suivi de l'affectation des ressources humaines du Pôle technique de Recherche, ainsi que l'affectation des locaux techniques et des équipements scientifiques mutualisés.

Ce comité est composé du responsable technique de l'UMR, de deux chercheurs nommés par la Direction pour 4 ans (renouvellement par moitié tous les 2 ans), des ingénieurs responsables des groupes 'métiers', de la gestionnaire du pôle technique de recherche. Il est placé sous la responsabilité d'un des deux chercheurs.

Le principe de fonctionnement du comité est la suivante :

- Suivi des projets : 2 fois par an par enquête auprès des projets puis travail au sein du comité :
 - a. Tables mises à jour semestriellement (janvier, juin) pour chaque projet
 - b. Table générale des projets du laboratoire mise à jour
- Revue de projets annuelle, ouverte à l'ensemble du laboratoire.
 - a. Dossier scientifique et technique des projets.
 - b. Rapport du comité vers la direction et le Conseil de Laboratoire avec propositions de décision : soutiens financiers, soutiens en personnels permanents et temporaires, mise à jour de la liste des projets en cours.
- Réunions bimestrielles du comité de pilotage :
 - a. 2 fois par an :
 - i. Discussion et validation des propositions d'affectation des personnels préparées par les responsables des groupes de métier.

- ii. Gestion des moyens communs: locaux techniques, matériels scientifiques
 - iii. Préparation du plan de recrutement (CDD, NOEMI, renouvellements)
 - iv. Points sur le plan de formation (présence du responsable FP).
 - v. Préparation des demandes de moyens communs (demande INSU)
- b. Réunions standard :
 - i. Traiter les affaires courantes (questions urgentes sur les projets).
 - ii. Aide à la structuration des nouveaux projets par mise en place de groupes d'études en liaison avec le PI.
- Communications :
 - a. Les informations du Comité de Pilotage seront centralisées et diffusées via une page Web.

Projets du laboratoire

A la date de rédaction du présent projet, les laboratoires Cassiopée et Fizeau sont impliqués dans un certain nombre de projets instrumentaux qu'il convient de prendre en compte dans l'organisation du futur laboratoire. Le statut réel de ces projets en 2012 n'est pas connu pour tous et la mise en place du Comité Technique pour le démarrage du laboratoire permettra de gérer ce passage de responsabilités. Les équipes projets associées sont structurées autour des objectifs rappelés succinctement ci-dessous et se trouvent positionnées de manière croisée aux équipes thématiques ou groupes transverses.

Nom	Type	Niveau	Descriptif	Responsable	Status mi-2010
AMBER	Instrument sol	International	Instrument sur VLTI à 3 télescopes. Infrarouge proche et spectroscopie	Petrov	Exploitation
ASTEP	Instrument sol	National	Photométrie de transit exoplanétaire depuis le Dôme C	Guillot	Exploitation
COROT	Mission spatiale	National	Photométrie de transit exoplanétaire	Guillot	Exploitation
MIDI	Instrument sol	International	Instrument sur VLTI à 2 télescopes. Infrarouge thermique	Lopez	Exploitation
PERSEE	R&D	National	Banc de test d'interférométrie annulante, application possible pour FKSI	Henault	Exploitation
SIRIUS	R&D	Local	Banc de R&D hypertélescope - cophasage	Mourard	Exploitation
SPUTTERING	R&T	Local	Equipe pour le dépôt de couches minces	Assus	Exploitation
VEGA	Instrument sol	International	Instrument visible sur le réseau CHARA au Mont-Wilson	Mourard	Exploitation
APODISEUR	R&T	Local	R&T de fabrication de masques pupillaires apodiseurs	Aime	Développement
E-ELT	Observatoire sol	International	Caractérisation du site	Vernin/Ziad	Développement
GAÏA	Mission spatiale	International	Traitement et analyse des données Gaïa	Mignard	Développement
ITHD	R&D	Local	Banc d'imagerie haute dynamique avec un interféromètre Mach-Zehnder	Aime	Développement
JUNO	Mission spatiale	International	Exploration de Jupiter	Guillot	Développement
MATISSE	Instrument sol	International	Instrument sur VLTI à 4 télescopes	Lopez	Développement
PBL	Instrument sol	Local	Site testing au Dôme C avec un profileur bord lunaire	Ziad	Développement
PICARD	Mission spatiale et Instrument sol	National	Analyse des données PICARD et intégration/opération de l'instrument sol Sodim 2 à Calern	Corbard	Développement
SPHERE	Instrument sol	International	Instrument haute dynamique sur VLT	Abe	Développement
ASTEROÏDE	Mission spatiale	Local	Concept de mission spatiale vers un astéroïde géocroiseur	Morbidelli	Elaboration / pré-étude
DSI	Mission spatiale	National	Instrument de sismologie sur la mission EJSM	Schmider	Elaboration / pré-étude
E-ELT	Observatoire sol	International	Instruments EPICS, EAGLE		Elaboration / pré-étude
ESA	Mission spatiale	Local	Simulation numérique de la fragmentation d'astéroïde par un impacteur	Michel	Elaboration / pré-étude
EUCLID	Mission spatiale	International	Univers à grande échelle	Maurogordato	Elaboration / pré-étude
FKSI	Mission spatiale	International	Concept d'interféromètre spatial pour la détection d'exozodis	Lopez	Elaboration / pré-étude
GYES	Instrument sol	International	Suivi spectroscopique sol de GAIA	Hill	Elaboration / pré-étude
MARCO POLO	Mission spatiale	International	Retour d'échantillons d'un astéroïde	Michel	Elaboration / pré-étude
PLT	Mission sol	National	Projet de télescope polaire au Dôme C, grand champ, HRA, Infrarouge proche et thermique	Epchtein	Elaboration / pré-étude
POPS	Instrument sol	National	Suiveur de franges nouvelle génération du VLTI	Henault	Elaboration / pré-étude
SPICA CDA	R&D	National	Banc de test du concept d'astrométrie différentielle chromatique pour la détection d'exoplanètes avec SPICA	Abe	Elaboration / pré-étude

Fig. 4 : Tableau des activités projet du laboratoire Lagrange (situation mi-2010).

Le tableau ci-dessus a pour objectif de montrer la diversité des activités projet. Nous y avons listé les moyens d'observation en exploitation où les équipes locales ont joué un rôle fort pour la réalisation. Les projets en

développements sont clairement à leadership d'un membre du laboratoire. Quant aux projets en développements, ils représentent des perspectives à moyen et long terme qui s'insèrent dans de grands consortia mais nous prétendons jouer un rôle moteur sur un certain nombre de ces projets. C'est aussi à ce niveau là que la création du laboratoire Lagrange prend tout son sens.

La liaison entre ce tableau et les moyens humains et techniques du laboratoire n'apparaît évidemment pas aujourd'hui. Si beaucoup de ces projets sont déjà bien structurés (exploitation/développement), le regroupement dans le nouveau laboratoire devra prendre en compte l'ensemble des besoins actuels ainsi que de la prospective (Elaboration/pré-étude). C'est en particulier au niveau du bureau stratégique et du Conseil de Laboratoire que les grands choix devront être faits vis-à-vis de la politique scientifique du laboratoire. Parallèlement, c'est le mandat du Comité de Technique avec la Direction du laboratoire que d'établir la liaison Moyens-Projets et nous comptons en particulier mettre en place le Comité Technique dès 2011 de façon à avoir une vision globale opérationnelle dès le début du mandat du nouveau laboratoire, de sorte que les décisions puissent être éclairées par les informations manquantes aujourd'hui.

Organisation de l'administration du Laboratoire

Après un état des lieux des modes d'organisation administrative de chaque UMR, une proposition d'organigramme fonctionnel est présentée pour la partie administrative du nouveau laboratoire. Il s'agit d'une présentation de l'organisation des fonctions, la répartition sur les personnels existants ou à recruter sera à mener ultérieurement et bien sûr en liaison avec le directeur quand il sera désigné.

Données consolidées et cumulées des deux unités Cassiopée et Fizeau pour l'année 2009 :

Gestion Financière :

- 2550 factures
- 948 missions
- 13 contrats (ANR, Europe, ...)
- budget de 1.9 M€ + 1 ERC de 1.2 M€

Gestion du personnel :

- 120 permanents
- 32 doctorants
- 4 CDD
- 18 visiteurs, post-doc et chercheurs associés
- 20 stagiaires

Le nombre d'administratifs temps plein est d'actuellement 7.9. Pour favoriser une bonne cohésion de l'équipe, il est important que la partie de l'administration en lien avec la direction de l'Unité soit regroupée sur un même site.

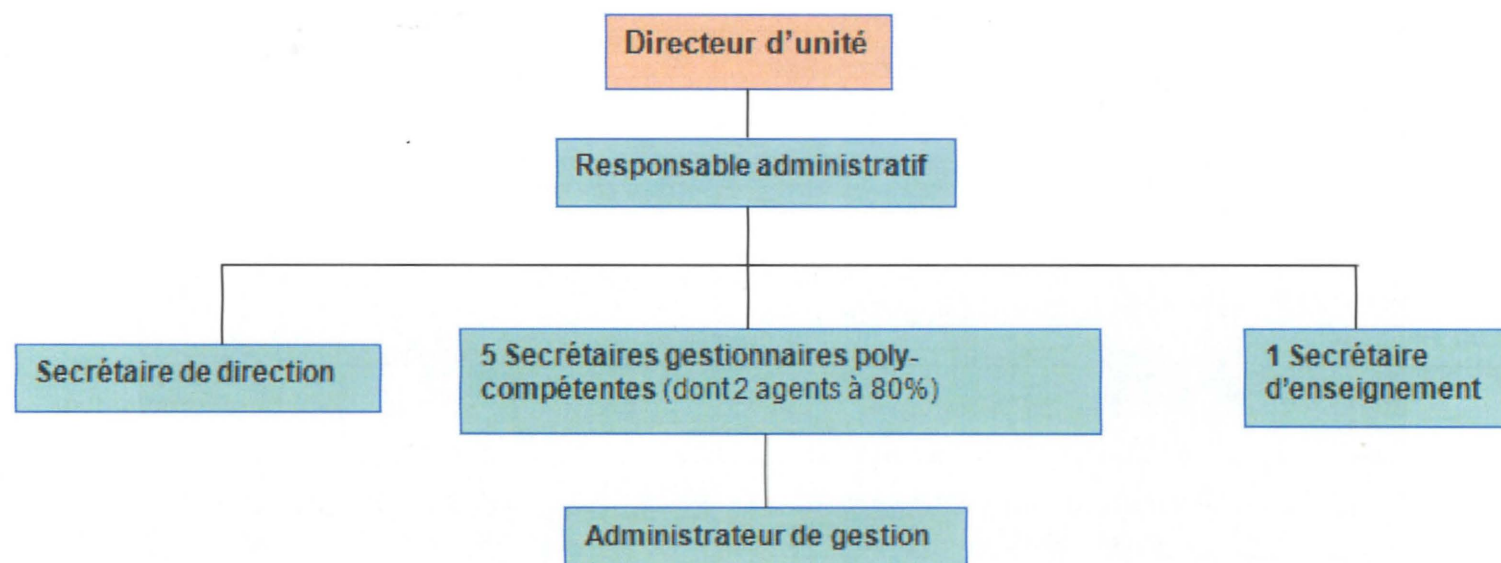


Fig. 5 : Organigramme administratif du laboratoire.

Cette organisation repose sur un responsable administratif qui coordonne l'ensemble des activités, organise et anime l'équipe administrative et est en charge des interfaces avec les tutelles et des questions de valorisation. A côté de ce responsable administratif, un poste est dédié à l'administration de la gestion, un autre au secrétariat de direction. Nous notons également un besoin important sur l'organisation et le suivi des appels d'offre ainsi que sur les aspects publications. Les secrétaires gestionnaires polyvalentes ainsi que le secrétariat d'enseignement auront également un certain nombre de spécialisations au niveau général de l'Unité. A l'heure actuelle et compte tenu de l'évolution récente des quotités de temps de travail au niveau des personnels administratifs, nous identifions, en très haute priorité, le besoin de recrutement d'un agent niveau AI/IE pour la responsabilité administrative du laboratoire. Nous présentons ci-dessous la répartition des fonctions telle qu'elle est proposée :

- Responsable administratif
 - Coordination des activités administratives
 - Organisation et animation de l'équipe
 - Interface avec les tutelles
 - Dossier des personnels permanents
 - Valorisation
- Secrétariat de direction
 - Agenda, courrier et déplacements du directeur
 - Gestion des bases de données
 - Diffusion et suivi des appels d'offre
 - Gestion financière de la direction et des services communs
- Secrétaires gestionnaires
 - Gestion financière de 5 équipes thématiques et de 2 groupes transverses
 - Environ 30 projets et contrats
 - Spécialisation pour l'ensemble de l'Unité
 - Référent recrutements
 - Correspondant formation
 - Responsables visiteurs et stagiaires
 - Organisation de colloques et écoles
 - Organisation des réceptions
 - Expédition de matériel scientifique
 - Communication
- Administrateur de Gestion
 - Mise en place et suivi du budget
 - Contrôle des actes de gestion
 - Suivi et justification des contrats
 - Aide au montage financier des projets
- Secrétariat d'enseignement
 - Organisation vis-à-vis des responsabilités dans les filières

Présentation du rôle dans l'enseignement

Le schéma ci contre résume l'évolution de l'offre de formation qui implique le laboratoire dans le cadre du master. L'offre de formation a évolué vers plus de lisibilité de la part de l'extérieur et tire partie des compétences acquises lors de l'élargissement de l'OCA. Nous allons passer d'un master proposant un M1 tronc commun avec 5 parcours possibles en M2 (le parcours ASTRO se scindant lui même en 2 sous parcours) à un master comportant 3 spécialités à caractères recherches et pro offrant une formation sur 2 années. IMAG2E pour Imagerie et modélisation Astrophysique Géophysique Environnement et Espace, OPTIQUE et MCS pour Modélisation et Calcul Scientifique sont les trois nouvelles spécialités dans lesquels le laboratoire LAGRANGE intervient. La mention Master de Physique Appliquée ainsi que la spécialité IMAG2E sont sous la responsabilité de deux membres de l'UMR.

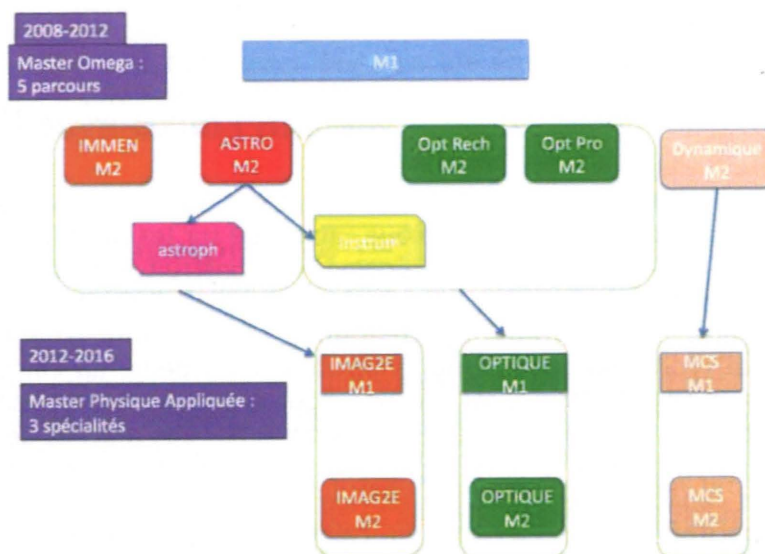


Fig. 6 : Evolution du MASTER OMEGA

L'objectif de la spécialité IMAG2E est de former en deux ans des experts en traitement du signal et modélisation appliqués non seulement à notre environnement proche: la Terre et ses ressources, mais aussi à notre environnement lointain: l'astronomie. L'accent est mis d'emblée sur les applications afin que l'étudiant puisse se prévaloir, aussi bien dans le monde industriel que dans la recherche publique, d'un bagage d'expériences concrètes et pratiques dans les domaines de la modélisation, de l'imagerie et de la gestion des données. Bien évidemment l'aspect fondamental et théorique indispensable pour une modélisation réaliste ainsi qu'une interprétation pertinente sera approfondi au gré des illustrations pratiques. Le creuset d'excellence scientifique des laboratoires et des industries impliquées dans ce projet rendra possible une formation originale et de haute qualité en adéquation avec les problématiques modernes du monde la recherche et de l'industrie.

La spécialité IMAG2E, de par sa structuration autour de l'imagerie et de la modélisation appliquées aux sciences de l'univers, de la Terre, de l'espace et de l'environnement s'appuie sur plusieurs pôles de compétitivité, dont notamment le pôle photonique POPSUD sous son aspect traitement d'images et son implication dans les programmes d'observations.

Conscients de l'importance cruciale des aspects pratiques dans l'apprentissage de toute science physique en général, et de l'astronomie en particulier, un groupe de chercheurs, d'enseignants-chercheurs et d'ingénieurs de l'UNS, de l'OCA et du Collège de France s'est constitué pour proposer une solution élégante, efficace et de coût modeste à ce problème. Porté majoritairement par un petit groupe de chercheurs et ingénieurs du laboratoire, la proposition est de

mettre en œuvre une base astronomique pour l'enseignement à l'Observatoire de la Côte d'Azur, installation qui serait de nature à combler ce défaut de structure, et à compenser le déséquilibre Est-Ouest qui existe en région PACA dans ce domaine. Le projet s'appelle Centre Pédagogique de la Planète et de l'Univers (C2PU). Même si cette installation sera dédiée prioritairement à l'enseignement universitaire concret de l'astronomie, elle pourrait aussi servir à rapprocher la science des élèves de l'enseignement secondaire. En plus de ses missions premières d'enseignement et de vulgarisation, ces deux instruments auraient une qualité instrumentale suffisante pour permettre d'y envisager certains programmes de recherche astronomique dans différents domaines d'actualité (exo planètes, astéroïdes, supernovae, R&T...).

Il est important de noter que ce master s'ouvre à l'international grâce aux collaborations apportées par les chercheurs du laboratoire. On peut en particulier citer aujourd'hui l'Université de Liège et l'Université de Sao Paulo. La présence en 2012 de ce nouveau MASTER sera un atout important pour le nouveau laboratoire et d'ores et déjà l'attitude volontariste que nous avons sur les offres d'enseignement en astronomie/astrophysique devrait permettre le développement correct du lien enseignement-recherche. Notons pour finir que les chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire sont également impliqués à divers niveaux des cursus et notamment au niveau licence et participent à des actions vers le grand public de la région en donnant des conférences grand public pour les associations de la région (e.g. Société Astronomique de Cannes, Collège Paul Valéry, etc ...) ou lors d'événement particuliers (e.g. soirée célébrant les 40 ans du premier pas sur la Lune à Saint-Tropez avec Buz Aldrin, exposition à la bibliothèque Nucéra etc ...).

Notons également l'implication importante des chercheurs de l'OCA dans l'enseignement dispensé dans le cadre de l'Erasmus Mundus Joint Doctorate IRAP (International Relativistic Astrophysics Doctorate Program) de l'Université de Nice.

Le regroupement des laboratoires Cassiopée et Fizeau va permettre aux futures équipes d'élargir leurs compétences notamment en alliant plus étroitement les aspects théoriques et observationnels/instrumentaux et renforcera la visibilité de l'Astronomie à Nice grâce à cette présentation plus globale. De fait donc, l'offre d'encadrement pour les doctorants s'en trouvera renforcée avec de plus une simplification administrative importante de n'avoir qu'un seul laboratoire de contact pour les étudiants. Nous comptons également sur la nouvelle organisation pour nous permettre de présenter à l'Ecole Doctorale une offre de formation plus élaborée et globalisée et pour laquelle l'exécutif du nouveau laboratoire (bureau de direction et bureau stratégique) jouera un rôle amont dans le cadre de son mandat scientifique. Ce travail amont sera accompagné d'un suivi régulier des doctorants au niveau du bureau stratégique et en liaison notamment avec les responsables d'équipe, de manière d'une part à anticiper autant que possible les difficultés mais aussi à construire une vision d'ensemble vis à vis des débouchés, de l'élaboration des stratégies de recrutement et enfin des potentielles accréctions externes.

Interfaces avec l'UMS de l'OCA

Le laboratoire s'appuie très fortement sur les services communs de l'OCA, et notamment sur les services mutualisés d'informatique et de mécanique, ainsi que sur les plateformes technologiques (salles grises et blanche) installées dans le bâtiment de recherche récemment construit. Le calcul numérique a toujours été très soutenu à l'OCA par la politique de son **centre de calcul**, qui a mis à disposition régulièrement des machines de calcul performantes. Depuis 6 ans, les moyens informatiques de l'établissement ont été organisés en un mésocentre (CRIMSON : <http://crimson.oca.eu/spip.php?rubrique42>) dédié au calcul parallèle, mutualisé au niveau de l'Université, et géré sur le site du Mont Gros par une équipe du SIT. Son utilisation par les unités Cassiopée et Fizeau est conséquente, atteignant 60% des capacités de la machine. Ces moyens de calcul offrant une grande souplesse d'utilisation sont très importants pour le développement de nos projets et sont un complément indispensable aux centres nationaux. Outre ces capacités de calcul, ce service offre en plus un accompagnement aux utilisateurs ; de véritables recherches en algorithmique au service du calcul sur des machines hautement parallélisées peuvent ainsi être menées en collaboration avec ce service. Par ailleurs, depuis juillet 2010, l'OCA a embauché un ingénieur chargé de développer le portail « **Observatoire Virtuel** » de l'établissement devant héberger les différents services en gestation dans nos équipes : standards d'entrée/sortie, descripteurs, modèles de données, interfaces utilisateurs, passerelles vers les autres outils, tests de qualité, de montée en charge, etc. Sélectionnés en fonction des attentes de la communauté, ces services OV suivent la politique de mise à disposition des données et des codes numériques du laboratoire ; ils constitueront une excellente valorisation des recherches menées à l'OCA.

Le **service informatique et télécommunications SIT** de l'OCA apporte une aide opérationnelle quotidienne et efficace au laboratoire : réseau, postes de travail, stockage, archivage, communications. Il assure également un service de conseils et d'encadrement pour les développements informatiques des laboratoires. Le **service de mécanique S2M**, également mutualisé pour divers laboratoires de la région, permet, grâce à ses machines à commande numérique, de répondre aux besoins les plus courants des chercheurs instrumentalistes et a également contribué au prototypage de solutions mécaniques innovantes. Il constitue, avec les salles à environnement contrôlé, un atout indispensable pour permettre aux équipes du laboratoire de répondre aux appels d'offre des consortia internationaux. Le **service de la bibliothèque** joue également un rôle important dans la vie scientifique de l'unité ; sa politique de mutualisation avec l'UNS a permis d'offrir aux chercheurs une palette exceptionnelle de revues en ligne. Son fond livresque est également d'une richesse rare qu'il faut veiller à préserver et accroître. Il faut également souligner le rôle de plus en plus important des **services financiers** dans l'aide à la gestion des divers contrats. Notons enfin que le laboratoire bénéficie d'une aide logistique conséquente pour tout ce qui concerne l'organisation de réunions et que la mutualisation des contrats (fluides, téléphone, papèterie) au niveau de l'OCA est une source d'économies substantielles.

Insertion dans le tissu local, national ...

Le laboratoire a des liens importants avec le laboratoire de Mathématiques de l'UNS au travers de collaborations entre les équipes « Turbulence fluide et plasma » (du laboratoire Cassiopée) et « Modélisation Numérique et Dynamique des Fluides » (du LJAD). Différents axes de recherches sont concernés : le transport de particules dans des écoulements turbulents, la physique statistique, la magnétohydrodynamique et les méthodes numériques. Le laboratoire fait partie de la fédération Doeblin (également en renouvellement), qui vise à organiser les recherches communes entre au moins deux des laboratoires Cassiopée, de Mathématiques (LJAD) et de physique (LPMC et INLN).

Le laboratoire a depuis longtemps des interactions continues avec l'industrie Thalès Alenia Space (site de Cannes) dans le cadre de la préparation de proposition de missions spatiales au CNES et au programme de l'ESA Cosmic Vision 2015-2025 (e.g. aide à l'élaboration de scénario de mission et stratégie de visite d'un astéroïde primitif proposée comme mission de classe M en 2007 et en 2010, développements des propositions d'interférométrie spatiale (PEGASE, DARWIN) et des bancs de R&D sur l'interférométrie annulante (MAIL, PERSEE). Cette entreprise s'est engagée depuis de nombreuses années dans le cofinancement d'étudiants en thèses et des journées de rencontre sont organisées chaque année entre l'OCA et TAS autour des travaux menés en thèse.

Par les développements instrumentaux dans le domaine de l'optique (couches minces, interférométrie optique, coronographie) qui sont menés dans le laboratoire, nous apparaissions comme acteur fort du pôle de compétitivité POPSUD et du réseau OPTITEC qui lui est associé. Plusieurs projets ont ainsi été labellisés par le pôle et certains, comme le développement de la technique du sputtering sur de grandes surfaces optiques ont ainsi été financés en liaison avec des complexes industriels dans un esprit de valorisation. D'autres actions de R&D sur la coronographie et l'interférométrie optique autour de la thématique des exo planètes ont été développées avec l'Observatoire de Marseille et ont conduit à des études notamment liées au cophasage de segments.

Au niveau national, notre insertion dans les programmes nationaux de l'INSU est excellente (PNPS, PNP, PNST notamment et ASHRA, JMMC) avec une contribution forte à l'animation scientifique et une prise de responsabilité importante dans ces instances. Nous sommes également impliqués dans plusieurs groupes ad'hoc du CNES pour la programmation scientifique de l'agence spatiale et les équipes ont bénéficié de plusieurs programmes de R&T, notamment dans le domaine de l'interférométrie et de la planétologie. A travers les activités CNES, nous avons également participé ou initié et avons l'ambition de continuer dans ce sens au montage de grands dossiers déposés dans le cadre des appels d'offre de l'ESA (Cosmic Vision) ou au travers d'autres agences internationales (NASA, JAXA).

Par l'étendue des thématiques scientifiques du laboratoire, nous avons établi des collaborations avec un très grand nombre de laboratoires nationaux et internationaux. Les contrats européens (ERC, I3, réseaux) ont fortement contribué à cette structuration et aux liens européens du laboratoire. Cet aspect devra encore être plus développé au cours du prochain quadriennal, notamment en appui aux questions d'internationalisation de l'enseignement et vis-à-vis des ouvertures nombreuses que cela apporte en termes de collaborations, post-docs, doctorants...

Les grands axes de la prospective

Nous avons présenté au début de ce document les ambitions scientifiques et stratégiques du nouveau Laboratoire Lagrange et l'organisation que nous envisageons pour mettre en œuvre ce projet. L'identification des grandes questions thématiques s'est basée de manière claire sur les points forts des deux laboratoires Cassiopée et Fizeau et sur les nombreuses actions inter-laboratoires qui ont été menées ces dernières années. Les questions de planétologie et de traitement du signal étaient en effet au cœur des deux programmes pluri-formation du précédent quadriennal (OPERA et ISSO) et il était inscrit dans les plans quadriennaux précédents de Fizeau et Cassiopée qu'un ultime regroupement de la physique stellaire à Nice serait encore nécessaire. Le laboratoire Lagrange accomplit donc de ce point de vue les regroupements nécessaires à une prospective scientifique large et s'appuyant sur l'ensemble des compétences présentes. Cette prospective intègre également les évolutions et orientations proposées par l'Observatoire de la Côte d'Azur, au-delà de sa mission d'OSU, et qui se déclinent, pour ce qui concerne notre Laboratoire, autour du développement de l'Observatoire Virtuel, du soutien à la mise en place d'un pôle inter-UMR de métrologie, de la poursuite des efforts autour du calcul numérique haute performance et enfin du projet C2PU pour les questions de formation et de diffusion des connaissances.

L'organisation du laboratoire comme nous l'avons conçu a également pour objectif une meilleure transversalité entre les équipes thématiques et les groupes transverses originaux autour des méthodes observationnelles et du calcul numérique haute performance. Ce point passe par une animation scientifique forte au sein du laboratoire et c'est un des enjeux importants de ce nouveau laboratoire. En ce sens le bureau stratégique et le Comité Technique joueront un rôle particulièrement important.

On trouvera dans les annexes les analyses prospectives en fonction des diverses thématiques. Partant des grandes thématiques scientifiques, ces analyses se déclinent en de nombreux projets et activités de recherche que l'on retrouve également à divers stades de maturité dans la table des projets en cours dans le Laboratoire. Notons l'importance pour le Laboratoire des deux grands projets structurants que sont GAIA et MATISSE et la richesse du patrimoine instrumental et théorique sur lequel les équipes ont investi depuis de nombreuses années et qui sont aujourd'hui en phase d'exploitation scientifique. Ces axes prospectifs s'intègrent clairement dans les grandes priorités récentes de la prospective INSU-AA 2009 tout en conservant l'innovation locale importante de manière à conserver une force originale de propositions et d'actions.

Mise en œuvre

Adéquation des moyens humains

Comme nous venons de le présenter ci-dessus, les moyens humains du laboratoire se répartissent sur les cinq équipes thématiques, le pôle technique de recherche et l'administration du laboratoire. La politique d'animation de l'unité va jouer un rôle particulièrement important compte tenu des évolutions entre la situation actuelle (Cassiopée et Fizeau) et la nouvelle unité. Nous souhaitons donner un rôle fort aux responsables des équipes thématiques et des groupes transverse avec non seulement mandat sur l'animation scientifique et la gestion régulière des activités (missions, commandes, stagiaires...) mais aussi mandat de mener une réflexion prospective à court, moyen et long terme. Ces groupes doivent assurer un rôle de veille scientifique dans leur domaine notamment vis-à-vis des sollicitations externes: appels d'offre, collaborations, etc... Le responsable représente le groupe auprès de la direction et organise la réflexion sur les priorités internes en termes de recrutement, stagiaires, doctorants, post-doctorant. C'est au sein du bureau stratégique de l'Unité, sous la responsabilité d'un des directeurs-adjoints, que l'interfaçage des différents points de vue sera élaboré en vue de proposition au Conseil du Laboratoire d'une part et vis-à-vis des partenaires externes, au premier rang desquels l'OCA et l'UNS. Le Comité Technique aura également un rôle structurant important afin d'apporter l'aide nécessaire à l'émergence et au bon déroulement des projets. C'est aussi à ce niveau que seront élaborées les grandes orientations en termes de politique de formation des ingénieurs et techniciens et de besoins nouveaux sur les métiers techniques et d'accompagnement de la recherche.

Sur les grands axes thématiques du laboratoire nous avons d'ores et déjà identifié des besoins en recrutement ITA que l'Unité affichera dans les années à venir et que nous présentons ci-dessous :

- Le poste de responsable administratif du laboratoire d'un niveau IE est identifié à très haut niveau de priorité afin de pouvoir assurer la mise en œuvre correcte de notre projet.
- Pour la prospective en moyens humains Ingénieurs et Techniciens et compte tenu des prévisions actuellement en cours au sein du groupe technique du laboratoire Fizeau ainsi que du panorama des projets présentés ci-dessus, nous considérons les deux profils suivants comme hautement prioritaires pour le laboratoire Lagrange :
 - o un ingénieur de recherche système instrumentation. La création du laboratoire Lagrange va favoriser de nouvelles synergies entre chercheurs théoriciens et instrumentalistes. Pour accompagner l'élaboration de nouveaux projets instrumentaux ou l'engagement du Laboratoire dans des consortiums, notamment dans le cadre des études à venir pour l'instrumentation focale de l'E-ELT et vis-à-vis de l'implication croissante dans les projets spatiaux, le recrutement d'un ingénieur système est un besoin important pour le Laboratoire.
 - o un ingénieur d'étude en conception mécanique. L'actuel Laboratoire Fizeau dispose d'un groupe mécanique constitué de 3 personnels permanents et d'une à deux personnes en CDD. Parmi les permanents, l'ingénieur d'étude, responsable du groupe, partira à la retraite courant 2012. Il est nécessaire de prévoir son remplacement si l'on veut garantir la bonne prise en charge de l'étude du projet MATISSE qui sera livré en 2015, et maintenir un groupe capable de répondre aux besoins des futurs projets du Laboratoire Lagrange.
 - o Concernant le développement des activités Observatoire Virtuel au sein du laboratoire, nous nous appuyons sur les services fédéraux de l'OCA pour la gestion du portail numérique et le déploiement des services (comité scientifique et comité technique). Il est cependant de la responsabilité du laboratoire que d'identifier les services à valoriser puis à les développer dans le contexte mis en place par l'OCA. Actuellement des activités de prototypage sont en cours pour deux bases de données (liée au CFHTLS et à l'instrument VEGA/CHARA) et la montée en puissance en 2011 de ces services et de ce type de développements conduit à identifier d'une part un besoin de formation pour les ingénieurs informaticiens actuellement dans Cassiopée et Fizeau et d'autre part à prévoir l'identification de cette compétence dans les moyens humains du laboratoire et si besoin de planifier le recrutement d'un IE au cours du quadriennal.
 - o Le Mésocentre est une structure de l'OCA pour un ensemble de laboratoires de l'UNS. C'est un service que l'on va beaucoup utiliser et un besoin d'expertise dans les équipes scientifiques de l'UMR pour le calcul intensif est clairement identifié. L'arrivée prochaine de la ferme de calcul de l'Université de Nice renforce également ce besoin pour une utilisation optimale des grands ordinateurs locaux et la préparation de l'accès aux supercalculateurs européens. Nous proposons la mutualisation d'un ingénieur en programmation objets pour le calcul intensif: exemple calcul hybride : MPI/multithreading (openMP), GPU..., niveau IE de préférence.
 - o Par ailleurs des collaborations extérieures sont en cours de développement pour le futur avec l'INRIA, notamment pour ce qui concerne la visualisation 3D, stéréoscopique, la visualisation de haute précision 2000x4000. Une expertise en génie logiciel est identifiée comme manquante dans le laboratoire vis-à-vis des grands axes scientifiques du projet EQUIPEX en liaison avec les cinq équipes thématiques du laboratoire. Il s'agit notamment du problème de visualisation de données multidimensionnelles issues d'observations ou de modèles et naturellement leur confrontation de manière à fournir des outils d'interprétation de nouvelle génération.

Du point de vue des recrutements chercheurs, à la date de soumission du présent rapport, l'analyse n'a pas pu être menée totalement en profondeur compte tenu du remodelage des équipes. Il ressort néanmoins plusieurs profils prioritaires que nous présentons succinctement ci-dessous

- Concernant le domaine de la physique stellaire, un manque est identifié autour d'un chercheur théoricien « senior » pour renforcer nos compétences théoriques dans le domaine de l'hydrodynamique radiative et du transfert de rayonnement.
- Moyens humains CNRS section 7 : les motivations principales sont à la fois le manque de chercheurs CNRS de l'équipe et l'absence de chercheurs CNRS dans la section 7 au laboratoire. Cela sera très profitable pour une visibilité accrue du TSI dans un laboratoire de sciences de l'observation mais également pour la personne recrutée qui trouvera une richesse scientifique indéniable dans un laboratoire pluridisciplinaire. La recherche du candidat recruté se situera sur un plan théorique dans le cadre général du traitement statistique du signal et des images. Sur un plan applicatif, une étroite collaboration avec des astronomes et des astrophysiciens du laboratoire est prévue.
- Moyens humains en section 10: Le laboratoire a un noyau de chercheurs de la section 10 du CNRS, spécialistes de mécanique des fluides et des plasmas et particulièrement dans la thématique de la turbulence développée. Malgré un très grand dynamisme, cette équipe n'a pas recruté de chercheurs ces dernières années et un besoin se fait cruellement sentir dans les domaines de la simulation numérique haute performance pour le transport de particules (avec application à la physique atmosphérique et aux disques protoplanétaires) et également pour la magnéto-hydrodynamique (dynamo turbulente, modèles sous-maille, ...)

Adéquation des moyens financiers

Le budget du laboratoire continue d'assurer une part importante de la vie scientifique des équipes, notamment compte tenu des phases de plus en plus longues et nombreuses de gestation des grands projets. Cette capacité du laboratoire de s'investir en amont des grands axes doit être soutenue de manière forte de façon à permettre à nos équipes d'asseoir leur place dans la compétition nationale, européenne et internationale. C'est particulièrement vrai dans les phases préparatoires de plus en plus longues et nombreuses des projets spatiaux. En parallèle de ce soutien, et depuis de nombreuses années, les groupes ont pris l'habitude de structurer leurs activités en obtenant la reconnaissance et le soutien des programmes nationaux et actions spécifiques. Un nombre croissant de propositions ANR (programme Blanc et Jeune-Chercheur) est également à souligner et devrait s'amplifier dans les années à venir. Notons également qu'à travers les développements instrumentaux lourds dans lesquels le laboratoire est investi, nous bénéficions de contrats CNES, ESA pour les activités spatiales ainsi que de partenariats industriels importants et que pour les projets sol, nous obtenons les moyens nécessaires auprès de l'INSU, du CNRS, de l'ESO. D'une manière générale, les équipes sont également très sensibilisées à l'existence des possibilités de financement via les collectivités territoriales (Ville de Nice, Conseil Général, Conseil Régional) et les implications de l'OCA, de l'UNS et du CNRS dans ce domaine nous apportent une aide très importante. Enfin, plusieurs chercheurs de l'Unité sont à l'origine de contrats européens (réseaux, I3, ERC grant) et nous avons l'ambition de poursuivre et d'amplifier cet effort dans les années à venir.

Le mode de fonctionnement du Laboratoire au sein des établissements OCA et UNS conduit également à une mutualisation forte de nombreux postes de dépenses (réseau, téléphone, fluides....). Le budget du laboratoire sera préparé par la direction du Laboratoire et discuté par une commission spécialisée issue du Conseil de Laboratoire. Parmi les grandes orientations de ce budget, nous souhaitons mutualiser au niveau général de l'Unité tout ce qui concerne la vie végétative (postes de travail, mobilier) et permettre ainsi aux équipes de se concentrer sur les actions scientifiques. Cela présente aussi l'avantage de simplifier de manière importante les situations de multi-appartenance thématique. Les cinq équipes thématiques, les groupes transverses et les équipes projets devront ainsi préparer leur budget interne ainsi que les demandes de crédits externes en fin d'année n-1 afin que la commission budget prépare la proposition. Ce budget sera construit sur la base des activités prévisibles de l'année n et s'attachera particulièrement à la recherche des financements et cofinancements externes.

Vis-à-vis du développement du pôle technique de recherche et en accompagnement de la plateforme technologique mise en place par l'OCA, nous avons démarré une politique de remise à niveau importante de l'instrumentation de laboratoire lors du quadriennal 2008-2012. Le laboratoire FIZEAU a ainsi acquis un parc de matériels mutualisés avec le concours financier de l'OCA, de l'INSU et de l'UNS. On peut citer une source laser supercontinuum, une enceinte de test thermique, un collimateur multi-usage à miroirs, un théodolite, une sphère intégrante. 120 k€ HT ont ainsi été investis en deux ans et de nouveaux équipements sont envisagés en 2011 pour un montant de 90 k€ (analyseur de surface d'onde, lunette autocollimatrice électronique, ...). Ces équipements constituent des moyens techniques indispensables pour soutenir les expériences de R&D et le développement des projets en cours. En complément des salles d'optique du nouveau bâtiment de l'OCA et des futures salles techniques qui seront aménagées sur le campus Valrose, cette politique crée un environnement technique moderne pour l'élaboration de futurs projets. Dans le projet d'UMR Lagrange, nous envisageons le prolongement de cette politique d'investissement afin de moderniser l'ensemble de nos moyens instrumentaux, en mettant en place une politique de gestion et d'utilisation de ces matériels sous la responsabilité du pôle technique.

Valorisation, Communication

Le haut niveau depuis longue date des développements instrumentaux menés à l'Observatoire de la Côte d'Azur et notamment au laboratoire FIZEAU a conduit à une prise de conscience forte des aspects valorisation des activités auprès des industriels. A travers l'aide de nos tutelles locales (délégation régionale du CNRS, cellule de l'UNS et de l'OCA), plusieurs actions ont déjà été menées en s'appuyant notamment sur le réseau d'entreprises liées au pôle de

compétitivité OPTITEC. La représentation de nos laboratoires et demain du laboratoire Lagrange à haut niveau dans les instances de ce pôle nous permet de trouver les bons partenaires ainsi que les bonnes opportunités de valorisation. La tradition en optique et dans le domaine des couches minces est notamment à souligner. Le développement des l'instrumentation spécifique pour le dôme C a également conduit à des partenariats industriels qu'il convient de mettre en avant.

Dans le domaine de la communication, les deux laboratoires Cassiopée et Fizeau ont toujours eu un rôle très actif, auprès des média locaux ou des journaux spécialisés mais également en direction du grand public et des jeunes. Nous bénéficions à ce titre de l'appui de l'établissement OCA dont la communication est une des fonctions prioritaires. Nous rappelons également les nombreuses actions de communication assurées par les chercheurs de l'OCA en liaison avec l'offre de formation (voir paragraphe sur l'enseignement). En liaison avec les grandes réalisations du laboratoire, nous continuerons de soutenir, au sein du laboratoire et auprès des chercheurs et ingénieurs, la communication des résultats et avancées technologiques (films, documentaires, communiqués de presse...).

H&S, Sécurité, Ethique

La notion de risques a toujours été prise très au sérieux au niveau des laboratoires fondateurs du laboratoire Lagrange. De même que sur les actions de valorisation et de communication, la structuration forte de cet aspect de la vie d'un laboratoire grâce à la délégation régionale du CNRS, à l'OCA et à l'UNS a depuis longtemps permis la mise en place de règles et de procédures. Le laboratoire Lagrange hérite naturellement de ce contexte mais devra établir ses propres risques notamment vis-à-vis des salles techniques où l'instrumentation nouvelle sera intégrée et testée. Les systèmes d'évaporation pour le dépôt des couches minces est de ce point de vue déjà bien encadré. Les expériences en salle grise et avec l'utilisation de lasers puissants ou de sources super continuum ont déjà conduit à la mise en place de règles et à l'acquisition de matériels de sécurité spécifiques en liaison avec la commission H&S de l'OCA et du CNRS.

Nous n'identifions pas d'éléments critiques du point de vue de l'éthique et adhérons notamment aux chartes en vigueur dans les établissements hébergeurs pour l'utilisation des ressources informatiques. Nous contribuons par ailleurs à la définition et à la mise en place des systèmes d'archivage et de sauvegarde de nos données en liaison avec le service informatique (SIT) de l'OCA.

Plan de Formation de l'Unité

A l'heure de la rédaction de ce projet, les structures nécessaires à l'élaboration du plan de formation ne sont évidemment pas en place et nous ne pouvons que nous appuyer sur les plans de formation actuels de Fizeau et Cassiopée. L'année 2011, nous l'avons vu plus haut, devrait être mise à profit pour mettre en place le comité technique du laboratoire et donc avoir une vision d'ensemble des projets et moyens. La création du pôle technique a également pour l'instant essentiellement été vue d'un point de vue fonctionnel sans s'attacher fortement à la composition thématique car celle-ci est déjà bien équilibrée. Nous avons toutefois identifié, compte tenu des objectifs affichés dans le domaine Observatoire Virtuel, des besoins d'évolution de métiers et d'acquisition de compétences afin d'apporter le soutien aux développements des outils à mettre en place sur le portail numérique de l'OCA. Cela représente un axe de formation mais il en existera clairement d'autres, par exemple vis-à-vis du calcul parallèle ou de la formation vers les nouveaux métiers de management des projets. Nous nous engageons donc à mettre sur pied ce plan de formation afin qu'il puisse être effectif au démarrage du Laboratoire et en reprenant au compte de Lagrange les études menées par les correspondants formation de Fizeau et Cassiopée.

Annexe 1 : Planétologie

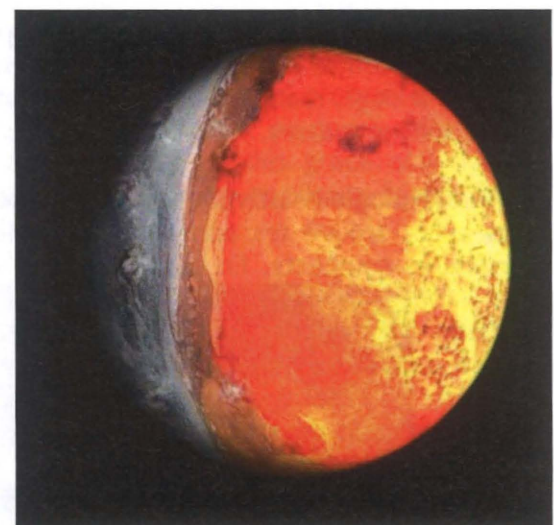
1. *Découverte et caractérisation des exo-planètes*
2. *Formation, évolution et diversité des systèmes planétaires*
 - 2.1 Modèles de formation et d'évolution
 - 2.2 Planétologie relativiste dans les systèmes extrasolaires.
3. *Propriétés physiques et dynamiques des planètes et petits corps du Système Solaire*
 - 3.1. Planètes telluriques
 - 3.2. Planètes géantes
 - 3.3. Physique des collisions
 - 3.4. Dynamique des milieux granulaires
 - 3.5. Propriétés thermiques des petits corps: modèles et observations
 - 3.6. Propriétés physiques (forme, structures interne et de surface)
 - 3.7. Propriétés dynamiques
4. *Systèmes dynamiques et application à la dynamique des systèmes planétaires*
5. *Projets spatiaux*
6. *Observations au Sol*
 - 6.1 Exoplanètes
 - 6.2 Petits corps du Système Solaire
 - 6.3 Apport de la haute résolution angulaire

1. Découverte et caractérisation des exo-planètes

La découverte que nombre d'étoiles de notre voisinage possèdent des exo planètes a conduit à une explosion de la recherche dans le domaine. Notre équipe a accompagné cette évolution à la fois d'un point de vue théorique (modélisation de l'évolution physique et dynamique des exo planètes et de leurs étoiles, études statistiques de leurs caractéristiques) et observationnel. Nous proposons de poursuivre et d'étendre ces travaux à la fois vers l'étude de planètes plus petites, les « super-Terres », et vers une meilleure caractérisation des systèmes exo planétaires avec les moyens observationnels des prochaines décades.

D'un point de vue observationnel, le projet ASTEP (Antarctic Search for Transiting Exo-Planets) devrait être poursuivi et étendu, à la fois à des télescopes plus nombreux, et à la possibilité d'obtenir de la photométrie très stable et précise à différentes longueurs d'ondes, y compris possiblement dans l'infrarouge. En effet, les premiers résultats du projet ont démontré l'excellente qualité météorologique du site ainsi qu'une très bonne stabilité photométrique durant la nuit australe, permettant le suivi en continu de la lumière réfléchie par une exo planète en orbite serrée autour de son étoile. Les observations depuis l'Antarctique permettent ainsi le suivi long de cibles exo planètes intéressantes, impossible à réaliser en continu sur des grands télescopes aux latitudes moyennes, et très coûteux depuis l'espace. Elles vont permettre aussi des recherches ciblées, comme dans le cas de super-Terres en orbite autour de naines M. Au delà des transits, nous sommes impliqués dans plusieurs techniques dans des phases allant de la mise au point à la prospective à moyen terme. Cela commence par la mesure des masses et des spectres (donc de leur température, rayon, composition...) des Pégasides (une masse Jovienne à moins de 0.2 AU) par interférométrie différentielle avec le VLTI. Cette mesure s'étend aux techniques de coronagraphie spatiale couplées éventuellement à de l'astrométrie chromatique différentielle. Ces techniques permettront ainsi d'étendre ces mesures à des planètes géantes orbitant au delà de 0.2 UA. Nous contribuons de même aux grands projets spatiaux d'interférométrie à frange noire (Darwin, Pegase, FSI) comme cela est décrit dans l'annexe 6.

Sur le plan théorique, les outils sont à préparer pour aborder deux tournants: l'un est la découverte de nombreuses super-Terres voire même de systèmes de super-Terres en transit. L'autre est l'étude statistique d'une multitude d'exo planètes (en transit ou non), afin d'en déduire les processus clés responsables de la formation et de l'évolution des systèmes planétaires. Nous avons amorcé le développement de tels outils, comme le montrent (*vue d'artiste à droite des faces chaudes et froides de CoRoT-7b*) nos modèles de la première super-Terre en transit, CoRoT-7b. Mais un travail important reste à réaliser: le code d'évolution planétaire devra être réellement étendu aux planètes possédant des transitions de phase en leur intérieur, ce qui implique de suivre précisément ces discontinuités lors de l'évolution planétaire. Du point de vue statistique, des outils issus de l'économétrie ont été acquis et permettront de tester les modèles théoriques et les observations de manière rigoureuse. Ces outils statistiques et les modèles d'intérieurs des exo planètes ainsi construits seront une composante importante dans la compréhension de la formation, de l'évolution et de la diversité des systèmes planétaires.



2. Formation, évolution et diversité des systèmes planétaires

2.1 Modèles de formation et d'évolution

Les travaux de notre équipe depuis 2005 ont abouti à l'élaboration d'un scénario cohérent de l'évolution des planètes géantes après leur formation. Il s'agit maintenant d'établir le lien entre cette évolution et l'accrétion des planètes telluriques qui se forment après les planètes géantes, pendant que celles-ci sont en évolution sur des orbites très différentes de celles actuelles. Cette étude conduira au premier scénario cohérent de l'évolution du Système Solaire dans son intégralité depuis les premiers millions d'années après sa naissance.

Si l'évolution des planètes géantes depuis leur formation est comprise dans ses grandes lignes, nous ne pouvons pas en dire autant de la phase d'accrétion de ces planètes, qui demeure mystérieuse. En effet, l'accrétion des planètes géantes est probablement l'un des problèmes les plus ardues en planétologie théorique, vers lequel nous désirons diriger nos efforts dans les prochains 5-10 ans. Le premier objectif est de comprendre comment les noyaux des planètes géantes, d'environ 10 masses terrestres, ont pu se former en quelques millions d'années seulement. En effet, les simulations numériques montrent que lorsque les noyaux planétaires atteignent une masse d'environ une masse terrestre, ils tendent perturber gravitationnellement et ainsi à disperser les planétésimaux voisins au lieu de les capturer. Par conséquent, la croissance de la masse des noyaux s'interrompt. De plus, nous ne comprenons pas par quel mécanisme le disque proto-planétaire a pu générer les gros noyaux des planètes géantes dans sa partie externe, alors qu'en même temps, dans sa partie interne, il n'a formé que des embryons planétaires de masse tout au plus martienne, précurseurs des planètes telluriques. Ce "saut" en masses de plus de deux ordres de grandeurs entre les objets les plus gros dans les parties interne et externe du disque ne peut s'expliquer par la distribution de masse initiale. Selon nous, la réponse doit être recherchée dans la dynamique des planétésimaux et des embryons planétaires au sein du disque de gaz. Des mécanismes dynamiques qui concentrent la matière solide dans des sites privilégiés du disque de gaz doivent exister; les pics de densité résultant seraient alors propices à la formation des gros noyaux des planètes géantes. Nous étudierons au moyen de simulations hydrodynamiques si les mécanismes que notre équipe a déjà mis en évidence (l'un dû à la présence de discontinuités dans la densité du gaz du disque, et l'autre dû à l'état quasi-adiabatique du disque interne) ainsi que d'autres mécanismes alternatifs sont suffisants pour permettre la formation des noyaux des planètes géantes dans les échelles de temps requises.

Le deuxième problème crucial de la formation des planètes géantes est celui de leur masse totale finale. L'accrétion du gaz par le noyau central s'emballe exponentiellement et amène la planète à atteindre 5-10 masses de Jupiter en moins de 100,000 ans. Ce temps est très court par rapport à la durée de vie estimée du disque de gaz proto-planétaire (quelques millions d'années). Pourquoi, alors, avons-nous des planètes telles que Jupiter et Saturne et non pas des planètes plus massives? Nous pensons que la solution peut se trouver dans la formation d'un disque circum-planétaire de faible viscosité, qui agirait comme un goulot d'étranglement pour l'accrétion du gaz par la planète et limiterait ainsi sa masse finale. Pour vérifier notre conjecture, nous devons estimer les effets de la gravité solaire et du flux de masse depuis le disque circum-solaire vers le disque circum-planétaire. Il s'agit là de deux estimations difficiles, qui requièrent des simulations hydrodynamiques sophistiquées tridimensionnelles. Un travail préliminaire dans ce sens sera peut-être prolongé en une thèse.

Concernant la dynamique de l'environnement planétaire, de récents travaux de notre équipe (en collaboration avec l'Université Paris 7 et le CEA Saclay) ont mis en évidence un mécanisme de formation des petits satellites très prometteur dans les anneaux de Saturne, à partir des anneaux eux-mêmes qui s'étalent au delà de la limite de Roche sous l'effet de leur propre viscosité. Ce phénomène incite à une étude plus poussée du système de satellites de Saturne, dominé par Titan, et de la question de l'origine des anneaux.

Aussi, notre étude sur l'accrétion à partir d'un disque pourra s'appliquer au système Terre-Lune. Une étude couplant la dynamique du disque (dans sa partie condensée et gazeuse), et sa thermodynamique chimique (température, absorption de l'eau par les silicates) devrait nous permettre de mieux comprendre comment la composition globale de la Terre et de la Lune peuvent différer, bien que leurs compositions isotopiques soient indiscernables.

Le dernier grand défi que nous comptons relever dans les prochaines années est celui de l'origine de la grande diversité observée parmi les architectures des systèmes planétaires extra-solaires. Nous nous demandons notamment quels systèmes solaires nous aurions pu avoir si les paramètres spécifiques et les événements fortuits qui ont conduit à notre Système Solaire avaient été différents. Il s'agit là d'une première piste, certainement non exhaustive, pour explorer l'origine de la diversité des systèmes planétaires. Nous développerons ensuite d'autres scénarii que nous évaluerons par le biais de simulations hydrodynamiques. Il s'agit donc d'un vaste programme d'exploration numérique. Nous chercherons à coupler l'évolution des planètes et l'évolution globale du disque en prenant en compte les résultats des travaux évoqués ci-dessus pour l'accrétion des planètes. Notre équipe a déjà montré à quel point le panel de systèmes planétaires que l'on peut obtenir est vaste dès lors que plusieurs planètes se forment et migrent de concert. Il s'agit maintenant d'obtenir une véritable statistique en éléments orbitaux (demi grand axe, excentricité, inclinaison) et masses.

2.2 Planétologie relativiste dans les systèmes extrasolaires.

Nous avons trouvé les années passées des mécanismes inédits et innovants pour la stabilité des systèmes multi-planétaires compacts. En particulier, en combinant notre technique Hamiltonienne avec notre méthode numérique MIPS (MEGNO Indicator for Planetary Orbits), nous avons montré que les résonances rétrogrades et leurs ressources apsidales s'avéraient des mécanismes stabilisant efficaces pour les systèmes multi-planétaires. Nous projetons à présent de poursuivre ce thème en ouvrant et développant une composante innovante puisqu'il s'agit de planétologie relativiste dans les systèmes d'exoplanètes. Le concept de gravitation qui sous-tend la dynamique passera ainsi de la mécanique Newtonienne à la Relativité Générale.

3. Propriétés physiques et dynamiques des planètes et petits corps du Système Solaire

3.1. Planètes telluriques

La connaissance de la structure interne des planètes telluriques constitue un champ d'investigation majeur sous une visée de planétologie comparée. Dans notre équipe, les recherches portent sur l'étude de la rotation comparée des planètes telluriques incorporant des modélisations de leurs structures internes. L'étude de la rotation dynamique des objets sert de diagnostic de la structure interne des planètes. L'objectif est une modélisation rigoureuse et précise de la rotation des planètes où sont pris en compte les couplages spin-orbite (transportant les interactions planétaires, les

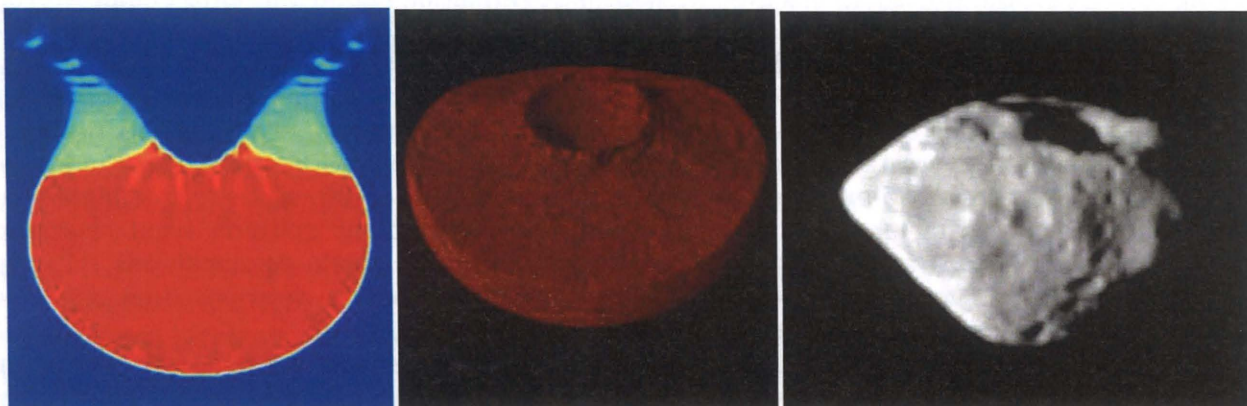
effets de figures et de marées...) ainsi que les couplages rotation-noyau (selon une variété de scénarios plausibles). De plus, pour certaines planètes (notamment Mercure), le principe de la méthode permet d'accéder à des contributions relativistes spin-orbite inédites. Ainsi, nous avons montré la capacité du modèle SONYR (Spin-Orbit N-body Relativistic model) que nous avons développé à traiter de la connaissance rigoureuse de la structure interne de Mercure. Nos résultats suggèrent que le gros noyau de cette planète est métallique et liquide au moins en partie. Il contient du soufre et pourrait inclure une graine solide. Nous projetons de poursuivre nos recherches en apportant d'autres contraintes aux scénarios de formation de Mercure. Comment le noyau de Mercure aurait-il pu rester liquide depuis sa formation ? Justement à cause de la présence en son sein d'éléments volatiles comme le Soufre qui ont la propriété d'abaisser la température de solidification. Notre méthode donne des relations de proportion entre la concentration de Soufre S dans le noyau et la signature de celui-ci dans les libérations. Ces relations sont précieuses dans la perspective des missions spatiales MESSENGER et BepiColombo; elles permettront en effet de discriminer entre certains modèles de structure interne par une mesure précise des libérations. Par ailleurs, nous continuerons d'utiliser les capacités remarquables du modèle SONYR pour approcher les structures internes d'autres corps solides. Nous nous intéresserons à nouveau au cas non encore satisfaisant de l'intérieur lunaire. Différents scénarios consistants de structure interne de la Lune sont à (1) modéliser, (2) tester avec la méthode BJV-SONYR qui permet de discriminer les structures internes des corps par l'analyse des libérations de couplage rotation-noyau et (3) contraindre par les observations de télémétrie laser-Lune. Une thèse sera proposée sur ce thème.

3.2. Planètes géantes

Si les planètes géantes de notre Système Solaire ont été en quelque sorte éclipsées par les exo planètes, il n'en reste pas moins qu'elles sont une base unique d'informations très précises quant à leur composition, structure interne, dynamique atmosphérique...etc. Nous avons depuis de longues années participé à la modélisation de leur intérieur, et des avancées sont à réaliser en raison notamment des progrès suivants : (i) la sonde Cassini a mesuré des moments gravitationnels de Saturne beaucoup plus précis (environ d'un ordre de grandeur) qu'auparavant; (ii) des nouvelles équations d'état du mélange hydrogène-hélium commencent à voir le jour; (iii) les modèles numériques de séparation de phase entre l'hydrogène et l'hélium deviennent plus réalistes. Ils ont notamment permis d'expliquer la faible abondance du néon mesuré dans l'atmosphère de Jupiter par la sonde Galiléo: en effet, le néon se dissout plus facilement dans les gouttes d'hélium qui se forment dans l'intérieur de Jupiter et Saturne et qui tombent progressivement vers le centre de ces planètes; (iv) la sonde Juno sera lancée en 2011 vers Jupiter et mesurera précisément les champs gravitationnel et magnétique de cette planète (cf. Sec. 5). Nous comptons améliorer le code CEPAM afin de prendre en compte précisément les zones de séparation de phase entre différents constituants, ce qui permettra de modéliser précisément Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, ainsi que les exoplanètes abordées précédemment.

3.3. Physique des collisions

Nos travaux récents sur le processus d'impact par simulations numériques ont pour la première fois fourni une estimation du seuil d'énergie d'impact catastrophique de petits corps solides (aboutissant à un plus gros fragment contenant 50% de la masse du corps initial) en fonction non seulement de la taille du corps initial, mais aussi de son degré de porosité. Les petits corps du Système Solaire (astéroïdes, comètes) ont des propriétés physiques (structure interne, taille, degré de porosité) variées et il est important de poursuivre l'exploration de leur réponse aux impacts en fonction de ces propriétés. En effet, les collisions jouent un rôle majeur dans toutes les phases de formation et d'évolution des populations des petits corps et des planètes, et seule une compréhension approfondie de ce processus peut permettre de fournir des critères réalistes d'accrétion ou de destruction des corps en fonction des conditions d'impacts et de leurs propriétés physiques. Cette compréhension est loin d'être acquise et les modèles de formation et d'évolution reposent toujours sur des paramètres *ad-hoc* et mal contraints. De plus, les propriétés physiques des petits corps sont à leur tour modifiées par les impacts, et il est important de caractériser ces modifications au cours de leur histoire collisionnelle. Cette compréhension s'avère aussi cruciale pour affiner les stratégies de déflexion d'un astéroïde potentiellement dangereux qui dépendent de sa réponse à un impact. Nous continuerons ainsi à exploiter notre collaboration fructueuse avec des experts des expériences d'impact au Japon pour poursuivre la confrontation des codes de fragmentation que nous développerons et l'adaptation de nos simulations aux conditions mises en jeu au sein de différentes populations de petits corps. Notamment, pour l'instant nous nous sommes concentrés sur des matériaux rocheux et homogènes (du type basalte, pierre ponce ou gypse); notre prochaine étape considèrera des matériaux de type glace (poreuse et non poreuse) afin de nous approcher des propriétés d'objets cométaires, puis des objets composés de plusieurs matériaux pour étudier la fragmentation de corps différenciés. Nous poursuivrons le développement de modèles de fragmentation qui pourront être validés grâce aux données expérimentales sur ces matériaux, et qui, couplés à notre code *N-corps* gravitationnelle, serviront à explorer le processus aux échelles adaptées aux petits corps et planètes du Système Solaire.



Simulation d'impact reproduisant le cratère observé à la surface de l'astéroïde Steins (4 km de diamètre) survolé par la sonde Rosetta (ESA) en Septembre 2008. Image de gauche: simulation numérique montrant l'éjection de matière (zone verte) suite à l'impact d'un projectile; image du milieu: cratère finale obtenu par simulation dont la dimension (2 km environ) est identique à celle du cratère sur l'astéroïde (image de droite). La simulation permet de contraindre la structure interne de l'astéroïde permettant la formation d'un cratère aussi grand.

3.4. Dynamique des milieux granulaires

Les surfaces des petits corps et certaines portions des planètes sont constituées de matériaux granulaires, tels que le régolithe lunaire. L'étude du comportement de milieux granulaires sous différentes conditions de gravité doit permettre de mieux comprendre les propriétés de surfaces des corps célestes, leurs évolutions et d'interpréter les observations effectuées par les sondes spatiales. Pour explorer cette dynamique complexe, nous poursuivons nos études expérimentales en micro-gravité et nos études numériques, en validant les modèles par les expériences, et en utilisant ceux-ci pour explorer le vaste espace de paramètre et nous placer dans les conditions adaptées aux problèmes que nous désirons étudier. Nous pourrions ainsi, par exemple, optimiser la conception de mécanismes de récolte d'échantillon d'un astéroïde en caractérisant celui le plus adapté à interagir avec le matériau granulaire de surface, selon les propriétés de celui-ci (coefficient de friction, résistance au cisaillement, etc). Nous pourrions aussi explorer le processus de cratérisation sur des surfaces granulaires et les conséquences d'avalanches et des vibrations sismiques dues aux impacts sur une surface granulaire.

3.5. Propriétés thermiques des petits corps: modèles et observations

Nos travaux récents sur les propriétés thermiques des astéroïdes ont permis l'amélioration des modèles thermiques utilisés pour l'analyse des données observationnelles dans l'infrarouge thermique de ces objets, de mieux comprendre la nature des surfaces des astéroïdes et ainsi de fournir des contraintes aux recherches décrites dans la Section 3.4.

Au cours des prochaines années, nous utiliserons nos modèles thermiques pour (1) déterminer les tailles et les albédos des 700 astéroïdes de type géocroiseurs à partir des observations dans l'infrarouge thermique avec le télescope spatial Spitzer (projet ExploreNEOs); (2) analyser les données d'observations de plus de 100 objets transneptuniens obtenues grâce au télescope spatial Herschel avec pour but la détermination des tailles, des albédos et d'autres propriétés physiques de la surfaces de ces objets; ce projet est d'importance fondamentale pour mieux connaître la distribution des tailles des objets au-delà de l'orbite de Neptune; (3) déterminer les tailles et les formes des astéroïdes grâce aux observations interférométriques à haute résolution spatiale dans l'infrarouge thermique. Il faut ainsi souligner que notre équipe a utilisé pour la première fois l'interférométrie dans l'infrarouge thermique pour la mesure directe de la taille et d'autres propriétés physiques (comme la rugosité et la conductivité thermique de surface) des astéroïdes.

Concernant l'étude de la nature des surfaces des astéroïdes, nous avons couplé nos modèles thermiques avec des codes numériques d'évolution orbitale des astéroïdes. Nous avons ainsi montré que les passages proches du Soleil de ces objets augmentent leur température de surface et peuvent produire des altérations métamorphiques. Un défi important est de comprendre quel type et quel degré de métamorphisme les matériaux à la surface et en sous-surface des astéroïdes ainsi que ceux constituant les météorites subissent par échauffement radiatif du Soleil. Nous allons étudier l'effet de plusieurs phénomènes thermiques : notamment, (1) les chocs thermiques provenant du fort échauffement pour les objets dont la distance périhélique est faible et (2) les grandes différences de température entre le côté jour et le côté nuit sur ces objets en fonction de leurs orbites. A ce sujet nous avons démarré des projets de collaborations avec le CRPG de Nancy, l'Université de Floride à Orlando (USA), l'Université de Kobe (Japon) et le Laboratoire Magmas et Volcans de Clermont-Ferrand. Il s'agit de projets interdisciplinaires entre les Sciences de l'Univers (physique et dynamique des astéroïdes), le calcul numérique (modèles thermiques des astéroïdes), les Sciences de la Terre (propriétés thermiques et mécaniques des roches analogues des astéroïdes) et les expériences en laboratoire. De plus, l'étude de l'histoire des températures à la surface et dans le sous-sol des astéroïdes est d'importance cruciale pour les objets choisis pour les missions de retour d'échantillons (comme les missions OSIRIS-Rex de la NASA et les missions proposées à l'ESA et à la JAXA ; cf. Sec. 5). Le choix se porte en effet sur des objets primitifs, i.e. dont la composition n'a pas été fortement modifiée depuis leur formation. Nos résultats suggèrent que la chaleur ne pénètre pas en profondeur dans ces objets, et donc que la composition organique est conservée à quelques centimètres sous la surface. Les recherches indiquées dans la Sec. 3.4, couplées avec cette information, peuvent permettre de mieux optimiser la technique de récolte utilisée.

Enfin, grâce à nos modèles thermiques, nous allons étudier les propriétés du régolithe sur la surface des astéroïdes binaires de petite taille (<5km). Cela permettra de vérifier si le processus de formation des astéroïdes binaires conduit à l'éjection du régolithe fin, en accord avec le modèle de formation publié par notre équipe en 2008.

3.6. Propriétés physiques (forme, structures interne et de surface)

L'étude numérique de la physique de la ré-accumulation de fragments suite à une collision a permis d'obtenir des résultats très intéressants à partir de principes physiques de base. Notamment, elle a permis de montrer que la théorie des formes d'équilibre hydrostatique peut être utilisée pour des objets pourtant non-fluides, et aboutir à l'élaboration d'un modèle capable d'expliquer les formes observées. Toutefois, cette première étude partait d'hypothèses simplifiées concernant les conditions initiales des fragments d'une collision avant ré-accumulation, et de nombreux aspects sont encore à explorer. Nous désirons notamment partir de conditions initiales avant ré-accumulation plus réalistes, provenant directement des champs de vitesses et positions issus des simulations de destructions catastrophiques que nous effectuons.

S'agissant de la structure interne des petits corps, elle est fortement influencée non seulement par le processus de formation, mais aussi par leur histoire collisionnelle. Ainsi, nos travaux sur les collisions ont montré qu'il est fort probable que la plupart des objets de taille inférieure à environ 50 km (et supérieure à quelques centaines de mètres)

sont des agrégats, et non de corps monolithiques. Cependant, d'après les images fournies par la sonde NEAR en 2001, un objet tel que l'astéroïde Eros, de 23 km de diamètre, ne semble pas être un pur agrégat sans résistance mécanique. Nous poursuivrons l'étude détaillée des propriétés de structure interne possibles des petits corps, qu'elle soit monolithique ou sous forme granulaire, en explorant la réponse à différents types de contraintes (impacts, vibrations, cycles thermiques) de la gamme de matériaux susceptibles de représenter les petits corps par simulations numériques et expériences en laboratoire.

3.7. Propriétés dynamiques

L'étude des propriétés dynamiques (origine, évolution) des petits corps sera poursuivie, notamment concernant les objets cibles potentielles de missions spatiales, et en particulier les objets qui croisent la Terre (NEOs pour Near-Earth Objects). En effet, nos travaux précédents ont fourni un modèle permettant d'estimer l'origine la plus probable d'un NEO et de caractériser ses évolutions futures possibles, même si l'évolution d'un NEO est chaotique et que nous sommes limités à des études statistiques. Ces études permettent de mieux comprendre les mécanismes dynamiques qui régissent les évolutions des petits corps. Elles permettent aussi de guider le choix de cibles de missions spatiales, et d'en estimer leur origine, comme nous l'avons fait pour l'astéroïde Itokawa, cible de la mission japonaise Hayabusa et l'astéroïde 1999RQ36 cible de la mission américaine OSIRIS-Rex. Nous pouvons ainsi faire le lien entre ce qui est observé sur un NEO et sa région d'origine.

4. Systèmes dynamiques et application à la dynamique des systèmes planétaires

La recherche de mécanismes de diffusion lente reste une thématique ouverte dans le domaine des systèmes dynamiques et dans laquelle des résultats intéressants ont été publiés notamment concernant le lien entre diffusion et topologie des variétés hyperboliques (structures porteuses du chaos et de la diffusion). Des études se poursuivront dans ce domaine. De plus, la théorie KAM, qui est à la base de ce type d'études, a connu récemment un nouveau développement: celui du théorème KAM faible. La principale implication dynamique de la nouvelle théorie KAM est liée aux ensembles invariants d'Aubry-Mather mais les conséquences d'une telle implication ne sont pas complètement claires. Plus précisément, elles sont presque totalement absentes des études numériques systématiques qui peuvent ouvrir la voie à une application étendue de la théorie KAM faible dans un environnement scientifique plus vaste que celui purement mathématique. Les techniques numériques développées au sein de l'équipe devraient permettre l'étude des domaines de l'espace des phases relevant du théorème KAM faible. Étant donnée la finesse des résultats liés aux applications de ces théories, les applications dynamiques aux petits corps du Système Solaire nécessitent la plus grande précision dans les intégrations numériques, ce qui nous a amené à revisiter les techniques de régularisation. Une étude de la dynamique des collisions de météoroïdes en découlera.

5. Projets spatiaux

L'équipe de Planétologie est impliquée dans plusieurs projets spatiaux à différents niveaux.

CoRoT

CoRoT est une mission du CNES, menée en collaboration avec l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Brésil, l'ESA, et l'Espagne. Elle a été lancée en décembre 2006, et récemment prolongée jusqu'en fin 2012. CoRoT permet d'obtenir une photométrie extrêmement précise (depuis l'espace) de champ d'étoiles et de détecter la présence de planètes en transit devant leur étoile. L'équipe est présente au sein de la mission par une place de membre du Conseil Scientifique et de Co-I.

Gaia

Durant la période 2012-2016 Gaia produira une importante quantité de données sur le Système Solaire. La phase de préparation de la réduction de données (cf. Annexe Gaia) laissera graduellement place à l'exploitation scientifique avec des initiatives qui auront un impact sur l'utilisation et l'interprétation des résultats obtenus grâce à Gaia. Il convient d'insister sur le lien important entre ces recherches et la modélisation théorique et numérique des objets du Système Solaire, qui bénéficiera fortement des contraintes fournies par Gaia. En particulier, Gaia va apporter: une connaissance des orbites (et donc de la dynamique du Système Solaire) bien plus précise (amélioration typique de 2 ordres de grandeurs), une masse précise pour les ~100 astéroïdes majeurs, une nouvelle taxonomie, incluant le type spectral de tous les objets observés, les axes et périodes de rotation, des formes approximatives (premier ordre au-delà de la sphère) pour les objets les plus gros. Cet ensemble de données sera une première étape vers la construction d'un cadre complet de la ceinture astéroïdale.

Des membres de l'équipe planétologie sont directement impliqués dans différents domaines touchant à l'exploitation scientifique de Gaia comme :

- la spectroscopie des astéroïdes dans des conditions (intervalle spectrale, géométrie) similaires à celles prévues pour Gaia
- l'étude de propriétés de surface, en connexion avec l'albédo qui sera disponible grâce à d'autres programmes d'observations tels que WISE et Spitzer ;
- la construction d'une nouvelle taxonomie combinant les données Gaia et ces mesures d'albédo, pour départager certaines classes minéralogiques qui ne peuvent pas être discriminées par la spectroscopie seule.
- l'étude dynamique et physique de certaines catégories d'objets, tels les astéroïdes binaires, avec des techniques d'interférométrie.

Enfin, des techniques d'observation traditionnelles vont retrouver un intérêt grâce aux données Gaia. C'est le cas des observations d'occultations d'étoiles par les astéroïdes et les objets de la ceinture de Kuiper, dont les prédictions vont s'améliorer d'une façon spectaculaire. Cela permettra à un réseau de télescopes de recenser le nombre total, les diamètres et les facteurs de forme des objets plus grands que ~10 km de façon rapide et avec une grande précision.

Bepi Colombo

Mercure suscite aujourd'hui un regain d'intérêt à l'ère de MESSENGER et BepiColombo. Ainsi, deux missions, dont l'une (MESSENGER) est déjà opérationnelle, sont aujourd'hui dédiées à l'exploration de la planète la plus méconnue du Système Solaire interne. Mercure est une planète à la mécanique céleste unique dans le Système Solaire et à la géophysique surprenante. La mission BepiColombo, est élaborée par l'ESA, la JAXA (Agence spatiale japonaise) et le CNES. Son lancement est prévu en 2013, son arrivée en 2019. Des membres de notre équipe sont investis dans cette mission clef en matière de planétologie dans le Système Solaire et notre équipe est l'interlocuteur local OCA de la tâche de service labellisée SO2-Bepi-Colombo.

EJSM (Europa Jupiter System Mission/Laplace)

En Février 2009, l'ESA et la NASA ont annoncé conjointement qu'EJSM serait la candidate comme première mission de classe L du programme Cosmic Vision de l'ESA pour un lancement possible en 2020. Son objectif est une caractérisation détaillée du satellite Europa et du système jovien, en particulier l'habitabilité d'Europa. L'équipe s'intéresse à la proposition d'instruments embarqués pour cette mission.

Un instrument appelé DSI (Doppler Spectro Imager) financé par le CNES est proposé par le laboratoire Fizeau à Nice et celui de l'IAS à Orsay. Il est en cours d'étude. L'équipe de Planétologie intervient pour la motivation scientifique. L'idée est de faire une image de Jupiter et de mesurer l'écart doppler d'une raie du sodium en chaque point de l'image pour obtenir la vitesse radiale de tout le disque visible de Jupiter. Le but ultime est de faire de la sismologie de Jupiter, mais la science de l'atmosphère devrait aussi être très fructueuse.

Juno

La mission Juno (PI : S. Bolton, SwRI, San Antonio) est une mission approuvée dans le programme New Frontiers de la NASA. Elle sera lancée en 2011 pour atteindre Jupiter en 2016. Au cours de 32 orbites polaires très excentriques, la sonde rasera les nuages de la planète à moins de 5000 km, permettant ainsi une étude incomparable des champs gravitationnel et magnétique de la planète. Elle permettra une bien meilleure connaissance de la composition interne et de l'évolution de cette planète. L'équipe est présente au sein de la mission par une place de Co-I.

OSIRIS-Rex

La mission OSIRIS-Rex est une mission américaine portée par l'Université de l'Arizona (PI : M. Drake, PI-Deputy: D. Lauretta) et sélectionnée pour une étude phase A dans le programme *New Frontiers* de la NASA. Son objectif est de rendre visite à un astéroïde primitif, en récolter un échantillon et le ramener sur Terre pour l'analyser en laboratoire. Certains membres de l'équipe font partie de l'équipe scientifique de la mission. La sélection finale se déroulera au printemps 2011 pour un lancement en 2017.

Missions spatiales européennes vers des petits corps du Système Solaire

L'équipe a été impliquée en tant que co-lead proposant de la mission spatiale Marco Polo de retour d'échantillon d'un astéroïde primitif au Programme Cosmic Vision 2015-2025. Cette mission fut sélectionnée dans la catégorie classe M (budget de 450 Millions d'Euros) pour la phase de faisabilité qui s'est déroulée de 2008 à 2009 et à laquelle un membre de l'équipe a participé en tant que co-lead de l'équipe scientifique définie par l'ESA. La mission ne fut pas retenue pour la phase suivante de définition car le coût estimé par l'ESA était jugé trop élevé mais l'exploration d'une collaboration mineure à une mission d'une autre agence (NASA, JAXA) est encouragée. De plus, nous participons à une proposition de mission au deuxième appel d'offre de l'ESA en 2010 pour des missions de classe M sur la base de cette première étude en révisant certains aspects pour réduire les coûts.

Par ailleurs, l'équipe est impliquée dans différentes études en Phase 0 effectuées par le CNES, notamment pour rendre visite à plusieurs astéroïdes Troyens de Jupiter, et pour profiter du passage proche de la Terre en 2029 par l'astéroïde Apophis afin d'effectuer une expérience sismique à sa surface. Nous désirons mettre à profit notre expertise scientifique concernant les petits corps et l'élaboration de propositions de missions spatiales pour nous positionner dans les appels d'offres et projets spatiaux vers ce type d'objets célestes.

6. Observations au Sol

6.1 Exoplanètes

Nos projets d'observations au sol consistent essentiellement à l'utilisation du télescope ASTEP décrit dans la Section 1. Par ailleurs les méthodes physiques de l'observation décrites en Section 7 seront exploitées pour contribuer à ces observations et à celles des disques proto-planétaires aboutissant à la formation de ces planètes à l'aide des grands instruments (e.g. VLT, ELT).

6.2 Petits corps du Système Solaire

Utilisation de l'instrument PRIMA - et de MATISSE en cours de développement, en particulier à l'OCA- pour mesurer les orbites des satellites d'astéroïdes binaires avec faible (<50mas) séparation angulaire. L'objectif est de déterminer les masses, les densités et les structures internes de ces objets (cf. Sec. 3.6). Ces observations seront complétées par des mesures photométriques et des observations d'occultations stellaires en relation avec les résultats qui seront obtenus par Gaia (voir Sec. 5).

6.3 Apport de la haute résolution angulaire

Les méthodes de haute résolution angulaire (HRA) viennent compléter les études basées sur les méthodes de transits (Corot, Astep) et sur les méthodes d'astéroséismologie (e.g. DSI ; cf. Sec. 5). Les constituants des systèmes planétaires qui seront étudiés par HRA, via interférométrie optique, optique adaptative et imagerie à très haute dynamique par coronagraphie, sont : 1) les disques protoplanétaires entourant les étoiles de type T Tauri et Herbig ainsi que les disques de débris entourant les étoiles jeunes de la séquence principale; 2) les astéroïdes de la ceinture principale et quelques comètes ; 3) les planètes extrasolaires géantes jeunes ou en orbite rapprochée et 4) les étoiles hôtes d'exo planètes qui permettent ainsi de remonter à l'histoire de la formation des systèmes (programmes engagés

sur le VLTI et sur CHARA/VEGA). Parmi les questions clefs liées aux mécanismes de formation des planètes et aux conditions physiques régnant à proximité de l'étoile ($\leq$ à l'UA) figurent: la minéralogie et l'évolution des poussières, l'histoire et l'évolution du gaz dans les disques, la structuration des disques sous l'influence des planètes, la structuration des astéroïdes, la validation des modèles de migration planétaire, ... Cette approche observationnelle des divers constituants des systèmes planétaires a déjà bénéficiée de tests de la part de nos équipes. Elle se fonde sur l'expertise et les développements du laboratoire en relation avec l'étude conceptuelle, l'optimisation du traitement de données, l'analyse et la modélisation du signal, les méthodes de transfert dans le gaz et les poussières et la dynamique des systèmes planétaires pour caractériser les signatures observées, les instruments AMBER et MIDI, l'aboutissement de l'instrument SPHERE, le projet en cours MATISSE, la perspective de l'ELT.

Annexe 2 : Physique stellaire et solaire

1. Le Soleil: Magnétisme, dynamique et structure interne

Etude des relations entre la dynamique interne 3D et le magnétisme solaire : Les observations à haute résolution
Etude de la variabilité solaire sur le long terme : métrologie solaire au sol : PICARD est un microsatellite du CNES

2. Atmosphères Stellaires : Pulsation, Rotation, Convection et Magnétisme.

Pulsations

Rotation et convection

Conclusion : pulsation, rotation, convection et lien avec l'environnement des étoiles

3. Physique des environnements stellaires à haute résolution spectrale et très haute résolution spatiale.

Etude des disques

Exploitation d'instruments

Instruments/outils futurs

4. Outils numériques de modélisation astrophysique d'environnements stellaires (hors-ETL, type Monte-Carlo dans la poussière, analytique) et reconstruction d'images

SIMECA

TAPAS

HDUST

FRACS

Reconstruction d'images et spectro-interférométrie stellaire

5. Modélisation réaliste des surfaces et intérieurs stellaires : Interférométrie, Gaia, Corot

Préambule : La Physique Stellaire et Solaire dans l'équipe est développée sous les trois aspects de modélisation, d'observations et d'interprétations théoriques des mesures. L'équipe intègre un ensemble de thématiques scientifiques cohérentes sur l'intérieur des étoiles, sur la photosphère, sur l'environnement stellaire proche jusqu'aux milieux circumstellaires plus éloignés, vestiges pour certaines étoiles d'une perte de masse importante. L'arrivée de télescopes spatiaux tels que COROT, KEPLER, PICARD et bientôt GAIA constitue un formidable potentiel de données d'observation. Le VLTI est bien sur une forte composante des observations actuelles et futures.

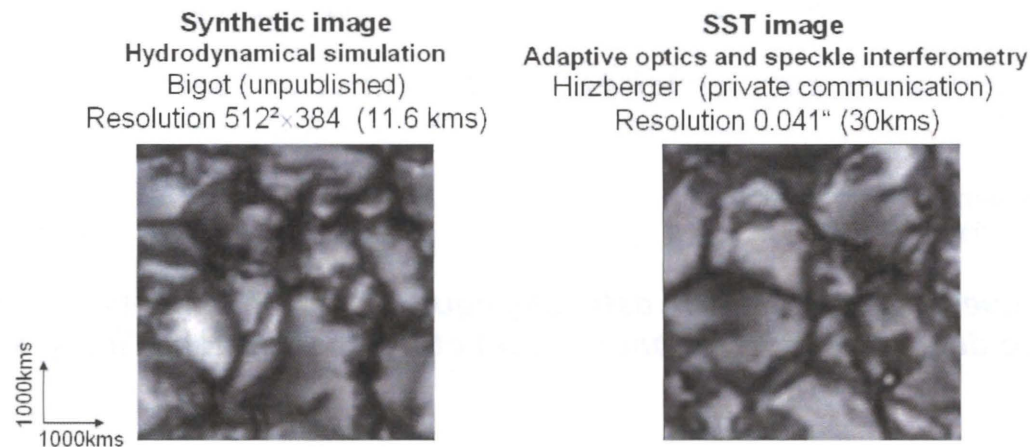
1. Le Soleil: Magnétisme, dynamique et structure interne

La compréhension du magnétisme solaire nécessite de pouvoir observer les mécanismes à l'œuvre sur une grande gamme d'échelles spatiales et temporelles et leur développement depuis la zone sub-photosphérique jusqu'à la couronne. Il faut souligner ici que l'accès au détail de la structure tri-dimensionnelle des phénomènes est particulièrement important pour tester les différents modèles proposés. La mesure des variations du champ magnétique de la photosphère vers la chromosphère et la couronne est une question clé, d'une part pour tester les calculs d'extrapolations magnéto-hydrodynamiques, et d'autre part pour comprendre l'évolution des régions actives et leurs instabilités impactant l'héliosphère.

Etude des relations entre la dynamique interne 3D et le magnétisme solaire : Les observations à haute résolution et à haute cadence de la surface du Soleil par les instruments de SDO lancé en Février 2010 vont permettre d'obtenir systématiquement des cartes 3D de la dynamique sous-photosphérique par application des techniques de l'héliosismologie locale. Nous avons contribué au développement de ces techniques pour l'exploitation des observations de GONG et SOHO et continuons de les développer dans le cadre de SDO. Les principaux enjeux de cette recherche sont : (i) tester les modèles de la dynamo solaire en donnant des contraintes observationnelles sur des processus dynamiques tels que la circulation méridienne, les oscillations de torsion, la circulation autour des régions actives, la dynamique de la tachocline ou encore les mouvements ascendants des tubes de flux magnétique ; (2) l'étude de la magnétoconvection solaire par l'observation de la stabilité, l'ancrage et la structure des taches solaires et la modélisation du couplage intérieur-atmosphère. Un travail est en cours visant à chercher des corrélations entre la dynamique sous-photosphérique, l'hélicité cinétique et l'émergence de zones actives pouvant conduire à des éruptions violentes impactant l'héliosphère. Pour la première fois avec SDO nous avons accès simultanément aux composantes 3D du champ de vitesse et du vecteur champ magnétique ce qui nous permettra une meilleure compréhension de la physique sous-jacente, par ailleurs la couverture temporelle en continu nous permettra d'obtenir une meilleure statistique que dans le passé car la campagne haute résolution de SOHO ne durait que quelques mois par an. Nous nous intéressons également à l'apport de méthodes d'analyse à très haute résolution spatiale et spectrale pour l'étude de la dynamique et du magnétisme depuis les couches sub-photosphériques jusqu'à la couronne, en passant par les zones de formation des raies photosphériques du fer. Pour accéder aux structures tri-dimensionnelles à haute résolution spatiale nous mettons en œuvre des techniques inter-spectrales, issues de l'interférométrie différentielle des tavelures. Nous poursuivons d'autre part le développement de diagnostics pour les champs magnétiques à petite échelle par des méthodes spectropolarimétriques basées sur l'effet Hanle et Zeeman dans les raies spectrales.

Notre équipe s'intéresse également à l'observation de la couronne solaire et de ses champs magnétiques. Au sol, hormis pendant les éclipses, elle nécessite un très bon site, et une bonne extinction de la lumière diffractée par la pupille. Les techniques d'apodisation de pupille semblent pouvoir apporter un gain important pour l'observation de la très basse couronne, et sont étudiées, en particulier dans le contexte du développement de la magnétométrie coronale au sol et dans l'espace, et des projets de coronographie solaire au Dôme C.

Des mesures précises de la forme du limbe depuis le sol et l'espace ont permis de mettre en évidence des excès de brillance reliés directement à l'activité faculaire (comme initialement proposé par Chapman dès 1972). Un mécanisme physique simple a été proposé pour expliquer ce phasage avec le cycle, par l'intermédiaire des deux premiers moments gravitationnels. Ce mécanisme sera vérifié avec l'instrument SAS de RHESSI dans un proche avenir. Le principal intérêt réside dans le développement d'éphémérides précises et la vérification de théories relativistes alternatives.



Etude de la variabilité solaire sur le long terme : métrologie solaire au sol : PICARD est un microsatellite du CNES dont la charge utile est développée par le LATMOS, l'IRMB (Belgique) et le WRC/PMOD (Suisse) et qui a été lancé le 15 juin 2010 pour une mission de 3 ans. Ce projet est accompagné d'un programme d'observation au sol mis en oeuvre à l'OCA. L'objectif scientifique principal du projet PICARD est l'étude de l'origine de la variabilité solaire et son influence sur le climat terrestre. Pour cela ce programme réalisera :

- (1) l'observation simultanée depuis l'espace de l'irradiance totale et spectrale, de la forme du Soleil et de leurs variations ;
- (2) des observations simultanées du rayon solaire depuis le sol accompagnées d'un moniteur de turbulence (PICARD SOL) ;
- (3) l'étude de la structure et de la dynamique interne du Soleil par un programme d'héliosismologie en intensité.

Nous mènerons le programme sol sur le plateau de Calern de l'OCA jusqu'en 2013 avec pour objectif de quantifier la précision que nous pouvons atteindre sur les mesures météorologiques depuis le sol en s'aidant d'un moniteur de turbulence que nous avons conçu et développé spécifiquement pour ce programme. L'objectif est de profiter des mesures spatiales simultanées pour démontrer la faisabilité (ou non) de telles mesures depuis le sol sur le long terme nécessaire aux études climatiques. Nous sommes par ailleurs en charge de l'exploitation héliosismique de PICARD en collaboration avec l'IAS. Ces mesures globales en intensité viendront compléter le programme d'héliosismologie locale de SDO. Nous poursuivrons le développement de méthodes à haute résolution pour l'étude du couplage entre la dynamique et le magnétisme de la photosphère jusqu'à la couronne. Comprendre les propriétés physiques de la leptocline, ainsi que les variations temporelles des fluctuations de limbe sont également des préoccupations actuelles. Ces thèmes de recherche s'intègrent dans les objectifs des futurs très grands télescopes solaires américain ATST et européen EST, ainsi que dans ceux des satellites NASA, SDO et RHESSI. Enfin, nous espérons transférer nos connaissances acquises sur le Soleil aux étoiles puisque la connaissance précise de la forme globale de l'astre permet de remonter à la gravité centrale. L'exploitation des données VLT et COROT permettrait d'atteindre cet objectif.

2. Atmosphères Stellaires : Pulsation, Rotation, Convection et Magnétisme.

Pulsations: L'étude des instabilités a toujours constitué un axe de travail majeur de notre équipe: Céphéides, RR Lyrae, β -Céphéides, γ Doradus, δ -Scuti... Ces travaux permettent de mieux comprendre les mécanismes subtils de la pulsation stellaire, et de ce fait nous apportent des renseignements uniques sur la structure interne des étoiles (principe de l'astérosismologie). Un travail spectaculaire sur les céphéides a montré qu'il est impossible à l'heure actuelle d'étudier la structure géométrique et vélocimétrique de la Voie Lactée ou bien d'étalonner les échelles de distance dans l'Univers, sans comprendre avec précision la dynamique atmosphérique de ces objets. Il s'agit en définitive de sortir d'une analyse purement géométrique, ou purement empirique des Céphéides, pour adopter une approche multi-technique alliant observations de pointe et modélisation hydrodynamique. L'objectif est d'atteindre une précision et une exactitude de 0.01 magnitude sur les relations période-luminosité des Céphéides Galactiques et du LMC, afin d'atteindre une estimation de la constante de Hubble meilleure que 5%. Pour cet objectif, l'instrument VEGA/CHARA (situé au Mt Wilson et développé par notre équipe) sera essentiel. L'abondance chimique est également un paramètre fondamental qui conditionne les mécanismes de pulsation et d'évolution de l'étoile. De manière plus générale, nous travaillons à la détermination précise, homogène et de la manière la plus complète possible des abondances chimiques des étoiles des amas ouverts. L'objectif est d'apporter des contraintes sur les modèles d'évolution stellaire de ces objets. Une autre classe d'étoiles variables particulièrement intéressante est le groupe des étoiles roAp (rapidely oscillating Ap stars). Les étoiles Ap, environ deux fois plus massives que le Soleil, sont connues

pour avoir les plus forts champs magnétiques parmi les étoiles de la Séquence Principale, typiquement plusieurs milliers voire plusieurs dizaines de milliers de fois le champ magnétique moyen du Soleil. L'origine (fossile ou dynamo) de ce champ ainsi que ses conséquences sur les étoiles (atmosphère, évolution) ne sont pas encore bien comprises. Une partie de ces étoiles (roAp) présentent des oscillations à courtes périodes, comparables à celle du Soleil. Ces étoiles pulsantes sont une chance unique d'utiliser les techniques d'astérosismologie pour comprendre le rôle du champ magnétique sur la structure et l'évolution stellaire. Nous avons montré que le champ magnétique affecte fortement les fréquences d'oscillation, dont la correction est comparable à la séparation entre les modes propres consécutifs. Elle est donc indispensable à prendre en compte notamment pour l'identification des modes. L'autre effet du champ magnétique, combinée avec le rôle de la rotation (centrifuge), est de déformer la géométrie des modes dont l'axe de symétrie varie avec la valeur du champ. Cet effet est important à prendre en compte pour interpréter les amplitudes dans le référentiel de l'observateur. Le modèle du pulsateur oblique que nous avons ainsi développé permet à partir des modes d'oscillation d'avoir des contraintes sur le champ magnétique (intensité, orientation) de ces étoiles. Notre groupe est ensuite fortement impliqué dans l'exploitation des données COROT et KEPLER, avec une expertise importante dans l'analyse et l'identification des modes de pulsation. Nous nous attachons en particulier à mieux comprendre les étoiles pulsantes hybrides à l'interface des différentes zones d'instabilité (γ Doradus/ δ -Scuti et β -Cephei /SPB), ainsi que les mécanismes liés aux pulsations non-radiales. Par ailleurs, des instruments dédiés à l'étude des étoiles pulsantes, tels que PAIX en Antarctique sont également développés au sein du groupe. La modélisation de la structure interne des étoiles est largement faite avec le code de structure interne stellaire CESAM développé à l'OCA. L'introduction récente de la rotation dans le code est en cours de test. Des applications au travail du groupe FLAME du DPAC de Gaia sont en cours de validation pour estimer en particulier l'erreur sur la détermination des masses et des âges des étoiles simples observées par Gaia.

Rotation et convection : En utilisant des outils de modélisation et d'observation très performants (haute résolution spectrale et angulaire avec les instruments AMBER et MIDI sur le VLT) notre équipe étudie depuis plusieurs années certains processus physiques clés liés à la rotation stellaire: la déformation géométrique de la photosphère, l'assombrissement gravitationnel (effet von Zeipel) et la perte de masse asymétrique (vents polaires). Nous avons également découvert récemment des taches photosphériques convectives sur l'étoile supergéante jaune Canopus. L'analyse de tels objets par le code CESAM pose problème et dans quelle mesure sommes nous dans l'erreur avec un code 1D est en cours d'investigation sur le système multiple jeune en rotation rapide delta Vel. Des applications sur l'activité du groupe FLAME du DPAC de Gaia sont en cours d'investigations.

Conclusion : pulsation, rotation, convection et lien avec l'environnement des étoiles. Les mécanismes à l'œuvre dans les étoiles de la séquence principale, les géantes ou supergéantes, tels que la pulsation, la rotation et la convection (PRC ci-après) sont intimement liés et jouent un rôle plus ou moins clés ou prépondérant selon les paramètres fondamentaux de l'étoile et en particulier sa position dans le diagramme HR. Ces phénomènes physiques sont également responsables de l'environnement stellaire : disque, vents et enveloppes (DVE, ci-après). Comprendre les interactions entre les paramètres fondamentaux, les caractéristiques majeures des étoiles (PRC), ainsi que les processus physiques sous-jacents responsables de l'environnement stellaire (DVE) constitue une priorité absolue de l'équipe ESOM. Pour cela, nous avons développé des instruments uniques capables d'allier haute résolution spatiale et spectrale, ce qui nous a permis de contraindre fortement la géométrie et la cinématique des étoiles. Une difficulté, face à la complexité et à la diversité des phénomènes observés est de développer des outils d'analyse performants alliant simulation numérique et modélisation hydrodynamique. Créer ainsi une synergie entre observations de pointe et modélisation nous permet de mieux comprendre la physique des étoiles (structure interne, atmosphère et évolution). Des modélisations 3D des couches externes atmosphériques des étoiles tardives sont également développées pour estimer leur impact sur la modélisation des raies spectrales de ces objets, raies qui sont sensibles à la structure du champ de vitesse dans l'atmosphère et à l'inhomogénéité de température (3D-ETL-NETL).

3. Physique des environnements stellaires à haute résolution spectrale et très haute résolution spatiale.

Etude des disques : L'étude des disques est une des thématiques développées au sein du laboratoire des plus fructueuses aussi bien en termes de résultats scientifiques que de publications, essentiellement axée sur l'exploitation des techniques à haute résolution spatiale comme le VLT/AMBER dans l'infrarouge proche, le VLT/MIDI dans l'infrarouge thermique et l'interféromètre CHARA/VEGA dans le visible.

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'étude de la perte de masse au sens large : que ça soit via un vent stellaire de type vent solaire ou sous l'effet de la pression de radiation pour les étoiles les plus massives, l'étude des jets, la formation et l'étude des nébuleuses planétaires. Nous étudions les disques aussi bien d'accrétion autour des objets pré-séquence principale (T-Tauri ; HAe/Be) que des disques d'excrétion de type Be ou autour d'étoiles évoluées (MIRA, Étoiles S, Géantes, super-Géantes, B[e], LBV, WR, etc...). Le vent et la perte de masse des étoiles évoluées jouent souvent le rôle d'amplificateur de phénomènes perturbateurs dans le proche environnement de ces étoiles: présence de compagnon stellaire et sous-stellaire, champ magnétiques, effets de la rotation... La détection quasi-systématique de disques très minces autour de certains types spectraux pose des questions cruciales sur la formation de telles structures. Comment à partir d'une perte de masse essentiellement sphérique peut-on générer une structure quasi-stable (souvent de longue durée de vie), mince (angle d'ouverture limité) et souvent de cinématique képlérienne ? Nous nous intéressons également à l'étude des étoiles massives et plus particulièrement les étoiles de la « blue-loop ». Enfin nous sommes particulièrement intéressés par la formation de poussières dans des milieux circumstellaires variés (chauds ou froids), leur stratification horizontale et verticale ainsi que le couplage grains-gaz. Entre 2006 et 2008 s'est organisé, en collaboration étroite entre les ex-UMR LUAN et Gemini, un effort observationnel et théorique important dans le domaine des disques de poussières autour d'étoiles de type B (en particulier les étoiles B[e]). Le travail théorique a été nourri par le développement d'outils d'interprétation à la fois rapides et

flexibles, et aussi par l'utilisation de modèles numériques dédiés aux étoiles avec disques. Les étoiles B[e] ont constitué un cas d'étude pour mettre en synergie des compétences diverses, tant observationnelles que théoriques pour l'interprétation d'environnements circumstellaires beaucoup plus denses dans les parties équatoriales. Ces compétences sont applicables à un champ plus vaste, et ont été utilisées récemment pour des sources aussi diverses que des binaires massives en interaction, des étoiles post-AGBs, des symbiotiques ou des binaires cataclysmiques. Cette expertise d'un grand potentiel est aussi directement applicable pour les disques autour des objets jeunes les plus massifs de types Herbig Ae/Be. Enfin nous essayons actuellement d'explorer une nouvelle thématique via la détection des molécules prébiotiques et nous avons un PICS avec le Brésil en cours.

Exploitation d'instruments : Nous sommes fortement impliqués dans l'exploitation d'instruments existants comme les interféromètres AMBER, CHARA/VEGA, MIDI et notamment l'exploitation des gains en sensibilité et en résolution de ces instruments pour contraindre fortement les modèles stellaires mais aussi sur l'analyse des données du relevé VISIR sur les nébuleuses planétaires et post AGB ou encore l'exploitation des données NACO pour l'étude des milieux circumstellaires et des données UVES, GIRAFFE et STIS (HST) pour l'étude des abondances stellaires.

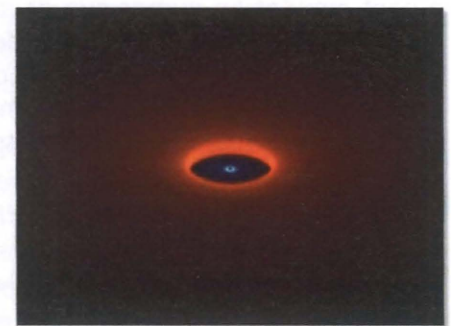
Instruments/outils futurs Nous participons également à la préparation de l'exploitation d'instruments ou d'outils futurs parmi lesquels on peut citer l'exploitation des interféromètres ALMA et MATISSE et de l'instrument SPHERE sur le VLT. La recherche des paramètres fondamentaux des disques autour des Be détectées par GAIA. Le soutien au développement de l'infrastructure du VLTI (accès à toutes les bases disponibles, possibilité de modifier « rapidement » le réseau interférométrique, ajout de 2 télescopes auxiliaires (ATs) au réseau actuel). Nous sommes également impliqués dans la définition de concepts instrumentaux pour les futures missions PEGASE, DARWIN et SIM-Lite ainsi qu'à la participation à l'instrument GYES pour le suivi sol de la mission GAIA. Enfin, nous sommes intéressés par la définition de cas scientifiques pour le futur E-ELT et la mise à disposition de certains codes développés au sein de l'équipe pour l'interprétation de mesures interférométriques via l'Observatoire Virtuel.

4. Outils numériques de modélisation astrophysique d'environnements stellaires (hors-ETL, type Monte-Carlo dans la poussière, analytique) et reconstruction d'images

La maîtrise et l'accès à des modèles astrophysiques d'environnement stellaires sont essentiels pour interpréter la richesse d'information spatiale et spectrale contenue dans les données provenant des instruments modernes, en particulier ceux du VLTI (AMBER et MIDI).

Grâce à des collaborations scientifiques et au travail des chercheurs de l'équipe ESOM pendant ces dernières années nous disposons actuellement de plusieurs modèles astrophysiques, sous forme de codes numériques, dédiés complètement à l'interprétation d'observations spatio-spectrales multi-techniques d'environnement stellaires de diverses natures:

- **SIMECA** (développé par Ph. Stee): **SIM**ulation pour **E**toiles **C**haudes **A**ctives (Meilland et al. 2009a,b, Kanaan et al. 2008) code de transfert radiatif pour simulation de vents et disques d'étoiles chaudes actives. Il permet de calculer des profils de raies entre les 7 niveaux de transition de l'atome d'hydrogène, des cartes de brillance dans des raies spectrales ou dans le continuum (visible ou infrarouge) à partir desquelles seront calculées des visibilités théoriques et des distributions spectrales d'énergie (SED). Développé initialement par Ph. Stee puis par J. Bittar, il a été constamment amélioré par les étudiants en thèse qui ont travaillé à son développement : A. Meilland puis S. Kannan ainsi que par l'aide importante apportée par D. Mattei (IE informaticien) qui en a développé une version parallélisée. Ce code est maintenant entièrement 3D, il tient également compte de la déformation géométrique et de l'assombrissement gravitationnel de l'étoile centrale sous l'effet de sa rotation rapide et de la force centrifuge. Il permet enfin de calculer une table d'opacité 3D du gaz qui peut être utilisée en entrée par des codes de transfert radiatif dans la poussière de type Monte-Carlo et permet donc de reproduire des observables issues d'objets présentant du gaz et de la poussière dans leur environnement comme les étoiles B[e] ou les H Ae/Be de Herbig (exemple Meilland et al. 2010, A& 512, HD62623)
- **TAPAS** (G. Niccolini): Tapas (Niccolini et Alcolea 2006) est un programme qui résout conjointement le problème du transfert radiatif dans le continu et du calcul de la structure en température d'une enveloppe de poussière en géométrie quelconque. Il s'agit d'un code basé sur la méthode de Monte Carlo, se basant notamment sur les techniques proposées par Bjorkman & Wood et Lucy 1999. Tapas est un logiciel libre (licences GPL), et sera accessible à la communauté au travers de l'observatoire virtuel (interface en préparation, Suárez, O.). Tapas permet en particulier de calculer des images dans différentes bandes spectrales ainsi que la distribution spectrale d'énergie d'objets astronomiques, en supposant une loi de densité (nombre de grains par unité de volume) et des opacités (sections efficaces d'absorption et de diffusion obtenue par exemple par la théorie de Mie) pour le milieu considéré. La confrontation d'un modèle particulier aux données permet une caractérisation physique de l'objet considéré.
- **HDUST** (A. Carciofi): code de transfert radiatif Monte Carlo incluant gaz et poussière. Ce code permet d'obtenir des spectres et des cartes d'intensité en lumière naturelle et/ou polarisée (voir Fig. 1). Ce code a besoin d'une puissance de calcul considérable pour que l'on puisse exploiter pleinement ces capacités. La version parallèle du code HDUST a donc été installée sur le Mésocentre SIGAMM (Simulations Intensives en Géophysique, Astronomie, Mécanique et Mathématiques) pour utilisation par les chercheurs de l'équipe ESOM. L'accès à ce code très complet a été possible grâce au programme de collaboration internationale PICS France-Brésil (voir section précédente).
- **FRACS** (G. Niccolini, Ph. Bendjoya et A. Domiciano de Souza): code de transfert radiatif paramétré par tracé de rayon ("ray tracing") permettant de simuler rapidement (quelques secondes) les environnements stellaires dans l'infrarouge thermique. Ce code est optimisé pour l'exploration d'une très grande région de l'espace de paramètres du



modèle (plusieurs millions de modèles testés) (1) permettant de retrouver la meilleure solution pour ajuster les observations (au sens d'un minimum de χ^2 par exemple) et (2) permettant également une estimation réaliste des incertitudes des paramètres ajustés. Ces possibilités ne sont pas accessibles aux codes de transfert radiatifs classiques (Monte Carlo par exemple) à cause d'une limitation importante en termes de temps de calcul. FRACS est bien adapté à l'interprétation des observations spectro-interférométriques avec VLT/MIDI et dans le futur avec VLT/MATISSE

- **Reconstruction d'images et spectro-interférométrie stellaire** - Nous sommes également actifs dans les travaux concernant la reconstruction d'images en spectro-interférométrie, avec des données existantes au VLT. Nous avons également d'autres programmes d'imagerie déjà acceptés sur le VLT pour 2009-2010. Nous utilisons divers logiciels existants dédiés à la reconstruction d'images. En parallèle nous travaillons sur le développement de nouveaux algorithmes de reconstruction d'images plus performants, et surtout incluant pour la première fois l'information multi-chromatique apportées par les données VLT et CHARA.

Enfin, si nous avons depuis longtemps développé des codes pour l'interprétation des mesures interférométriques multi-spectrales, il nous paraît important de renforcer nos compétences théoriques dans le domaine de l'hydrodynamique radiative et le transfert de rayonnement par l'arrivée d'un chercheur théoricien « senior » qui rassemblera autour de lui de jeunes docteurs pour développer une nouvelle génération de modèles intégrant un grand nombre de processus physiques. On peut citer parmi les phénomènes physiques qui nous intéressent plus particulièrement l'étude des collisions vent-vent dans les binaires en interaction, le transfert radiatif N-ETL multi-D dans les milieux circumstellaires autour des étoiles chaudes et massive, le couplage grain-gaz dans des objets évolués ou pré-séquence principale.

5. Modélisation réaliste des surfaces et intérieurs stellaires : Interférométrie, Gaia, Corot

L'objectif de ce groupe de travail est la détermination des paramètres fondamentaux des étoiles tardives de la Galaxie à l'aide d'une approche moderne en physique stellaire. Ces paramètres (Température effective, gravité, composition chimique, âge) sont obtenus par comparaison de modèles d'atmosphères stellaires réalistes (hydrodynamique 3D + transfert NETL) et de structure interne CESAM (incluant diffusion et rotation) avec des observables variées comme les spectres HARPS, les distances Gaia, les fréquences d'oscillation acoustiques ou encore les mesures interférométriques (VLT, Chara). Notre approche consiste à croiser toutes ces sources d'informations afin de mieux contraindre et d'améliorer nos modèles théoriques. L'apport de l'interférométrie permet par exemple de corriger la grande incertitude sur la température effective de ces étoiles. L'astérosismologie nous donne accès à la densité moyenne de l'étoile, la spectroscopie sa composition chimique ou sa gravité. Les deux approches complémentaires de simulations 3D des surfaces et de simulation 1D de la structure interne préparent à l'estimation de l'âge des étoiles des populations stellaires.

Notre motivation est de dépasser les hypothèses simplificatrices faites depuis des dizaines d'années dans la modélisation et compréhension des étoiles et d'aller maintenant vers une approche plus moderne et réaliste (e.g. hydrodynamique 3D, transfert NETL, champ magnétique, inclure des calculs de mécanique quantique pour le transfert de rayonnement). Le grand avantage de cette approche réaliste est de s'affranchir de paramètres ajustable qui rendaient tout diagnostic incertain, tels que la micro, macro turbulence ou encore le facteur ad-hoc de collisions Van Der Waals pour la formation des raies spectrales. L'utilisation de ces codes nécessite de grosses ressources de calcul numérique et se font sur les machines du Mésocentre SIGAMM sur typiquement 128 ou 256 processeurs.

Les applications principales sont une meilleure compréhension de l'évolution de la Galaxie supportée par l'étude des étoiles tardives à travers notamment la détermination précise d'abondances stellaires (chimie galactique) et de vitesses radiales (cinématique galactique). Les applications sont bien évidemment fortes pour Gaia mais aussi toutes études de spectres hautes résolutions d'instruments type HARPS ou UVES.

Annexe 3 : Galaxie/Galaxies/Amas/Cosmologie/Gravitation

I. Archéologie Galactique

II. Formation et évolution des galaxies

III : Amas de galaxies: action et rétroaction entre galaxies / gaz / milieu non thermique

IV. Caractériser et comprendre l'accélération de l'expansion de l'Univers

V. Analyse de données

Préambule

L'équipe résulte de la fusion volontaire et concertée de trois groupes : l'ex-équipe de Cosmologie et d'Astrophysique Extragalactique et le groupe d'Archéologie Galactique de l'équipe GAIA du laboratoire CASSIOPEE, ainsi qu'un groupe de théoriciens du laboratoire ARTEMIS. Elle s'intéresse à la formation et l'évolution de structures à toutes les échelles, depuis les structures sub-galactiques, les galaxies, jusqu'aux groupes, aux amas et aux grandes structures, en couvrant un domaine de redshift étendu partant de la Voie Lactée et du Groupe Local ($z=0$), pour atteindre les proto-amas de galaxies ($z=2$). L'étude de la formation de ces structures à différentes échelles a pour objectif commun de contraindre le scénario cosmologique et la manière dont se sont assemblés les baryons. Ces études sont menées grâce à des observations pointées ou à l'analyse de relevés, et le développement de simulations numériques. Une activité de recherche théorique sur l'énergie sombre et les théories modifiées de la gravitation est également menée, en synergie avec l'approche observationnelle et de modélisation.

L'une des originalités de l'équipe est de pouvoir s'appuyer sur des compétences fortes en analyse de données (par ex. projets MATISSE, DAHLIA, MASMAI). Celles-ci sont indispensables pour une exploitation optimale des grands relevés à venir, aussi bien concernant notre galaxie (GAIA) que l'univers à grande échelle (LSST, EUCLID), et le traitement des données des futurs instruments (MUSE, LOFAR,...). D'autre part, la réunion de spécialistes de notre galaxie et d'astrophysique extragalactique est très prometteuse à l'heure où les premières études de galaxies résolues spatialement en dehors du Groupe Local vont voir le jour.

L'équipe présente aujourd'hui un bon équilibre de compétences entre théorie, observations et modélisation. Un besoin fort d' étoffer la composante « simulation numérique » apparaît clairement, ce qui nécessiterait l'accrétion d'un expert en simulations cosmologiques hydrodynamiques incluant la physique des baryons.

I. Archéologie Galactique

Contexte :

L'archéologie galactique a pour principal objectif l'étude de la formation et de l'évolution de notre Galaxie et de son cortège de satellites dans le cadre du scénario cosmologique dit "concordant" Λ CDM. Cette approche nouvelle de la physique galactique consiste à utiliser les étoiles de tous âges comme des fossiles qui gardent l'empreinte de leur origine dans leur cinématique et leur chimie. Grâce à la construction de cartes cinématiques et chimiques, il est ainsi possible d'explorer les mécanismes de formation et d'évolution des quelques galaxies les plus proches (Groupe Local, y compris et principalement la Voie Lactée). Cette approche est complémentaire de l'étude de la formation et l'évolution des galaxies à grand redshift, et apporte des contraintes uniques sur le scénario de formation hiérarchique des structures aux plus petites échelles (galactiques et sub-galactiques).

La prochaine décennie sera marquée par un essor particulier de cette thématique, porté par le lancement du satellite Gaia (relevé d'un milliard d'étoiles), mais aussi de relevés grand champ au sol en cours ou à venir (VISTA, UKIDS, PanStars, LSST), photométriques et spectroscopiques (SDSS III :SEGUE et APOGEE, RAVE, HERMES, Large Public Spectroscopic Survey ESO, projet de relevé européen sur T4m dédié,...). Gaia fournira une cartographie détaillée en 6D (espace et vitesses) de notre galaxie, et sera complété par des relevés spectroscopiques au sol, pour ajouter l'information chimique détaillée de la partie brillante de l'échantillon, et pour la 3^e dimension de vitesse (radiale) des étoiles faibles. A plus long terme encore, l'arrivée des capacités à haute résolution spatiale, d'imagerie ultra-profonde et de spectroscopie du JWST et de l'ELT (EAGLE et/ou OPTIMOS/EVE), permettront de résoudre les populations stellaires de galaxies en dehors du groupe local, jusqu'au groupe de Sculpteur et peut-être même l'amas de la Vierge, donnant ainsi accès à des types de galaxies absents du Groupe Local (ex. les elliptiques géantes) avec un degré de détail inégalé.

Parmi les débats ouverts les plus animés sur la formation des galaxies pour lesquels les contraintes issues du Groupe Local sont indispensables, on citera : (i) la formation des disques (problème du moment angulaire manquant des simulations numériques en Λ CDM) et en particulier, les mécanismes de formation et d'évolution de celui de la Voie Lactée (bulbe central ou barre seule ? relation entre disque mince et épais ? importance des mécanismes dynamiques de réorganisation radiale du disque ?); (ii) l'inadéquation entre le nombre et les caractéristiques des sous-structures observées autour de la Voie Lactée et Andromède et les prédictions des modèles (problème dit des « satellites manquants »). L'équipe entend développer ses activités dans ces deux directions lors du quadriennal à venir, à la fois en lien avec la préparation à l'exploitation scientifique de Gaia, et en exploitant les infrastructures et relevés existants.

Projets et moyens :

Une nouvelle ère d'études détaillées des différentes populations stellaires qui composent notre Galaxie commence dès aujourd'hui et elle sera en grande partie structurée autour de la mission Gaia. C'est donc tournée vers la préparation à l'exploitation scientifique de cette mission que nos activités s'articulent :

- (i) poursuite de nos activités de caractérisation automatique des étoiles (méthode MATISSE de multirégression linéaire locale et construction de "pipelines" complètes d'analyse de spectres: vitesses radiales, paramètres

atmosphériques, abondances d'éléments chimiques,...); ceci nous permet de nous positionner dans un certain nombre de relevés spectroscopiques au sol (voir iii) ainsi que dans l'analyse des données spectroscopiques de Gaia au sein du DPAC.

- (ii) conduite des relevés spectroscopiques pointés avec les télescopes au sol actuels (VLT-FLAMES/UVES/CRIRES/Xshooter), pour caractériser le(s) disque(s) galactiques (gradients radiaux, verticaux, relation disque mince / disque épais : une demande ANR en collaboration avec Besançon et Paris/GEPI sur le sujet est en première position sur liste d'attente), ainsi que les traces anciennes d'accrétion sur la Voie Lactée (courants stellaires dans le halo et le disque épais) et leurs progéniteurs (galaxies satellites ; projet DART). Nous conduisons également une analyse systématique des archives spectroscopiques à haute résolution de l'ESO (projet AMBRE, en contrat avec l'ESO), que nous exploiterons pour les thématiques ci-dessus. Le système d'amas globulaires Galactique est également un traceur fondamental du processus de formation du Halo (premières époques de formation de la Galaxie), et nous poursuivrons l'étude des anomalies d'abondances chimiques liées aux processus de formation des amas globulaires que l'on y détecte (méthodes d'analyse statistique multivariée).
- (iii) implication dans les projets d'accompagnement au sol de Gaia (GREAT Chemo-Dynamical Survey): projets instrumentaux pour les T4m européen (groupes scientifiques de GYES/CFHT et WMOS/WHT), et grands relevés européens (Large Public Spectroscopic Survey ESO), ainsi qu'une possible collaboration avec les grands relevés non européens (RAVE, SEGUE, APOGEE, HERMES). En effet, si la mission Gaia va révolutionner notre connaissance des propriétés des populations stellaires de la Voie Lactée en fournissant des estimations précises de distances et de cinématique des étoiles ainsi que de leur photométrie, la mission ne fournira pas d'analyse chimique détaillée de ses cibles. Pour ces raisons, des relevés spectroscopiques à haute résolution au sol sont un complément indispensable pour garantir l'exploitation scientifique de Gaia. L'équipe se positionne donc dès à présent sur ces projets complémentaires au sol.

II. Formation et évolution des galaxies

Contexte :

Dans le cadre du scénario cosmologique dit "concordant" Λ CDM, qui permet d'expliquer aujourd'hui à la fois la plupart des observations à grande échelle, et celles du rayonnement de fond cosmologique, les galaxies se forment par fusions et accrétions successive de halos de plus petite échelle. Cette formation "hiérarchique" se poursuit à différentes échelles, conduisant à la formation des groupes, amas et grandes structures observées. L'un des défis de l'astronomie moderne est de caractériser et d'expliquer les propriétés des structures en question, incluant leur distribution spatiale, leur fonction de luminosité, la diversité de leurs morphologies, leurs populations stellaires, les lois d'échelles qu'elles vérifient ainsi que leur évolution.

Le rôle des simulations numériques dans ce domaine sera déterminant. Les développements en cours, tenant compte de la dynamique de la matière noire, de l'hydrodynamique du gaz et des différents processus physiques associés à la formation stellaire, permettront dans la prochaine décennie de comparer les prédictions des modèles aux observations des galaxies dans un contexte cosmologique plus réaliste.

D'autre part, le foisonnement de nouveaux moyens observationnels en perspective laisse présager de nombreuses percées dans le domaine. L'observations des galaxies dans un domaine étendu de longueurs d'onde (avec notamment l'accès au domaine FIR et mm avec Herschel, et radio avec ALMA (2013) puis SKA (2020)) permettra de contraindre fortement leur distribution d'énergie spectrale et de mesurer précisément leur activité stellaire, en dépit des problèmes d'obscurité par la poussière. La spectroscopie 3D multi-objets, sur des champs relativement importants (KMOS (2012), MUSE (2014) à l'ESO sur le VLT: puis EAGLE sur l'ELT) donnera accès à la cinématique des galaxies, à la détermination de leur moment angulaire et des abondances, qui permettra de contraindre leur scénario de formation. Le prochain lancement du JWST (2014) permettra d'explorer les propriétés des galaxies jusqu'à des époques avoisinant la réionisation. En parallèle, le développement des imageurs grand champ conduit à la réalisation de grands relevés multi-bandes (UKIDSS, VISTA, LSST (2016)), puis EUCLID (2018), qui permettront l'analyse statistique de la formation des galaxies et des structures sur un volume d'univers inégalé (20000 degrés carrés, $z < 0.2$ pour EUCLID).

Les principales questions que nous souhaitons aborder au sein de l'équipe sont:

- Comment se sont assemblées les galaxies? Comment et quand s'est établie la séquence de Hubble observée aujourd'hui? Comment se sont formées les galaxies elliptiques brillantes, collapse monolithique ou fusion de galaxies de type tardif?
- Quel est le rôle des AGNs et des trous noirs super massifs dans l'évolution des galaxies et du milieu environnant? Comment le processus de rétroaction de ces objets affecte le gaz présent dans les amas? Comment expliquer les relations entre la masse du trou noir central et les propriétés de la galaxie hôte?
- Comment la formation stellaire est-elle affectée par l'environnement et, en particulier par les événements de fusion ou d'accrétion? Quels sont les processus physiques majeurs qui contrôlent la conversion du gaz en étoiles? Quel est le rôle de la turbulence et du champ magnétique? (voir III)
- Comment la distribution des structures évolue-t-elle avec le temps cosmique, quel lien existe-t-il entre la formation stellaire et le processus de formation des structures?

Projets et moyens :

Pour répondre à ces questions, l'équipe s'implique dans différents projets :

(i) Observations pointées (au sol/spatiales) visant à caractériser les populations stellaires, couleurs, morphologies, et champs de vitesses des galaxies et leur évolution en fonction du redshift et de l'environnement (voir III). Ces programmes utiliseront les nouveaux spectro-imageurs (KMOS, MUSE à l'ESO), Herschel (formation stellaire enfouie par les poussières), JWST (Morphologie, formation stellaire, enrichissement chimique), ALMA, SKA (détection du gaz froid moléculaire).

(ii) Exploitation des grands relevés multi-bandes de galaxies: Ceux-ci permettront une approche statistique inégalée pour déterminer les propriétés globales de la distribution des galaxies, et leur évolution multi-paramètres. Nous

chercherons à déterminer l'évolution de la séquence Rouge du diagramme couleur-magnitude, des fonctions de luminosité, des relations d'échelles, du « clustering ». Forte de son expérience d'exploitation des grands relevés existants tels le SDSS et le CFHTLS, l'équipe participera à l'analyse des grands relevés multi-bandes tels les relevés publics de l'ESO (UKIDSS, relevés VISTA), le LSST, puis EUCLID. Elle est également intéressée par le projet IMAKA au CFHT.

(iii) Exploitation de simulations cosmologiques à très haute résolution, permettant de prédire les propriétés intrinsèques des galaxies, incluant les processus physiques qui ont lieu dans le gaz, les effets de rétroaction des supernovae et des AGNs et la croissance des trous noirs super massifs par accrétion et coalescences.

III : Amas de galaxies: action et rétroaction entre galaxies / gaz / milieu non thermique

Initialement découverts en optique comme des concentrations de milliers de galaxies dans des régions de quelques Mpc, les amas de galaxies ont ensuite été détectés aux longueurs d'onde X: le volume entre les galaxies est en effet rempli par un gaz diffus si chaud ($T \sim 10^8$ K) que les atomes sont fortement ionisés et forment un plasma émetteur X du type « *Bremsstrahlung* thermique ». Les observations radio ont en outre révélé la présence d'une composante non-thermique - électrons relativistes (GeV) et champs magnétiques ($\sim 0.1-1$ μ Gauss) - dans le volume intra-amas d'environ 10% des amas connus. Le milieu intra-amas (MIA) thermique, qui est la composante dominante de la matière baryonique des amas, ne constitue qu'environ 15% de leur masse totale. Le restant est constitué par la « matière noire » dont on ne peut qu'observer les effets gravitationnels.

L'étude de la physique évolutive complexe des amas de galaxies constitue un des principaux sujets de recherche du domaine extragalactique. Il faut comprendre d'une part pourquoi l'environnement des amas affecte les propriétés internes des galaxies (taux de formation stellaire, activité du noyau central, morphologie), et d'autre part comment les galaxies peuvent agir sur le bilan énergétique et le contenu en métaux du milieu intra-amas (MIA). Des études récentes suggèrent en outre que le processus de formation d'amas par coalescence entre sous-structures peut accélérer les électrons du MIA à des vitesses relativistes et amplifier les très faibles champs magnétiques primordiaux, en donnant lieu au rayonnement synchrotron observé dans les amas de galaxies en coalescence les plus massifs. Ce couplage *action-rétroaction* entre les galaxies des amas et le MIA thermique et non thermique est réglé par un ensemble de processus physiques gravitationnels et non gravitationnels dont les détails sont à l'heure actuelle fortement débattus voire inconnus. Leurs compréhension est nécessaire, entre autre, pour obtenir à partir des observables (e.g. distribution des vitesses de galaxies; profil de densité et température du MIA; ...) les quantités physiques que nous voulons estimer (e.g. masse, état dynamique,...) pour pouvoir utiliser les amas comme traceurs cosmologiques (voir Sect. I).

L'équipe est impliquée dans plusieurs projets étudiant la physique évolutive des amas et de leurs composantes via une approche multi-longueur d'onde. Cette approche est en effet indispensable pour caractériser les propriétés des galaxies (observations UV à IR), de la matière sombre (observations optiques/IR : lentillage gravitationnel), du gaz intra-amas (observations X), et du milieu non thermique (observations X et radio). Nos questions prioritaires et les principaux projets observationnels relatifs dans lesquels l'équipe est impliquée sont résumés dans la suite¹.

Evolution des galaxies dans les amas et rétroaction sur le milieu intra-amas thermique :

- Quel est le rôle respectif des différents processus physiques spécifiques aux environnements denses intervenant sur la formation stellaire et la morphologie des galaxies dans les amas : « Ram-stripping », « harassment », « strangulation », effets de marée ?
- Comment évolue la formation stellaire en fonction du redshift, de la masse et de l'environnement ? A quelle époque les galaxies cessent de former des étoiles au sein des amas, et de quelles galaxies d'agit-il ? Quels sont les progéniteurs à haut redshift de la population de galaxies S0 présente au sein des amas à bas redshift ?
- Comment interviennent le refroidissement du gaz, le réchauffement par les AGNs et les Supernovae ? Comment l'énergie est-elle transférée des galaxies au gaz, et comment le gaz affecte-t-il les galaxies ?
- Quand se sont formés les premiers amas, quels sont leurs constituants et quel est leur état dynamique ?

Physique non thermique des amas de galaxies

- Quelle est l'origine de l'accélération des particules relativistes dans les amas ? Comment l'énergie libérée lors des fusions hiérarchiques est-elle redistribuée entre milieu thermique et non thermique ? Quel est l'impact de ces phénomènes dans la détermination de la masse ?

- Projets/Moyens :

- (i) Conduite de programmes observationnels multi-longueur d'onde d'amas de galaxies utilisant les TGE conduisant à :
 - la détermination de la distribution en densité et en vitesses des galaxies, du taux de formation stellaire, métallicité, masse des galaxies, de la distribution de la matière sombre par l'optique gravitationnelle via imagerie grand-champ optique (Megacam/CFHTLS), NIR (VISTA, IMAKA), imagerie HST, imagerie Herschel, spectroscopie multi-objet à haute résolution spectrale (VIMOS, GIRAFFE, FLAMES), spectroscopie intégrale de champ (KMOS, MUSE)
 - la cartographie de l'émission, de la métallicité, de la température du gaz chaud émettant en X : spectro-imagerie en X (XMM/Chandra, IXO, WFTF)
 - la caractérisation du milieu non thermique à partir d'observations dans le domaine radio (LOFAR,

ASKAP, MeerKAT, SKA), associées aux observations en X.

- (ii) Exploitation des grands relevés optiques/NIR (CFHTLS, UKIDSS, LSST, EUCLID), X : e-Rosita.
- (iii) Exploitation de simulations numériques hydrodynamiques de très haute résolution modélisant les différents effets de rétroaction (gaz-galaxies) (cf. section II).

IV. Caractériser et comprendre l'accélération de l'expansion de l'Univers

Contexte

Durant la dernière décennie, les observations de supernovae distantes de type Ia ont révélé que leur luminosité est plus faible que ce à quoi on s'attendrait dans un univers dominé par la matière. Ce résultat a été interprété comme une preuve de l'accélération de l'expansion qui pourrait être la conséquence d'une nouvelle forme d'énergie de pression négative baptisée « énergie sombre ». Dans le cadre de cette interprétation, la densité d'énergie de cette énergie sombre serait d'environ trois fois celle de la matière au temps cosmique présent. Une explication alternative pourrait être que l'énergie sombre n'est que le reflet de notre méconnaissance de la gravitation aux très grandes échelles et pourrait ainsi conduire à des modèles modifiés de la gravitation comme certains auteurs l'ont suggéré. Une autre alternative est de considérer l'impact des hétérogénéités de la distribution de la matière dans l'univers et le cas particulier où nous occuperions une position particulière avec une densité locale suffisamment différente de la densité moyenne.

Afin de progresser sur ces questions il est crucial de multiplier les observations afin de caractériser les propriétés de l'énergie sombre à l'époque actuelle et par le passé. Un premier pas important est de parvenir à distinguer entre une énergie noire évoluant avec le temps cosmique et une constante cosmologique telle que proposée par Einstein. Pour cela examinons les impacts observationnels de l'énergie sombre. Ils peuvent être divisés grossièrement en deux classes : modification de la relation redshift-distance et effets sur la croissance des structures. Afin de caractériser ces effets, de nombreux projets observationnels sont en cours d'élaboration ou prévus pour la décennie à venir (Dark Energy Survey, EUCLID, LSST, etc.). L'idée est de combiner simultanément plusieurs expériences ayant différentes dépendances par rapport aux paramètres cosmologiques et aux erreurs systématiques. Les méthodes principales retenues (Cf. *Dark Energy Task Force* et le rapport de l'*ESA-ESO working group on fundamental physics*) sont (i) la relation redshift-distance par les SNs ; (ii) les oscillations baryoniques acoustiques ; (iii) la croissance des structures par l'étude du lentillage gravitationnel et (iv) la croissance des structures par le comptage des amas de galaxies. Par ailleurs, le développement de l'astronomie gravitationnelle et la construction de détecteurs capables d'observer des coalescences de binaires compactes à des redshifts $>2-3$ (ex : le projet européen Einstein Telescope) ou des trous noirs supermassifs (LISA), devrait permettre dans les prochaines décennies d'utiliser des sirènes gravitationnelles pour contraindre les paramètres cosmologiques. En parallèle à la construction de ces expériences observationnelles, il est essentiel d'investiguer le problème d'un point de vue théorique afin de comprendre quelle est la nature de l'énergie sombre ou s'il faut se tourner vers des alternatives. L'équipe Castel est partie prenante de ces deux volets observationnels et théoriques à travers la participation à plusieurs grands projets sur la question de l'accélération cosmique :

1. Les amas de galaxies pour sonder le taux de croissance des structures de l'Univers

Il existe une longue tradition dans l'équipe autour des thèmes des grandes structures de l'Univers et des amas de galaxies en tant qu'objet astrophysiques et comme traceur cosmologique. Les amas de galaxies sont en effet très intéressants pour investiguer deux types d'effets liés à l'énergie sombre. Tout d'abord, comme l'énergie sombre influence l'expansion de l'univers, elle a un impact sur la manière dont le volume croît avec le temps. Ensuite, la formation d'un amas de galaxies dépend principalement de la gravité et de l'énergie sombre. En comptabilisant l'évolution de la densité d'amas nous pourrions ainsi sonder l'importance relative de ces deux effets.

2. Les systèmes double d'étoiles à neutrons comme sirènes standards

La synergie de l'astronomie multi-messagère n'est nulle part aussi évidente que dans l'utilisation de sirènes standards gravitationnelles pour tester le modèle concordant en cosmologie. Les détecteurs d'ondes gravitationnelles de troisième génération comme Einstein Telescope (prévu pour 2020) devrait détecter plusieurs centaines de binaires compactes par an, en coïncidence avec des sursauts gamma courts à spectre dur. Alors que l'observation gravitationnelle fournit une mesure de la distance luminosité, la galaxie hôte du sursaut peut être utilisée pour mesurer le redshift. En ajustant la population observée à un modèle cosmologique, il est alors possible de contraindre le paramètre de Hubble, la densité d'énergie de la matière, ainsi que les paramètres de l'équation d'état de l'énergie noire. Nous envisageons d'étudier par des simulations numériques de Monte Carlo les contraintes données par les sirènes standards gravitationnelles et de les comparer à celles données par les amas avec le projet Euclid.

3. Champs scalaires et théories alternatives

L'interprétation de l'accélération de l'expansion en terme de champs scalaires peut être exploré dans deux directions complémentaires : (1) un champ scalaire étant source de gravitation au même titre que les champs matériels « ordinaires », dans le cadre de la relativité générale (RG), (2) un champ scalaire faisant partie intégrante du champ de gravitation, au même titre que le tenseur métrique, dans le cadre des théories tenseur-scalaires (TTS). L'approche TTS est équivalente aux théories dites « non linéaires de la gravitation », dans lesquelles le champ gravitationnel est décrit par le seul tenseur métrique. Notre équipe souhaite s'impliquer dans l'étude théorique des TTS versus l'expansion de l'univers. Deux axes d'étude peuvent être envisagés : (1) l'évolution des structures dans le cadre des TTS standards, (2) l'exploration de TTS plus générales, dans lesquelles des termes d'ordre supérieur en le champ scalaire sont introduits au niveau de la théorie.

4. Le modèle « Bulk viscosity »

Une autre façon d'appréhender l'accélération de l'expansion est d'étudier des modifications du tenseur énergie-impulsion en abandonnant la représentation usuelle de la matière par un fluide parfait. L'introduction d'une viscosité conduit en effet à la présence d'un terme de pression négative dans le tenseur de matière dont l'accélération

observée pourrait être le produit. L'équipe envisage d'étudier ce type de modèle et d'en explorer les conséquences observationnelles.

5. Impact de la constante cosmologique dans la modélisation des lentilles gravitationnelles

Si le problème de la déflexion d'un rayon lumineux par une masse, étape nécessaire dans le problème du lentillage gravitationnel, est bien posé dans le cadre de la RG sans constante cosmologique, il n'est pas défini sans ambiguïté en présence d'une telle constante. Une constante cosmologique étant une explication possible à l'accélération de l'expansion, il est important de connaître l'incidence d'un tel terme sur le problème du lentillage. Notre équipe s'investit activement dans ce problème.

Moyens/Projets : L'équipe a développé une expertise sur la détection des amas de galaxies au travers l'analyse du CFHT-LS qui lui permet de se positionner sur les grands projets qui débutent (Dark Energy Survey), ou en préparation (EUCLID, participation OJ9), et potentiellement sur le LSST. Si la mission EUCLID est définitivement sélectionnée en 2011, la contribution scientifique de l'équipe au projet se fera majoritairement sur les thématiques suivantes: contraintes sur l'énergie sombre et sur les théories alternatives à partir des amas, et évolution des galaxies en fonction de l'environnement et du redshift (voir 2.). En effet, avec EUCLID, de part la taille du relevé, la gamme de redshifts couverte ($0 < z < 2$), et le nombre d'amas attendus on pourra prétendre contraindre avec une précision comparable aux sondes dites traditionnelles l'équation d'état de l'énergie noire, tester son évolution, ainsi que la théorie de la gravitation. La richesse de la mission sera de pouvoir combiner: la finesse de l'imagerie spatiale permettant la détection et la mesure des masses des amas massifs par la technique de cisaillement gravitationnel, à la spectroscopie dans le proche infra-rouge, permettant une détermination directe de la masse dynamique pour une fraction des amas. En effet, la multiplicité des méthodes utilisables pour déterminer les masses (richesse optique, weak-lensing, analyse dynamique) sera un atout majeur pour calibrer la relation masse-observable, et maîtriser sa dispersion, point crucial limitant la précision qui sera obtenue sur les paramètres caractérisant l'équation d'état de l'énergie noire. La méthodologie développée par l'équipe sur le CFHT-LS sera un tremplin pour aborder ces problèmes. Le croisement avec les relevés d'amas sur tout le ciel à d'autres longueurs d'onde à priori disponibles en 2018 (e-Rosita, Planck, SPT,...), permettra d'ancrer les différentes relations masse-observable utilisées. En outre, la mission pourvoiera une base de données inégalée pour étudier l'évolution des propriétés des galaxies dans le potentiel des amas (voir II.). En parallèle, nous sommes engagés dans les grands projets de détection d'ondes gravitationnelles en cours (LIGO/Virgo) ou futurs (LISA, Einstein Telescope) et avons développé depuis plusieurs années une expertise dans le traitement et l'interprétation des données. En particulier nous participons au Einstein Mock data challenge dans le but de développer dès maintenant les techniques qui permettront d'utiliser au mieux le signal gravitationnel pour l'étude de la cosmologie.

V. Analyse de données

Comme science de l'observation, l'astronomie s'appuie sur des matériels (télescopes, détecteurs) à la pointe du progrès technologique, souvent spécifiques au domaine de longueur d'onde couvert et avec des modalités d'acquisition diverses ayant chacune leurs propres particularités. La discipline fait également de plus en plus appel à de vastes bases de données issues de relevés systématiques sur le ciel ou bien de programmes majeurs de simulations numériques (voire de calculs théoriques). La complexité intrinsèque grandissante de ces données, qu'elles soient primaires ou non, et qui va d'ailleurs fréquemment de pair avec une volumétrie en croissance exponentielle posant elle aussi problème, demande d'innover au niveau des solutions méthodologiques et des algorithmes qu'il s'agit de mettre en œuvre pour leur traitement et analyse. C'est également le cas pour extraire et caractériser l'information recherchée tant du fait de la nature même de certains objets astrophysiques, de leurs rapports S/B, que des questions abordées ou du but à atteindre.

Parmi les multiples sujets de recherche qu'il est possible d'ouvrir sur ces secteurs, compte-tenu des besoins généraux de la communauté, de ceux reliés aux activités de l'équipe, des projets dans lesquels nous sommes impliqués, de notre réseau de collaborateurs et de l'expertise qui est la notre, les grandes thèmes que nous traiterons concernent : i) la détection en imagerie hyperspectrale ; ii) l'extraction de structures diffuses complexes ; iii) la modélisation et la classification automatique de galaxies ; iv) l'estimation de paramètres. Une fois les solutions espérées obtenues et validées, les algorithmes et procédures associées seront progressivement transposés sous forme de services au sein de l'Observatoire Virtuel.

i. La détection en imagerie hyperspectrale :

Dans le domaine des longueurs d'onde du visible et du proche infra-rouge, de plus en plus de grands équipements du secteur SPU mettent en service des spectro-imageurs comme technique d'observation, le plus souvent couplés à un système d'optique adaptative avec comme perspective les futurs très grands télescopes. Ainsi, les quatre instruments de seconde génération (MUSE, X-shooter, KMOS, SPHERE) prévus pour le VLT comportent tous un spectrographe intégral de champ, le JWST deux (MIRI et NIRSPEC). Le défi pour l'analyse en général et la détection en particulier provient du très grand nombre de bandes spectrales sur lequel le signal est acquis, 4 000 canaux par exemple pour MUSE. L'objectif est d'obtenir une détection non supervisée aussi complète et homogène que possible sur tout le champ en gérant les superpositions spatiales, l'absence parfois de continu spectral (cf. émetteurs Lyman-alpha), la nature ponctuelle ou non des sources, le bruit, les variations spatiales et spectrales de la PSF, le tout en garantissant une cohérence des mesures d'un canal spectral à l'autre. Les solutions actuellement en cours de développement dans le cadre de l'ANR DAHLIA (2009-2012) adossée sur l'instrument MUSE s'appuient sur une exploration du champ par un quadarbre markovien en échelle spatiale, une représentation parcimonieuse de l'information spectrale au sein d'une union de bases adaptées, la définition de distances informationnelles, de critères de ressemblance. Il s'agira de vérifier la pertinence et la validité de cette approche, aussi bien sur des données de simulation que sur des données réelles, puis de se servir de cet acquis pour investir la problématique de la

- détection en imagerie radio (cf. LOFAR et l'ANR OPALES). L'implication et l'apport des chercheurs de l'actuelle équipe MATIS du laboratoire Fizeau au sujet est déjà effectif.
- ii. L'extraction de structures diffuses :
- Le modèle sur lequel s'appuie les algorithmes traditionnels (seuillage) pour la détection d'objets dans une image astronomique monobande considère des sources relativement isolées, plutôt symétriques, se détachant en émission sur un fond légèrement variable. Ces limites sont aujourd'hui souvent pénalisantes, en particulier pour l'extraction de formes étendues, que ce soit en raison des chevauchements induits par une forte densité numérique, de l'aspect asymétrique voire filamentaire de certaines structures, d'un possible empilement de composantes de différentes brillances alors qu'une seule présente un intérêt. Les besoins concernent tout autant l'imagerie optique (mono et multibande) et radio au sens usuel du terme que l'analyse de cartes donnant par exemple la distribution de probabilité d'une grandeur particulière (ex. champ de densité). Au cours des dernières années, nous avons beaucoup investi sur les approches multiéchelles (ondelettes) pour construire un nouveau modèle de vision mieux adapté permettant l'analyse et la restauration d'images, et celle de tout ou partie d'objets complexes. Il s'agit toutefois de faire aboutir cette solution qui a fait ses preuves, notamment vis-à-vis de la qualité de reconstruction (caractéristiques géométriques et de flux) ; une des difficultés persistantes vient des influences mutuelles entre objets, en particulier lorsque leurs luminosités sont très différentes, une autre des avantages et inconvénients (cf. convergence) de la méthode choisie pour obtenir la solution (par inversion régularisée de la transformée seuillée ou par l'addition de fonctions d'échelle). La description et la gestion de la hiérarchie de composantes mise en évidence doivent également pouvoir être mieux réalisées et employées, avec comme idée centrale la définition d'un arbre structural et d'opérations portant sur ce type de graphe. Enfin, la sensibilité aux anisotropies doit être renforcée.
- iii. La classification multibande automatique de galaxies :
- Affecter chacune des galaxies observée par les grands relevés multibande actuels (ex. SDSS) ou à venir (ex. LSST) d'une probabilité d'appartenance à l'une des classes morphologiques du système de Hubble révisé par de Vaucouleurs est une plus-value importante pour aborder sur de grands échantillons la question de la formation et l'évolution de ces objets selon les conditions d'environnement. Pour cela, une fois les sources parasites retirées et après une éventuelle mise à l'échelle, il s'agit d'abord de caractériser l'objet (mesures empiriques, ajustement de profils 1D ou 2D, décomposition linéaire dans une base adaptée) puis d'injecter les renseignements recueillis dans un classifieur (SVM, ANN, arbre de décision, classification bayésienne, etc.). Au-delà des limitations propres par exemple aux représentations centrées du type Gauss-Hermite ou *Shapelets* (ajustement du facteur d'échelle, effets d'échantillonnage, instabilité pour les formes complexes, grand nombre de coefficients compliquant l'interprétation), les deux difficultés résident d'une part dans l'obtention d'une description lisible astrophysiquement parlant, ce en quoi une décomposition (Gim2D, Budda, GalFit) en structures physiques a l'avantage, et d'autre part dans l'intégration réelle de l'information multibande et non de la fusion a posteriori des signatures sur chacune des bandes individuelles. Afin de répondre à ces critères pour la caractérisation spectro-morphologique d'une galaxie, nous (cf. thèse de B.Perret) avons récemment développé une approche basée i) sur l'inversion dans le cadre bayésien d'une hiérarchie de modèles paramétriques semi-simulables de plus en plus détaillés et ii) sur une représentation hiérarchique de l'information spectrale par le biais d'une analyse en arbre de composantes hyperconnexes floues pour les prétraitements et l'identification des structures. Même si la comparaison avec le catalogue de référence issu du projet EFIGI est très bonne, plusieurs travaux restent à effectuer pour converger vers un outil vraiment opérationnel : certaines contraintes dans la modélisation de la structure spirale et l'aspect de l'éventuelle barre de poussières visible sur les galaxies spirales vues de côté doivent d'abord être relâchées ; l'arbre de décision permettant la navigation dans la hiérarchie de modèles doit ensuite être automatisé ; le comportement sur des galaxies peu résolues et à très faible S/B, les plus nombreuses dans les relevés, doit enfin être étudié.
- iv. L'estimation de paramètres :
- a) Estimation au sein d'une grille de modèles par une projection optimale locale :
- La procédure déjà mise au point pour l'exploitation des spectres RVS de Gaia consiste à projeter le spectre sur une fonction précalculée pour chaque paramètre d'intérêt et ensuite à user tout simplement de la relation linéaire établie entre la valeur de cette projection et celle du paramètre en question, ce qui est très rapide ; l'apprentissage réside dans le calcul par combinaison linéaire des spectres de la grille de référence de cette fonction précalculée qui pondère chaque longueur d'onde en fonction de l'importance de la variation de l'intensité avec le paramètre. Si cette approche est en train d'être transposée telle quelle sur des spectres de galaxies, il faut noter que l'arbre de décision oblique auquel la méthode peut se ramener permet de lever le problème de convergence dans tout espace de paramètres non-convexe. Il doit en découler une plus grande précision dans l'estimation, ce qui doit être vérifié. Cela ouvre par ailleurs des perspectives nouvelles en classification supervisée ; elles seront également explorées.
- b) Estimation bayésienne empirique :
- A partir de la relation permettant d'estimer une valeur en fonction de la loi *a posteriori* pour un bruit blanc gaussien, en se basant sur un critère dérivé, il est possible de caractériser l'effet d'une transformation donnée sur une image. Cela ouvre par exemple la voie à la recherche de la meilleure transformation pour obtenir la plus grande parcimonie pour un niveau de bruit fixé, ce qui peut conduire à une nouvelle méthode de débruitage. La difficulté réside dans l'estimateur associé au critère objectif faisant le lien entre transformée et parcimonie, mais une solution pertinente bien adaptée aux images astronomiques semble possible.

Annexe 4 : Turbulence Fluide et Plasma

I Structures et Turbulence en Magnétohydrodynamique

Turbulence MHD
Effet dynamo
Vent Solaire
Turbulence et structures dans les plasmas spatiaux
Atmosphère solaire

II Transport et transfert turbulents

Dynamique de particules de grandes tailles dans des écoulements turbulents
Transport turbulent dans l'atmosphère : fluctuations et phénomènes extrêmes
Diffusion et thermodiffusion

III Physique statistique hors équilibre

Troncature de Galerkin
Reconstruction de l'histoire dynamique de l'univers par la technique Monge-Ampere-Kantorovich (MAK)
Mécanique quantique non linéaire

IV Calcul haute performance et algorithmes

Développement d'outils de calcul haute performance et interfaçage de codes hydro/particules
Méthode de pseudo-pénalisation
Effet des Parois

V Projets d'enseignements

Masters d'enseignement 2012
Projet de la création d'un centre pédagogique pour le planète et l'univers" (C2PU)

Les thèmes principaux de recherche incluent le rôle et les propriétés de la turbulence dans les fluides ou les plasmas astrophysiques, géophysiques ou de laboratoire, la turbulence magnétohydrodynamique, le vent solaire, l'effet dynamo, les transports de particules dans des régimes turbulents, les flux thermiques, ainsi que des phénomènes hors équilibres, généralement lié à des interactions non linéaires. Notre recherche est intégrée dans les communautés scientifiques nationales et internationales de mécanique des fluides (GDR turbulence), MHD (GDR Dynamo) et de plasmas spatiaux (programme PNST). Un des thèmes de recherche est supporté par une bourse jeune chercheur de l'ERC: « Turbulent Transport in the Atmosphere: Fluctuations and Extreme Events » : <http://www.oca.eu/atmoflex>.

Ces travaux utilisent des outils théoriques et numériques, mais restent en relation étroite avec les expériences de laboratoire ou les observations spatiales. L'équipe s'est orientée en particulier vers l'utilisation du calcul intensif, en s'impliquant notamment dans la programmation parallèle, et le développement de nouveaux algorithmes et de modèles sous-mailles, avec en perspective l'utilisation des machines Petaflopiques (GENCI, PRACE) prochainement accessibles.

Cette expertise devrait être renforcée, notamment à travers un recrutement au CNRS ou à l'UNS. Des postes de Maître de conférences ou de Professeur qui seraient à l'interface entre la mécanique des fluides et l'astrophysique, ou dans la section de la physique de l'atmosphère représenteraient de très bonnes opportunités pour notre équipe. En effet le dernier recrutement date d'il y a plus de 5 ans, et la plupart des membres de l'équipe sont directeurs de recherche ou en âge de le devenir.

Nous avons plusieurs projets en communs avec des équipes de cette nouvelle UMR, notamment celles de planétologie et de physique stellaire, ainsi qu'une implication dans des projets instrumentaux, comme ASTEP-400 et un imageur. Les thématiques scientifiques de l'équipe relèvent de plusieurs instituts du CNRS (INSU, INSIS, INP). Nous souhaitons maintenir et mettre en valeur ces aspects interdisciplinaires dans cette nouvelle UMR, qui offre de multiples interactions possibles avec les autres thématiques. Cette interdisciplinarité représente une force, qui nécessite d'être soutenue par nos tutelles en terme de recrutements afin de stabiliser les jeunes chercheurs désireux de monter leur propre équipe.

Les membres de l'équipe sont aussi très actifs à travers leurs enseignements dans l'UFR Science de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, notamment dans les 2 futurs masters IMAG2E et MCS.

I Structures et Turbulence en Magnétohydrodynamique

Turbulence MHD

La turbulence MHD est généralement une modélisation à grande échelle des plasmas spatiaux et des phénomènes magnétiques des planètes telluriques. Nous envisageons d'atteindre des régimes hautement turbulents d'une part par des simulations directes (DNS), en utilisant les capacités Petaflopiques des ordinateurs français et européens (PRACE) et d'autre part de les comparer à une modélisation sous mailles (LES). Les dernières simulations MHD DNS atteignent des résolutions de l'ordre 1500^3 à 2024^3 , et des hauts nombres de Reynolds cinétiques et magnétiques. Dans ces

régimes, une nouvelle dynamique de dissipation a été mise en évidence (P. Mininni et al (2010)), où une instabilité de type Kelvin Helmholtz MHD enroule les nappes de courant ou de vorticité. Il est question de faire une étude détaillée de ces régimes qui auront un fort impact sur la dynamique non linéaire de nombreux plasmas spatiaux et milieux conducteurs naturels.

Effet dynamo

Afin de considérer des situations plus réalistes, les modes dynamo seront recherchés dans différentes géométries (cubiques, cylindriques ou sphériques) modélisées par une méthode de pénalisation implémentée dans notre code périodique parallèle de dynamo, le fluide étant contraint/pénalisé dans une géométrie donnée alors que le champ magnétique ne l'est pas.

D'autre part, l'utilisation de traceurs pour comprendre la structure eulérienne locale de l'écoulement le long d'une trajectoire sera utilisée pour comparer les propriétés de transport et l'efficacité de la production de la dynamo. Il s'agit notamment de comprendre, d'un point de vue lagrangien, l'effet de la force de Lorentz sur les fluctuations de vitesse à petite échelle. Il est à noter que l'ensemble de ce projet nécessite l'analyse d'un volume très important de données et l'utilisation de calculateurs massivement parallèles.

Vent Solaire

Parmi les questions ouvertes sur la turbulence MHD dans le vent solaire, figure la nature différente des fluctuations dans le vent lent et le vent rapide, qui sont observés dans le plan de l'écliptique. Nous nous proposons donc d'étudier ces différents vents du point de vue des transferts énergétiques dans la cascade turbulente, et des effets de la compressibilité sur le taux de transfert. La situation dans l'écliptique est cependant compliquée par les fronts et les zones de chocs qui séparent les différents types de vent, et qui devront être filtrés des données ou pris correctement en compte, du point de vue des effets de la compressibilité.

Une autre question intéressante sont les effets de l'Alfv nicit , ou des corrélations entre vitesse et champ magnétique, qui sont de nature différente dans les vents lents et rapides, ce qui pourrait s'expliquer par un effet plus important du champ magnétique moyen dans ce dernier cas, et donc à une bi-dimensionnalisation de la turbulence, et une inhibition des transferts d'énergie. Nous cherchons actuellement à mettre en évidence cette bi-dimensionnalisation de manière indirecte, vu que les mesures satellitaires ne donnent accès qu'aux fluctuations le long d'une seule direction spatiale, alignée sur le vent solaire moyen.

Turbulence et structures dans les plasmas spatiaux

Nous nous proposons d'étudier les phénomènes non linéaires mis en jeu dans la dynamique des plasmas de l'environnement Soleil-Terre, où l'on observe à la fois des régimes d'auto-similarité caractérisés par des lois de puissances, et des structures de diverses natures (solitons, tubes ou nappes de courant, chocs, trous ou pics magnétiques). Nous porterons plus particulièrement notre effort sur l'étude de la cascade turbulente des fluctuations magnétiques au voisinage des échelles ioniques où le spectre d'énergie présente un brusque changement de pente qui a récemment fait l'objet d'études observationnelles détaillées. A ces échelles, à la fois les phénomènes dispersifs et les résonances ondes particules sont importants, et divers mécanismes physiques ont été évoqués pour interpréter cette transition qui reste néanmoins encore un problème largement ouvert. Nous nous proposons d'étudier ce phénomène au moyen de simulations tridimensionnelles du modèle dit FLR-Landau fluide que nous avons développé ces dernières années. Cette description retient, outre les non linéarités de type hydrodynamique, les phénomènes cinétiques basse fréquence tels l'effet Landau et les corrections de rayon de Larmor fini jusqu'à des échelles transverses comparables ou inférieures à l'échelle de giration des protons. Une des questions qui sera abordée concerne le rôle de la dissipation Landau et l'identification des modes dominants de la cascade à l'échelle ionique. Nous examinerons également la pertinence de l'approximation gyrocin tique qui élimine les ondes rapides supposées rester faiblement non linéaires. Intensivement utilisée pour les plasmas de fusion, cette approche a récemment été étendue aux plasmas spatiaux où l'absence de phénomènes fortement non linéaires haute fréquence reste à démontrer.

Une propriété importante des plasmas spatiaux est la présence d'anisotropies de températures ainsi que leur régulation par les instabilités miroir ou firehose oblique récemment mise en évidence dans le vent solaire. Le modèle FLR-Landau fluide fournit actuellement la seule description de type hydrodynamique permettant d'aborder le problème de cette saturation spontanée. Des calculs préliminaires unidimensionnels (le long d'une direction quasi-transverse par rapport au champ magnétique ambiant) nous ont permis de montrer que la turbulence peut contribuer au chauffage anisotrope du plasma et que celui-ci est effectivement régulé par les instabilités identifiées observationnellement. Ce travail sera poursuivi, en particulier par la réalisation de simulations tridimensionnelles.

Concernant les structures cohérentes, nous nous intéresserons tout particulièrement à la dynamique des modes miroir pour lesquels de nombreuses questions restent posées, en particulier la modélisation du phénomène de piégeage et de son effet sur la dynamique. Nous prévoyons également de simuler à trois dimensions les équations asymptotiques que nous avons précédemment dérivées en collaboration avec E. Kuznetsov (Moscou) et P. Hellinger (Prague), afin

d'étudier en détail la géométrie de ces structures pour lesquelles le caractère multi-satellite de la mission CLUSTER a permis des observations détaillées.

La propagation d'ondes d'Alfvén dispersives dans un milieu présentant des fluctuations de densité pouvant prendre la forme de profondes cavités mérite une étude approfondie afin de comparer l'efficacité de la dissipation par mélange de phase résultant de la formation de petites échelles dans les cas fortement ou faiblement dispersifs (dépendant du rapport de la longueur d'onde à la longueur inertielle des protons). Ainsi que nous l'avons récemment montré au moyen de simulations Landau-fluide, la dispersion est capable d'arrêter la formation de petites échelles dans certaines directions mais conduit, lorsque la géométrie tridimensionnelle est prise en compte, à la formation de structures complexes et de taille relativement étendue. Par la prise en compte d'un faible niveau de collision dans le modèle Landau-fluide, nous nous proposons d'estimer l'influence d'un tel effet sur le chauffage du plasma. Les paramètres choisis pour cette étude seront adaptés à la couronne solaire pour laquelle ce nouveau mécanisme est potentiellement intéressant, ainsi qu'aux régions aurorales, pour lesquelles les effets d'inertie des électrons doivent être rajoutés afin d'atteindre le régime à très faible bêta, des ondes d'Alfvén inertielles. Ce projet sera mené en collaboration avec V. Génot (Toulouse), F. Mottez (Meudon) et D. Borgogono (Turin).

La reconnexion magnétique est un problème important aussi bien sur le plan fondamental qu'au niveau de ses conséquences, tant pour la fusion magnétique que pour la dynamique des plasmas astrophysiques (chauffage de la couronne solaire, perméabilité des frontières naturelles telles la magnétogaine terrestre, ...). Une des caractéristiques principales de cet effet est le couplage des échelles cinétiques (usuellement électroniques) où le phénomène est initialisé et les très grandes échelles affectées par les changements de topologie des lignes de champ. Entre les modèles asymptotiques couramment utilisés et les simulations totalement cinétiques extrêmement lourdes du point de vue des moyens numériques nécessaires, une voie intermédiaire est fournie par l'approche Landau fluide. Ce formalisme devrait fournir une description des échelles grandes ou de tailles comparables aux échelles ioniques. Un projet à plus long terme consistera à coupler ce modèle à des simulations purement cinétiques des échelles électroniques où agissent les mécanismes de dissipation. Une collaboration avec M. Faganello et F. Califano (Pise) et D. Borgogono (Turin) est en cours sur ces sujets.

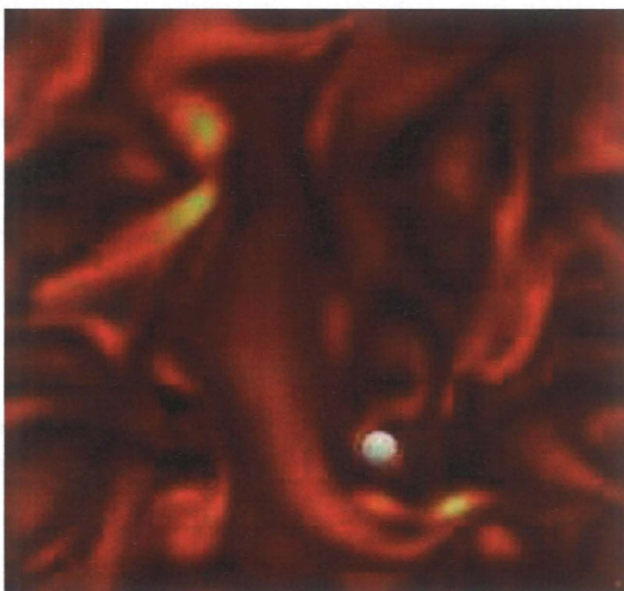
Les projets discutés ci-dessus nécessitent l'utilisation de simulations numériques de grande taille mettant en œuvre des algorithmes parallèles. Des développements sont prévus pour transformer des codes calculant efficacement sur quelques dizaines ou centaines de processeurs aux architectures massivement parallèles nécessaires pour aborder les régimes de turbulence développée.

Atmosphère solaire

La mesure des champs magnétiques de l'atmosphère solaire se fait par l'analyse de la polarisation des raies spectrales. La majorité de la surface solaire est couverte par des champs magnétiques faibles. Les raies qui sont particulièrement bien adaptées pour les mesurer sont formées par diffusions multiples de photons. En absence de champ magnétique, le calcul de la polarisation à la surface peut se formuler comme un problème non-linéaire, plus simple à résoudre numériquement que les équations linéaires usuelles décrivant la polarisation du rayonnement. L'extension de cette méthode au cas avec champ magnétique et la rédaction d'une monographie sur les méthodes analytiques exactes pour l'étude des processus de transport de photons en milieu semi-infini sont les principaux projets.

II Transport et transfert turbulents

Dynamique de particules de grandes tailles dans des écoulements turbulents



De nombreuses situations géophysiques, astrophysiques, biologiques et industrielles impliquent le transport de particules de taille finie par un écoulement turbulent développé. La modélisation de leur mouvement reste une question ouverte, notamment lorsqu'elles ont des tailles aux échelles inertielles de l'écoulement. Nous attaquons numériquement ce problème en utilisant des simulations spectrales directes de la turbulence homogène isotrope dans lesquelles les conditions de bord à la surface des particules sont implémentées par une méthode de pseudo-pénalisation. Cette démarche nécessite d'effectuer des simulations à très haute résolution pour garantir une séparation d'échelles suffisante entre le forçage, la taille des particules et l'échelle de dissipation visqueuse du fluide. Cette étude est le pendant numérique de nombreux travaux expérimentaux menés en ce moment en France (ENS Lyon, LEGI Grenoble) et à l'étranger (Goettingen en Allemagne et Cornell aux

Etats-Unis). Les détails rendus accessibles par une approche numérique apporteront un complément d'information indispensable à cet effort international.

Transport turbulent dans l'atmosphère : fluctuations et phénomènes extrêmes

Une majeure partie des processus physiques et chimiques ayant lieu dans l'atmosphère implique le transport turbulent de petites particules. Les outils actuels de modélisation utilisent une formulation en termes de champ moyen, dans laquelle les fortes variations des propriétés dynamiques et statistiques des particules sont négligées et où les fluctuations sous-jacentes de l'écoulement fluide sont abusivement simplifiées. Concevoir une compréhension détaillée de l'influence de la turbulence de l'air et des fluctuations extrêmes qu'elle génère sur la phase dispersée reste à ce jour un véritable défi.

Dans le cadre d'un projet financé par une *starting grant* de l'ERC, nous comptons coordonner et intégrer des efforts théoriques, numériques, expérimentaux et observationnels pour développer une nouvelle compréhension statistique du rôle des fluctuations dans certains processus ciblés de transport atmosphérique. Il s'agit de la dispersion de polluants à partir d'une source, de la croissance par condensation et coagulation de gouttelettes et de cristaux de glace dans les nuages, de la déposition et re-suspension d'aérosols et des effets radiatifs des particules suspendues dans l'atmosphère. Les retombées attendues de ce projet sont entre autres de fournir un nouveau cadre pour l'amélioration et le raffinement des méthodes utilisées en météorologie et en sciences de l'atmosphère, et de répondre à la question largement ouverte des effets directs et indirects des aérosols sur le climat.

Diffusion et thermodiffusion

Collaboration: LERMA-ERGA (Paris-6)

Les travaux effectués sur les processus stochastiques appliqués au transport de matière (diffusion et thermodiffusion) auront des prolongements naturels dans les directions suivantes :

- La diffusion en géométrie courbe dans le domaine galiléen, avec des applications potentielles en biologie (diffusion latérale sur membranes cellulaires). L'étude analytique et numérique des effets extrinsèques (effet de projection, existant même sur des surfaces de courbure riemannienne nulle, comme les cylindres) et des effets intrinsèques (n'existant que sur des surfaces de courbure riemannienne non nulle) est le premier pas dans cette direction: nous espérons le franchir au cours des quatre années qui viennent.
- La diffusion en espace-temps courbe, avec des applications potentielles en astrophysique. L'une des questions cruciales que nous comptons aborder dans ce domaine est de déterminer les conditions à remplir pour que les effets intrinsèquement liés à la courbure de l'espace-temps au voisinage d'un objet massif deviennent notables.
- La diffusion relativiste en temps court. Les travaux effectués au cours des quatre dernières années sur la diffusion galiléenne en temps court appellent un prolongement dans le domaine de la Relativité restreinte. Or, cette question pose des problèmes mathématiques beaucoup plus difficiles que dans le cas galiléen. Nous comptons tenter de résoudre ces problèmes au cours des quatre prochaines années.

III Physique statistique hors équilibre

Troncature de Galerkin :

Récemment nous avons découvert le phénomène de "tigre" en fluide parfait avec troncature de Galerkin: quand on intègre numériquement les équations d'Euler ou de Burgers avec une troncature de Galerkin à un nombre d'onde élevé, il apparaît des oscillations parasites, non pas à proximité immédiate des structures fines (chocs, nappes de vortécité, etc) mais dans des zones a priori parfaitement dénuées de structures fines et cela par un phénomène d'interaction non linéaire résonnante d'ondes (de troncature). L'énergie perdue, par exemple dans les chocs, se retrouve dans ces structures oscillantes appelés « tigre » en raison de "fearful symetry" (au sens de William Blake) entre description conservative et dissipative. Les mathématiques de la naissance des tigres sont difficiles (comparables peut être à celles de l'amortissement Landau non linéaire). Il y a d'intéressantes perspectives en matière de paramétrisation des petites échelles par avortement sélectif des tigres.

Reconstruction de l'histoire dynamique de l'univers par la technique Monge-Ampere-Kantorovich (MAK)

Pour dépasser l'approximation de Zel'dovich, nous utiliserons la technique de perturbation lagrangienne de Moutarde et al., ce qui permet d'avoir une application lagrangienne inverse dérivant d'un potentiel convexe et donc d'utiliser le transport optimal à la Brenier. Une amélioration significative dans la détermination des vitesses particulières des galaxies est attendue.

Mécanique quantique non linéaire

Collaboration OCA, LAOG (Grenoble), CEA (Saclay & Grenoble), Université d'Islande & Université de Francfort (Allemagne): recherches sur les gaz de bosons chargés électriquement et confinés harmoniquement en géométrie

sphérique 3D. Objectifs: i) transition quantique-classique ne faisant intervenir que la non-linéarité du système et non la décohérence; ii) existence d' "états propres non-linéaires" (EPnl) à la fois mixtes et stationnaires; iii) probabilité de transitions entre ces EPnl de l'ordre de grandeur de la constante de structure fine dans un modèle non-relativiste.

IV Calcul haute performance et algorithmes

Développement d'outils de calcul haute performance et interfaçage de codes hydro/particules.

Nous avons en projet de construire une bibliothèque en C++ qui permettra de résoudre de nombreux problèmes de physique, en simulant des équations différentielles partielles (PDE) avec des méthodes pseudo-spectrales dans différentes géométries (cube périodique, plaque, tore ou sphère). Cette bibliothèque sera offerte à la communauté scientifique et nous espérons commencer une synergie, où les utilisateurs pourraient développer leurs propres outils et augmenter la gamme de module de la bibliothèque SpecTLib. Elle permettra d'effectuer des calculs intensifs sur tout type d'architecture, allant du simple ordinateur portable au calculateur Petaflopiques. Notre bibliothèque comprendra des diagnostics « à la volée », capable de réduire la quantité de données, qui sont impossibles à sauvegarder notamment avec une transformation en ondelette et une sélection énergétique des structures des champs calculés.

Une interface sera conçue pour envoyer des données dans des modules de diagnostic avancé ou d'autres codes (ie trajectoires lagrangiennes, visualisation ...) qui tourneront sur des nœuds de calculs indépendants à l'espace réservé pour le calcul fluide, se qui permet de paralléliser les tâches et répartir la charge. Ce projet pourrait faire l'objet d'une demande ANR.

Méthode de pseudo-pénalisation

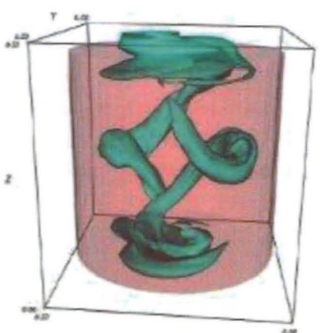


Dynamique de particules de taille finie : Nous avons étudié le transport par un écoulement turbulent de particules sphériques de même densité que le fluide et dont la taille est de l'ordre de l'échelle de Kolmogorov. Nous avons pour cela adapté la méthode spectrale de pseudo-pénalisation proposée par R. Pasquetti et al. (*Appl. Numer. Math.* **58**, 946, 2008) de manière à intégrer simultanément la dynamique de la particule et du fluide. Une telle méthode donne un moyen unique d'étudier la validité des modèles de particules ponctuelles utilisés dans les contextes applicatifs. Des simulations hautement résolues nous ont montré: les corrections de Faxén reproduisent bien les effets de taille finie sur les fluctuations de vitesse et d'accélération pour des diamètres de particules n'excédant pas quatre fois l'échelle de Kolmogorov.

Effet des Parois :

La même méthode est utilisée pour inclure des parois ou une géométrie contrainte (cube, sphère, cylindre) dans un cube périodique. L'effet de ces géométries sur le seuil de la dynamo a été notamment exploré. Ce qui permettra d'approcher les contraintes géométriques présentes dans les expériences de magnétohydrodynamique dans les métaux liquides et de s'affranchir des modes présents uniquement dans des géométries périodiques.

Il est aussi question d'améliorer la technique de pseudo-pénalisation pour augmenter la précision au niveau des parois qui n'est pour l'instant que du premier ordre.



V Projets d'enseignements

Masters d'enseignement 2012:

L'équipe est à l'origine de la création d'un module d'enseignement commun à deux maquettes de masters de l'UFR science de l'Université de Nice-Sophia prévu pour 2012. Le premier est un «Master de modélisation des systèmes physique de calcul scientifique», destiné à former les étudiants aux techniques de simulation et de modélisation des problèmes physiques. Le second est un «Master Modélisation et Imagerie appliquées à la Terre et ses Ressources, l'Environnement et l'Astronomie ». Son objectif est de former des experts en traitement du signal et modélisation appliqués non seulement à notre environnement proche: la Terre et ses ressources, mais aussi à notre environnement lointain: l'astronomie. Les membres de l'équipe ont prévu d'enseigner plus particulièrement la physique de la

turbulence (20h), les modèles de la turbulence (20h) et le transport et la dispersion (20h) dans ce module, mais nous interviendrons dans d'autres modules des deux masters en enseignant, la MHD et les plasmas et l'analyse numérique.

Projet de la création d'un centre pédagogique pour le planète et l'univers" (C2PU):

Il s'agit de mettre en place une structure d'accueil fixe pour des activités de travaux pratiques universitaires en astronomie, optique et géophysique, sur le site de Calern de l'OCA. Le projet est basé sur la modernisation de deux télescopes de 1 mètre de diamètre présents sur ce site, sur la logistique d'hébergement locale ainsi que sur la structure géologique particulière des environs. Les étudiants de master de l'UNS ou d'autres établissements pourront y effectuer des séjours plus ou moins longs, au cours desquels ils collecteront des données astronomiques ou géophysiques et en effectueront sur place le traitement et l'analyse. Ce projet va au delà de l'enseignement universitaire. En effet, l'installation pourra être accédée et manipulée à distance, ce qui offre de vastes possibilités en matière d'activités scientifiques pédagogiques à divers niveaux pré-universitaires.

Annexe 5 : Traitement du Signal et des Images

1. Traitement du signal et des images

- Reconstruction-Déconvolution
- Reconstruction pour l'interférométrie
- Décision-estimation statistique
- Méthodes non paramétriques
- Méthodes paramétriques

2. Concepts Optiques Pour l'Astronomie

- Optique Atmosphérique
- Modélisation numérique en optique adaptative

Les activités scientifiques prospectives de l'équipe MATIS peuvent se décomposer en deux grands sous thèmes, un premier thème Traitement du Signal et des Images (TSI) et un second thème plus instrumental dédié aux concepts optiques pour l'astronomie (COPA), les activités liées à COPA dans MATIS sont cependant très « guidées » par des préoccupations signal et image, comme le corroborent les nombreuses publications inter-thématique, ceci étant la raison de leur rattachement à MATIS. Nous décomposons cependant la prospective de MATIS en TSI et COPA :

1. Traitement du signal et des images

Il apparaît que les thématiques TSI présentées dans le bilan se regroupent tout en s'ouvrant sur de nouvelles perspectives. Nous pouvons les décomposer en deux grands thèmes de TSI que sont la « reconstruction » et la « décision-estimation » dont les sous-thèmes sont imbriqués, guidés par les applications en sciences de l'univers : reconstruction d'images astrophysiques, exploitation de données multi-hyperspectrales, données manquantes etc...

Reconstruction-Déconvolution

La reconstruction d'images et d'objets en général est une grande thématique de traitement du signal dont l'intérêt est crucial pour toute donnée issue d'un système d'observation tel que l'instrumentation optique. On retrouvera dans cette thématique toutes les problématiques liées aux problèmes inverses, mais également la modélisation parcimonieuse, directement liée aux données interférométriques, troisième sous-thème. Il est à noter que des préoccupations sont communes avec la thématique « décision-estimation »

-Problèmes inverses

Cette thématique est très ancienne dans le laboratoire et l'expertise dans ce domaine est reconnue. Nous souhaitons élargir les problématiques théoriques liées à la déconvolution aveugle, ce domaine, extrêmement vaste au niveau applicatif, est directement lié aux sous thématiques parcimonie et interférométrie. On peut formaliser la déconvolution aveugle dans un cadre plus général de TSI appelé NMF (Non-Negative Matrix Factorization). L'idée est de restreindre l'espace des solutions en imposant des contraintes (flux, positivité, parcimonie) sur les objets à reconstruire, ces contraintes peuvent être liées à la physique du problème. Ceci conduira inévitablement à l'élaboration d'algorithmes d'optimisation sous contraintes avec étude de convergence et de coût calculatoire.

-Modélisation parcimonieuse

Ce domaine de recherche connaît un regain d'activité extrêmement vif dans le cadre du Compressed Sensing, autant au niveau des avancées théoriques qu'au niveau des applications pratiques très nombreuses : débruitage, compression, reconnaissance de formes, l'inter-/extra-polation de données manquantes, déconvolution. Les deux axes de recherches suivants, très imbriqués, basés sur des modèles parcimonieux, seront poursuivis et sont liés aux applications hyperspectrales et données manquantes liées à l'interférométrie. Dans les deux cas on s'intéressera à l'optimisation du choix des dictionnaires, comparaison des approches par analyse et synthèse et aux algorithmes d'optimisation associés. Pour la reconstruction en interférométrie, une question très intéressante est l'étude de l'influence de la fonction d'échantillonnage dans le plan de Fourier sur la reconstruction, ceci étant en aval du choix du placement des pupilles. Pour l'hyperspectral, un développement intéressant est l'étude des probabilités de détection associées aux structures spectrales apparentes.

Reconstruction pour l'interférométrie

Ce sous-thème a une visée applicative directement en lien avec les deux sous-thèmes précédents mais aussi avec les concepts instrumentaux. Cette prospective a deux ambitions principales : la première est de réduire la sous-détermination du problème de reconstruction en interférométrie, en utilisant les résultats sur les représentations parcimonieuses - de premiers résultats apparaissent très prometteurs, la seconde est d'étudier une régularisation chromatique permettant de mieux contraindre les reconstructions d'image obtenues dans plusieurs canaux spectraux. En formulant mathématiquement les dépendances et variations spectrales attendues, ceci nous permettra, d'une part, de réduire l'espace des paramètres libres pour ce problème inverse fortement sous-contraint, et d'autre part de fournir des solutions physiquement représentatives pour l'interprétation scientifique des observations interférométriques à plusieurs longueurs d'onde. Parmi les applications les plus significatives pour notre laboratoire figurent l'imagerie de disques protostellaires et protoplanétaires, l'astérosismologie, les binaires interactives et les environnements stellaires évolués. Des développements corollaires concernent la caractérisation et l'utilisation optimale des données spectro-interférométrique disponibles ou à venir: distribution statistique des biais et des erreurs, corrélations entre les canaux spectraux, prise en compte des visibilités et phases différentielle dans le processus itératif de reconstruction. Nous souhaitons les appliquer à des cas concrets d'observations afin de les comparer aux méthodes utilisées jusqu'à présent.

Décision-estimation statistique

Les Sciences de la Planète et de l'Univers se caractérisent aujourd'hui par des mesures observationnelles dont la complexité ne cesse de croître. Ce fait est lié, d'une part aux systèmes étudiés eux-mêmes - acquisition simultanée de données sur des gammes d'échelles étendues -, d'autre part aux développements instrumentaux associant des mesures de grandeurs physiques différentes avec une résolution accrue et de nouveaux paramètres d'étude. L'élaboration de stratégies de surveillance s'accommodant de telles contraintes nécessite d'excellentes compétences dans le domaine des méthodes de décision - estimation appliquées aux systèmes stochastiques, éventuellement dynamiques. Au cours prochain contrat quadriennal, l'équipe MATIS entend approfondir son expertise en la matière par l'étude de solutions répondant à un large spectre d'hypothèses, quant à la nature notamment des informations a priori dont on dispose sur le système étudié. Des stratégies moins contraignantes aux plus restrictives en termes d'hypothèses, on peut alors décomposer en « méthodes non paramétriques » reposant sur un apprentissage, éventuellement en ligne et « méthodes paramétriques » éventuellement séquentielles, nécessitant une connaissance relativement fine des lois statistiques régissant le système.

Une application « fil conducteur » sera privilégiée pour initier de nouveaux développements méthodologiques en traitement des informations de nature astronomique : l'imagerie hyperspectrale. Cette technologie vise à acquérir des images dans des centaines de bandes spectrales contigües, avec une résolution suffisante pour résoudre la variabilité naturelle d'une scène.

Méthodes non paramétriques

Parmi les questions ouvertes en imagerie hyperspectrale, celle de la segmentation s'avère centrale puisqu'on cherche à y isoler les objets d'intérêt présents dans les images. Elle peut être abordée comme un problème de reconnaissance des formes impliquant des sources statistiquement dépendantes et combinées de façon non linéaire. Ainsi ce contexte défavorable, renforcé par la grande dimensionnalité des données, pose-t-il de nombreuses questions théoriques et de mise en œuvre : algorithmes apprentissage supervisés ou non, parcimonie, choix d'un espace de représentation - noyau reproduisant adapté à la physique, prise en compte d'a priori, traitement de masses de données, etc.

Méthodes paramétriques

Certaines des réponses actuelles à ces questions, comme celle de la parcimonie du modèle ou de l'élaboration du noyau, peuvent être reformulées sous l'angle de la modélisation Bayésienne qui prend en compte les différents a priori du problème, comme la présence de corrélation spatiale ou la parcimonie, par le biais de modèles statistiques bien établis. Dans ce contexte, l'estimation repose sur les techniques de simulation stochastique de type Monte Carlo par chaînes de Markov et les méthodes variationnelles qui visent à approcher la loi a posteriori. L'expertise en modélisation et estimation statistique de l'équipe sera ainsi valorisée par une orientation vers ces nouvelles problématiques.

2. Concepts Optiques Pour l'Astronomie

Les activités COPA de MATIS sont clairement décomposées en deux parties distinctes que sont « l'optique atmosphérique » et « l'optique adaptative ». Comme dit en préambule de l'équipe MATIS, le fil conducteur est l'interaction forte entre ces thématiques et « l'expertise » TSI de l'équipe. Une troisième partie concerne les activités instrumentales liées à la coronographie : elles sont présentées dans l'annexe 6.

Optique Atmosphérique

L'« optique atmosphérique » désigne les effets de la turbulence atmosphérique sur les observations astronomiques dans le domaine optique. Elle est à la fois un outil pour l'observation et un domaine de recherche faisant appel à des spécialités externes comme la météorologie et la géophysique de l'atmosphère. Elle se développe selon plusieurs axes :

- la recherche sur la turbulence optique proprement dite avec des outils pour la caractériser (dits « profileurs ») et des travaux théoriques pour la décrire et la prédire.
- l'étude des liens entre l'optique atmosphérique et la spécification et l'optimisation des instruments HRA et de leur fonctionnement (interféromètres optiques et ELT : cophasage, recombinaison, optimisation des sous-systèmes, dont l'optique adaptative.
- la caractérisation des sites astronomiques, la prédiction de leurs potentiels et l'optimisation de leurs utilisations.

Recherche sur la turbulence optique

A côté de la panoplie importante de sondeurs de la turbulence atmosphérique (DIMM, GSM, SCIDARs, ballon, mats instrumentés, SODAR...) que nous avons développée et testée, il nous reste à mettre au point des outils de mesures faciles de l'échelle externe et de profils du CN2 et en particulier le profileur de bord lunaire (PBL) que nous venons de terminer et que nous allons installer au Dôme C et tester à Paranal auprès du VLTI. Nous devrions alors avoir un grand nombre de mesures de profils verticaux de la turbulence atmosphérique nous permettant de modéliser complètement tous les paramètres intervenant dans les instruments de HRA.

En parallèle nous travaillons sur la prévision du seeing en améliorant la paramétrisation de la turbulence optique ainsi que la résolution spatiale de nos modèles (100x100 m en horizontal et 100 niveaux verticaux). On utilisera la base des données au sol où nous avons déjà collecté des mesures de seeing et des profils verticaux de la turbulence optique. Nous étendrons notre étude vers de nouveaux sites comme le Dôme C et le Dôme A en Antarctique et les plateaux du Tibet pour la future implantation d'un ELT Chinois, en collaboration avec l'équipe de Yongqiang Yao (NAOC-CAS, Pékin). Nous collaborerons aussi avec l'équipe de Alex Mahalov de l'Université d'Arizona (ASU) sur des modèles Large Eddy Simulation, non basés sur une paramétrisation de la turbulence.

Après avoir montré les limites de validité des théories de Kolmogorov, Obukhov et Yaglom pour un traceur tel que la température et avoir proposé une nouvelle théorie des "laminae", nous approfondirons cette approche pour donner une théorie de la chronologie de l'apparition des ces laminae.

Optimisation des paramètres instrumentaux

Avec des profils verticaux complets de la turbulence atmosphérique, nous pouvons utiliser le modèle analytique que nous avons développé pour prédire les performances du cophasage mono et multi pupille notamment sur des sources hors axes. Cet outil sera testé et utilisé à Paranal avec le mode PRIMA du VLTI et nous nous en servirons pour prédire la « couverture du ciel » des modes de guidage hors axes pour les ELT et les interféromètres dans tous les sites astronomiques classiques et antarctiques. C'est là un élément déterminant pour permettre à l'interférométrie optique d'atteindre le même type de magnitudes que les ELT et de compléter ainsi leurs programmes astrophysiques dans le domaine extra galactique et cosmologique.

Par ailleurs il reste beaucoup à faire pour calculer à partir des informations atmosphériques, les paramètres optimaux des instruments comme MATISSE sur le VLTI (temps de pose, précisions des visibilités absolues...).

Notre modélisation de l'atmosphère alimente nos simulateurs d'optique adaptative de différents types décrites ci-dessous (GLAO pour les cas dominés par la couche limite, XAO pour la coronographe, MCAO pour un meilleur champ). Ceci permettra un meilleur dimensionnement des futurs systèmes d'optique adaptative, particulièrement ceux qui équiperont les ELTs.

Nous travaillons aussi sur les structures turbulentes à l'échelle d'un ELT et de son dôme. En effet, le comportement des fronts à grandes échelles (taille des ELTs) est encore mal connu. Les spécifications de tels instruments passent forcément par une meilleure des fonts d'onde. Nous allons nous appuyer sur des mesures interférométriques en multi-base (VLTI) pour modéliser la turbulence à grandes bases. Ces observations seront appuyées par nos sondeurs de la turbulence.

Nous pouvons aussi utiliser notre expérience ancienne dans la modélisation des speckles et nos résultats plus récents sur les résidus d'optique adaptative pour améliorer l'extraction de signaux à haute dynamique (planètes ou disques de débris) dans des expériences coronagraphiques, comme SPHERE ou EPICS (*mettre éventuellement cela à la fin de l'annexe 6*).

Caractérisations et optimisation des sites astronomiques

Au delà du travail sur Paranal, nous allons intensifier notre collaboration avec l'équipe chinoise évoquée plus haut pour déterminer le meilleur site astronomique au Tibet, non seulement à l'aide de modèles mais aussi par des mesures in situ à l'aide de moniteurs tels que le DIMM et le SSS où nous avons une expertise mondiale. Cette collaboration nous ouvre aussi une porte pour l'exploration du Dôme A, essentiellement conduite par la Chine.

Nous continuerons l'étude du site du Dôme C pour caractériser ses propriétés photométriques, à diverses longueurs d'onde, qui restent mal connues.

Maintenant que les sites des futurs ELTs ont été sélectionnés, nous sommes sollicités pour mener dans les années à venir des campagnes intensives pour finaliser la caractérisation de ces sites. Les données collectées lors ces campagnes serviront au dimensionnement des systèmes d'optique adaptative. En outre, si l'on veut optimiser les performances des ELTs, il est important de prendre en compte la turbulence due à l'environnement immédiat du télescope. Dans la cadre d'une collaboration avec l'ESO, nous sommes en train de mener une étude de caractérisation de la couche de surface (CS). Un concept instrumental a été proposé à l'ESO pour la caractérisation de cette CS. Nous sommes en train de mener des mesures avec un prototype pour valider la faisabilité de ce concept. Dans les années à venir nous allons mener des campagnes de mesures sur le site du futur ELT européen pour caractériser la CS qui servira à la définition de la coupole du télescope pour minimiser les effets de la turbulence locale.

Modélisation numérique en optique adaptative

La modélisation numérique fine en optique adaptative combine techniques de traitement du signal et le l'information (TSI) informations sur la turbulence atmosphérique (optique atmosphérique) et méthodes physiques pour l'observation (MPO). Notre équipe est active sur plusieurs thèmes prospectifs que nous comptons développer dans les années à venir:

- Miroirs adaptatifs pour l'E-ELT. Suivant une collaboration déjà existante sur la modélisation numérique en OA avec A. Riccardi de l'INAF-OAA, il s'agit d'effectuer une amplification de celle-ci autour du problème spécifique des miroirs adaptatifs pour l'E-ELT. Ces miroirs requièrent l'augmentation de la surface correctrice d'au moins un ordre de grandeur (et d'autant en termes de nombre d'actuateurs), par rapport à la technologie actuelle utilisée avec les télescopes de la classe 8 mètres dans le cadre des miroirs secondaires adaptatifs. La complexité accrue requiert un modèle précis et fiable du correcteur impliqué, modèle pouvant permettre d'aborder, d'analyser et de résoudre les problèmes spécifiques rencontrés par ce type particulier de miroirs, son évolution par rapport à ces prédécesseurs de la classe 8m et son intégration au dessin optique de l'E-ELT (segmentation, miroir hors plan pupille du télescope, saturation des actuateurs de force).
- OA au Dôme C. Il s'agit ici de ne pas perdre l'opportunité d'exploiter au mieux les dernières mesures optiques provenant des campagnes de qualification de la turbulence au dessus du site du dôme C afin d'en tirer toutes les conclusions nécessaires à l'étude ultérieure complète, du moins vis-à-vis de la turbulence atmosphérique, d'un télescope visible/proche-infrarouge qui pourrait être le prochain instrument optique à installer sur ce site.
- Commande en OA : cette thématique est dédiée à l'étude de méthodes de commande systématiques et efficaces pour l'Optique Adaptative (OA). L'objectif sera d'exploiter l'information limitée ou 'incertitudes' du système d'OA en utilisant des méthodes de commande robuste multivariable, solutions efficaces pour des problèmes spécifiques (commande multicritère, commande des systèmes soumis à des saturations, commande des systèmes à retard). Cette étude pourrait apporter une réponse à la gestion en force/saturation des actionneurs abordé en

(1)(a). Nous prévoyons également d'utiliser notre expertise sur les espaces à noyaux reproduisant dans le cadre de la commande non linéaire.

- Prospective Imagerie post-OA

- **Contrainte de Strehl.** Les potentialités de l'algorithme de déconvolution myope avec contrainte de Strehl ont été récemment démontrées sur des données simulées. Il s'agit maintenant de le proposer et de l'appliquer à des données post-OA réelles et a priori de toute sorte (images, spectres), afin de l'éprouver et de tenter ainsi d'optimiser le rendement scientifique des données ainsi traitées, surtout lorsque le rapport de Strehl lié à l'objet observé n'est pas particulièrement élevé et/ou qu'une PSF suffisamment semblable (c'est-à-dire présente dans le champ isoplanétique et enregistrée de manière simultanée) n'est pas disponible pour une déconvolution simple. C'est le cas par exemple d'observations spectroscopiques avec NAOS-CONICA (VLT) de disques proto-planétaires d'étoiles Herbig Ae/Be obtenues au VLT dans le cadre d'une collaboration avec É. Habart (IAS).
- **Super-résolution.** L'algorithme de super-résolution proposé nécessite d'être testé en fonction du rapport de Strehl et du rapport signal-à-bruit caractérisant les données post-OA considérées. En effet, on doit s'attendre à ce que ces deux facteurs limitent très sensiblement son domaine d'application. Cette étude sera effectuée en collaboration avec les collègues de l'Università di Genova. La préparation d'un (ou de) programme(s) astrophysique(s) pertinent(s) permettant d'exploiter au mieux cette opportunité sera également effectuée. Les instruments pressentis sont SPHERE sur le VLT et LUCIFER sur le LBT pour la classe 8 m, à cause de la capacité des systèmes d'OA les accompagnants de produire, au moins en bande K, des rapports de Strehl a priori très élevés (0.8-0.9), mais également le LBT en mode interférométrique.
- **Reconstruction d'objets étendus post-OA et post-coronographe.** La déconvolution d'images post-coronographes d'objets étendus, à cause de la grande "space-variance" de la réponse impulsionnelle, n'est pas envisageable au sens propre. Il faudra dans ce cas étudier la possibilité d'appliquer, et avant tout de mettre en place, un algorithme de pseudo-déconvolution de ces données. Le tout avec une très claire application aux futures données qui seront obtenues par SPHERE.

Annexe 6 : Méthodes Physiques de l'Observation

- 1) *Spectro-Interférométrie*
- 2) *Développements conceptuels des systèmes interférométriques*
- 3) *Sous-systèmes d'interféromètres*
- 4) *Coronagraphie et Astrométrie chromatique différentielle*
- 5) *Optique atmosphérique*
- 6) *Spectroscopie*

De manière transverse aux thèmes astrophysiques présentés précédemment, le laboratoire se caractérise par des recherches amont dont les origines remontent aux travaux pionniers d'Antoine Labeyrie et de François Roddier en matière de caractérisation, modélisation et utilisation optimale de la cohérence des ondes issues des sources célestes. Depuis la prise en compte des besoins astrophysiques dans les spécifications d'un concept instrumental jusqu'aux analyses du problème inverse qui comprend la définition des mesurables et des protocoles d'observations, ces recherches s'appuient également pour les besoins sols sur l'expertise du laboratoire en termes d'optique atmosphérique et bénéficient d'une grande palette de collaborations nationales et internationales. Ces recherches en méthodes physiques pour l'observation s'articulent aujourd'hui autour de cinq thèmes principaux décrits ci-dessous.

1) *Spectro-Interférométrie*

Pratiquement tous les interféromètres et instruments focaux interférométriques développés sur la Côte d'Azur ont été des spectro-interféromètres. Notre spécificité est que l'analyse simultanée des mesurables interférométriques dans différentes longueurs d'onde apporte quantitativement et qualitativement plus d'informations que le traitement canal spectral par canal spectral grâce à une exploitation des différences en λ . Malgré une généralisation de plus en plus grande de cette approche, le sujet reste prospectif par plusieurs études que nous menons et comptons développer dans les années à venir:

- Les mesurables spectro interférométriques sont affectés d'artefacts spécifiques, qui sont en cours d'analyse dans le visible (VEGA) et dans le proche IR (AMBER) et que nous essayons d'anticiper pour l'IR thermique (MATISSE). Ces artefacts impliquent des outils et des protocoles de calibration particuliers. L'analyse spectroscopique des interférogrammes (spectro interférométrie) repose sur cinq observables : le spectre avec ses problèmes particuliers de calibration spectro-photométrique, la visibilité différentielle affectée par le jitter de piston, la phase différentielle dominée par la différence de marche chromatique et la clôture de phase, très sensible aux contaminations entre faisceaux interférométriques et dont la précision ultime est nécessaire pour les programmes de très haute dynamique. Ces problèmes pointent vers des architectures interférométriques, des caractéristiques instrumentales et des spécifications de cophasage particulières. Un problème particulièrement délicat commun à l'interférométrie au sol et à l'interférométrie annulante à très haute précision, et la maîtrise des différences de marche chromatiques que nous apprenons à modéliser et à calibrer (AMBER, MATISSE, PEGASE, DARWIN, FSI, bancs SIRIUS et PERSEE). En dernier recours les paramètres de ces artefacts devront être pris en compte parmi ceux des problèmes inverses.
- La prise en compte complète de la dimension polychromatique dans les problèmes inverses, ajustement de modèles et reconstruction d'image, reste en grande partie à finaliser malgré d'importantes avancées très récentes. La description des données et de leur biais doit prendre correctement en compte la couverture spectrale et la couverture du plan des fréquences spatiales. La prise en compte des mesures différentielles (découplage des erreurs différentielles et des erreurs absolues ou prise en compte des matrices de covariance) et des paramètres caractérisant leur biais (ecart-type du jitter et OPD chromatique paramétrée par les épaisseurs d'air sec, de vapeur, de CO₂...) permet de pousser les performances des méthodes d'ajustement de modèles nécessaires quand la quantité de données ne permet pas la reconstruction d'images ou lorsque l'on s'intéresse à ajuster des paramètres de modèles physiques et non plus seulement géométriques. Un travail de reconstruction d'image polychromatique (cubes α - δ - λ) a été entrepris mais beaucoup reste à faire. Cela ouvre notamment sur des méthodes de régularisation spatio spectrale, dont le formalisme est en cours d'écriture et qui pointe notamment vers la prise en compte des contraintes astrophysiques comme la contiguïté ou non des champs de vitesse, les relations distance-température ou espace-composition (cristallographie des disques...). Des liens évidents apparaissent donc avec les équipes thématiques pour la définition de ces contraintes. Par ailleurs, la combinaison de mesures différentielles et de médiocres couvertures du plan u-v rendent nécessaire et particulièrement prometteuses les méthodes de reconstruction d'images fondées sur de nouvelles représentations



des données à partir des bases dites «parcimonieuses». Les premiers résultats encouragent fortement à poursuivre dans cette voie notamment en liaison avec l'équipe Traitement du Signal et des Images.

- Certaines des possibilités scientifiques spécifiques de l'interférométrie différentielle ont été annoncées et évaluées il y a plusieurs années mais en sont à leur toute première application scientifique. Il s'agit notamment de la possibilité de mesurer les variations du photocentre d'objets non résolus en fonction de λ , dont on sait qu'elle donnera des informations sur des objets de 10 à 1000 fois plus petits que la résolution limite λ/B . En physique stellaire, la combinaison avec l'imagerie Doppler permettra de reconstruire des images de tâches stellaires ou de modes d'oscillations non radiales. On peut aussi étudier, comme c'est déjà le cas avec VEGA/CHARA, certains paramètres stellaires fondamentaux (diamètres, rotation, masse, distance) utiles en physique stellaire mais aussi en exo-planétologie et en cosmologie et enfin d'étudier la BLR des noyaux actifs de galaxies avec une analyse de la morphologie et de la cinématique et des mesures de distances à conséquences cosmologiques. Poursuivre la définition précise de ces programmes observationnels, à la fois par une meilleure connaissance des objets et une maîtrise forte des stratégies observationnelles et du potentiel des instruments est un de nos buts majeurs dans les années à venir.

2) Développements conceptuels des systèmes interférométriques

Après les époques pionnières des instruments d'équipe, l'interférométrie optique longue base est entrée depuis quelques années dans une nouvelle ère d'exploitation astrophysique beaucoup plus poussée et s'ouvrant progressivement au plus grand nombre. Le laboratoire reste investi très fortement dans la réflexion prospective amont dans ce domaine et notamment vis-à-vis des programmes scientifiques nécessitant une très haute résolution angulaire au-delà des possibilités du futur E-ELT. On pense en particulier à la zone interne subAU des disques d'objets jeunes ou à la zone sub-pc du cœur des AGNs. Résoudre également certaines classes stellaires dans les galaxies voisines comporte des enjeux fondamentaux, notamment dans le domaine des échelles de distance. Au-delà des performances ultimes en magnitude et résolution angulaire un des grands enjeux des années à venir, à la fois pour continuer à asseoir la position forte du VLT mais aussi pour préparer l'avenir à moyen terme de cette technique observationnelle, est dans notre capacité à maîtriser de manière dynamique tous les défauts de l'instrument (ce que l'on appelle couramment le cophasage, à la fois spatial, temporel et spectral) afin d'atteindre les performances théoriques et en même temps d'étendre les capacités d'imagerie de ces futurs instruments par le développement de réseaux à très grand nombre d'ouvertures, à l'image de ce qui s'est passé au fil des années dans le domaine radio et millimétrique.

Nous travaillons dans ce domaine à différents niveaux, notamment en étudiant de manière théorique, numérique et sur banc de tests le potentiel des imageurs directs utilisant le principe des hyper télescopes, de type ALMA optique ou CARLINA, c'est-à-dire à grand nombre de sous ouvertures. Ce domaine est encore à peu près vierge et peu de groupes dans le monde développent ces recherches amont qui vont de l'étude des configurations d'entrée, au mode de recombinaison et en décomposant le problème d'abord en termes d'étude de la fonction de transfert et de la réponse impulsionnelle puis en analysant le comportement de ces grands réseaux en présence d'un instrument focal de type imageur (déconvolution adaptée), spectrographe ou encore coronographe. L'optimisation des configurations d'entrée et de recombinaison doit être étudiée au cas par cas pour chaque type de programme scientifique et l'objectif est d'apporter les contraintes nécessaires à la décision sur l'instrument idéal que nous aimerions pousser dans le futur. C'est autour du code HYPERTEL développé dans le laboratoire que nous prévoyons de continuer ces études. Parmi les voies de recherche qu'il convient de continuer à développer se situe le lien entre l'optique atmosphérique et ces concepts avec une meilleure prise en compte par exemple des paramètres spécifiques à l'interférométrie longue base comme l'angle isopistonique pour les études d'interféromètres hors-axe. Il est important également de souligner l'immense champ de recherche autour de la déconvolution des images directes d'interféromètres imageurs ou une comparaison précise en termes de rapport signal à bruit, magnitude limite et opération avec un instrument focal particulier entre un imageur direct et un réseau fonctionnant en synthèse d'ouverture. Ces recherches comme on le voit s'appuient également de manière forte sur des progrès en matière de méthodes de cophasage et de recombinaison des faisceaux.

Par ailleurs nous étudions aussi les possibilités scientifiques des réseaux à très faible nombre d'ouvertures par exemple spécialisés dans l'observation à haute magnitude des BLRs de Quasars distants avec une éventuelle application cosmologique. En fait il se pourrait qu'il y ait une architecture de réseau optimal pour chaque grande classe de programmes scientifiques et un des objectifs de la synergie C+F est de permettre cette optimisation.

3) Sous-systèmes d'interféromètres

En plus du développement conceptuel des systèmes interférométriques, il est nécessaire d'étudier de nombreux sous-systèmes tels que le cophasage ou la recombinaison des faisceaux. Ces travaux peuvent s'effectuer en amont pour préparer des futurs projets, qu'il s'agisse d'interféromètres à pupilles diluées ou de grands télescopes à pupille compacte mais segmentée comme les ELT. Ils peuvent aussi s'effectuer dans le cadre d'interféromètres existants comme par exemple les études faites pour déterminer le meilleur concept de recombinaison à quatre télescopes dans l'infra rouge thermique pour MATISSE sur le VLT.

De telles installations, dont les cahiers des charges deviennent toujours plus ambitieux, doivent être cophasés au dixième de longueur d'onde, voire au millième dans le cas d'un interféromètre à frange noire. Il devient alors nécessaire de développer de nouveaux moyens de modélisation et de contrôle de ces systèmes complexes, applicables aux futurs télescopes de diamètre supérieur à 30 mètres (ELT) et aux interféromètres. Construit au laboratoire Fizeau dans le but de simuler de tels systèmes, le banc de test SIRIUS est capable de concentrer simultanément les faisceaux issus de six télescopes suivant un schéma circulaire non redondant. Un des choix de conception du banc consiste à remplacer toutes les optiques situées entre les télescopes et le recombineur central par des fibres optiques monomode assurant deux des fonctions les plus essentielles d'un interféromètre: le filtrage des surfaces d'onde et l'égalisation des différences de chemin optique (OPD) au moyen de transducteurs piézoélectriques cylindriques. La méthode de cophasage développée sur le banc SIRIUS est basée sur la "diversité de phase chromatique" consistant à

combiner les mesures des phases fractionnaires effectuées à différentes longueurs d'onde pour déterminer la valeur des erreurs de piston sur une plage vingt ou cinquante fois plus étendue. Dans ce but un "senseur de pistons polychromatique" a été intégré au banc SIRIUS et son travail de validation est actuellement en cours. Il devrait permettre de démontrer l'efficacité de ce procédé de cophasage, que nous envisageons également d'adapter aux interféromètres à frange noire et au senseur de franges de deuxième génération du VLTI: il s'agit du projet POPS, mené depuis un an en collaboration avec le Laboratoire d'Astrophysique de Grenoble et l'Institut d'Astrophysique et de Géophysique de Liège, et sur lequel les algorithmes de diversité de phase chromatique seront implémentés. POPS réalisera l'exploitation d'un ou plusieurs réseaux de franges dispersées afin de mesurer les pistons différentiels atmosphériques sur le site du VLTI. Le savoir-faire développé sur le banc SIRIUS est également considéré en collaboration avec l'Observatoire de Paris pour une adaptation dans le cadre du projet FIRST qui vise à démontrer les capacités à très haute dynamique sur les pupilles segmentées dans le visible en utilisant les principes de filtrage et d'étalonnage de l'interférométrie. FIRST, en cours de développement sur le télescope LICK, pourrait être considéré à terme comme un moyen d'atteindre le pouvoir de résolution théorique aux courtes longueurs d'onde des ELT. A plus long terme, on se propose d'étudier des schémas optiques alternatifs, par exemple inspirés du spectromètre de type "Courtès" qui avait été testé sur l'instrument REGAIN du G2T, et également d'étendre cette étude au cas général de la spectroscopie intégrale de champ appliquée aux mesures interférométriques elles-mêmes.

Dans le cadre du projet MATISSE (voir annexe § XX) nous sommes en train d'étudier un mode de gestion original de recombineur à quatre faisceaux qui associe modulation spatiale dans un schéma multiaxial global (comme pour AMBER) et modulation temporelle de la DDM (comme dans MIDI, VINCI et FLUOR). Nous avons pu montrer que cette combinaison devrait éliminer complètement l'influence des variations du fond thermique du ciel et de l'environnement instrumental sur les mesures interférométriques les plus utiles à la reconstruction d'images. Une autre caractéristique de MATISSE, issue de l'expérience acquise sur AMBER et MIDI, et de travaux théoriques, a été l'élimination la plus soignée possible des contaminations (cross talks) entre faisceaux et entre bases interférométriques. Nous sommes en train de développer, de simuler et de tester les logiciels de traitement des données associés. Cela est décrit plus en détail dans l'annexe réservée à MATISSE et ce n'est cité ici que pour illustrer le fait que chaque interféromètre en fonction de son nombre de faisceaux et de son domaine spectral implique une recherche spécifique sur le mode de recombinaison (et d'ailleurs de cophasage) optimal.

La maîtrise des techniques de cophasage est également indispensable dans l'espace, pour les futurs interféromètres spatiaux à frange noire comme DARWIN ou TPF-I, dont la mission ultime est de découvrir une planète semblable à la Terre en orbite autour d'une étoile voisine et de détecter d'éventuels biomarqueurs dans son spectre. Dans cette perspective extrêmement ambitieuse, le laboratoire Fizeau est fortement impliqué dans le projet PERSEE (Pégase Experiment for Research and Stabilization of Extreme Extinction). Le banc de test PERSEE est né des études menées autour du projet de vol en formation PEGASE, étudié en phase 0 au CNES puis proposé dans le cadre Cosmic Vision. PERSEE est la maquette fonctionnelle d'un interféromètre à frange noire spatial constitué de deux télescopes et d'un recombineur central. Il s'agit en fait d'un démonstrateur de performance en laboratoire, dont le but est d'atteindre un taux de réjection meilleur que 10^{-4} et stabilisé à 10^{-5} dans les bandes spectrales K et M (proche infrarouge), pendant plusieurs heures et en présence de perturbation en différence de marche (OPD) et tip-tilt représentatives du vol en formation. Notre laboratoire fait partie intégrante du consortium PERSEE, placé sous le patronage du CNES et composé également de l'IAS (Orsay), du LESIA (Observatoire de Meudon), de l'ONERA et de l'industriel Thales Alenia Space. Nous étions plus particulièrement chargés du design opto-mécanique, de la fabrication et de la recette du module source, ainsi que de l'approvisionnement et des tests de la plupart des composants du banc optique principal. Des réflexions sur la poursuite du projet PERSEE après 2010 sont actuellement en cours dans l'UMR Fizeau. En plus de l'utilisation du banc en mode imagerie annulante du test de diverses simplifications du design de l'interféromètre actuel et du remplacement de certains sous-systèmes par des composants en optique intégrée, une des possibilités que nous développons avec le CNES est l'utilisation du banc de test PERSEE pour l'étude des perturbations de l'instrument FKSI. Ce Fourier Kelvin Space Interferometer (FKSI) est un projet du Goddard Space Flight Center de la NASA d'interféromètre spatial à deux télescopes réunis par une poutre, dont le but est de caractériser la lumière exozodiacale et de détecter les exo planètes de type Jupiter, voire les superterres, des systèmes extrasolaires observés. Nous sommes impliqués dans plusieurs aspects de ce projet allant de son programme scientifique à ses modes d'observation en passant par son système de cophasage. L'aspect le plus important est peut être l'adaptation du banc PERSEE aux tests de FKSI.

4) Coronagraphie et Astrométrie chromatique différentielle

L'expérience d'astrométrie différentielle chromatique (CDA), déjà décrite dans la partie Bilan, est un mode du coronographe de la mission spatiale japonaise SPICA. Il s'agit d'un mode d'observation en lumière dispersée permettant d'extraire le spectre ainsi que le vecteur position exo-planétaire des planètes de type Jupiter chaud, voire des superterres, à des distances orbitales de 0,1 à quelques unités astronomiques. Ce mode a été proposé en complément du coronographe apodiseur de SPICA (auquel notre Laboratoire contribue également) qui ne permettra des détections qu'à partir de quelques U.A. Il s'agit de mesures bien en deçà de la limite de diffraction du télescope dans ces longueurs d'onde (de 3,5 à 28 μm) pour lesquelles il faut atteindre une précision de l'ordre de 10^{-3} pixels. Une expérience de laboratoire est en cours pour permettre de valider le concept instrumental proposé au travers 1/ d'une étude système approfondie de chaque constituant de l'expérience, 2/ du développement d'un modèle complet issu de (1), 3/ d'une expérience de validation du modèle en laboratoire et enfin 4/ de l'étude détaillée des objets astrophysiques cibles. Ce dernier point couvre l'étude des nuages exo-zodiacaux dans le contexte des planètes extrasolaires dites Jupiters chauds. Au delà de CDA/SPICA, ce domaine de recherche encore peu étudié présente un intérêt transversal pour MATISSE, FKSI, EPICS et d'autres projets à plus long terme. Le Laboratoire dispose de nombreuses compétences pour cette recherche, dont une expertise en physique des environnements stellaires exo-planétaires et en modélisation de disques par divers codes de transfert de rayonnement semi-analytiques ou de type Monte-Carlo.

L'expérience acquise sur le projet VLT/SPHERE ouvre la perspective de l'implication du laboratoire dans l'E-ELT, principalement dans le contexte de l'instrument EPICS, l'instrument de haut contraste du télescope géant européen. Dans le cadre de SPHERE, le laboratoire a pris en charge les études, la réalisation et les tests de la partie du coronographe par apodisation de pupille appelé APLC. Or, le projet EPICS considère en tout premier lieu l'utilisation d'apodiseurs pupillaires simples (c'est-à-dire non associés à des masques focaux comme dans SPHERE), et l'investissement du laboratoire dans ce domaine doit être mis en avant. Il en va de même pour l'expertise développée en traitement du signal pour l'extraction du signal exo-planétaire. Les chercheurs du laboratoire impliqués dans ce domaine ont finalement été les moteurs du développement des algorithmes de réduction de données. L'implication dans le projet E-ELT doit donc mettre en avant trois expertises distinctes : des propositions de projets astrophysiques des environnements stellaires et/ou exo-planétaires, une expertise en développement instrumental ainsi qu'en traitement du signal sur divers aspects comme l'extraction de signal, et le développement algorithmique.

Nous entendons également poursuivre les études théoriques pour la détection directe des exoplanètes, notamment par l'étude analytique des coronographes et techniques associées, comme les apodiseurs, les interféromètres annulaires et les occulseurs externes. Pour les coronographes proprement dits (Lyot à apodisation prolata, masques sectoriels, vortex), nous menons une étude comparative critique de ces instruments pour les aspects achromatisation et « leakage » (effet de l'étoile non ponctuelle). Ces études théoriques sont complétées par des aspects expérimentaux: poursuite du développement de l'expérience basée sur un Mach-Zehnder, affinage des réalisations obtenues pour les coronographes à apodisation interférométrique, les systèmes à masques sectoriels et réalisation du système ARC (achromatic rotating coronagraph) dans sa configuration équivalente au CIA.

Le laboratoire a contribué à développer les observations coronographiques de la couronne solaire, notamment par l'étude théorique du montage coronographique à occulseur externe dans la perspective de la mission ASPIICS. De manière plus général, une étude comparative des apodiseurs optimaux pour la coronographie solaire a été menée, des apodiseurs prolates aux apodiseurs Sonine, et au-delà. Ces études ont été concrétisées par la réalisation d'un coronographe à apodisation de pupille pour l'observation de la couronne solaire.

5) Optique atmosphérique

L'« optique atmosphérique » désigne les effets de la turbulence atmosphérique sur les observations astronomiques dans le domaine optique. Elle est à la fois un outil pour l'observation et un domaine de recherche faisant appel à des spécialités externes comme la météorologie et la géophysique de l'atmosphère. Elle fait fortement appel aux méthodes de traitement scientifique de l'information (TSI) qu'elle alimente en permettant la description statistique correcte des mesures en HRA et elle est une science essentielle pour le développement des méthodes physiques pour l'observation ainsi que cela est évoqué à plusieurs reprises dans cette annexe. Le programme de recherche en optique atmosphérique est détaillé dans le chapitre 2 de l'annexe 5 ; il est rappelé ici compte tenu de la place d'interface forte qu'il occupe et du rôle majeur dans les méthodes observationnelles que nous développons.

6) Spectroscopie

Nous sommes amenés à développer des spectrographes pour l'interférométrie, les observations à haute résolution angulaire et à très haute dynamique. Nos besoins en éléments de résolution spatiale et spectrale s'apparentent beaucoup à ceux de la spectroscopie 3D ou à intégrale de champ. Ce domaine a été très actif dans le passé (caméras speckles multi chromatiques, montages de type Courtès pour les spectrographes de REGAIN et en speckle différentielle. Les spectrographes plus récents de AMBER et de VEGA sont plus classiques mais nous pourrions revenir à la spectroscopie « 3D » pour les projets futurs notamment en utilisant les nouveaux composants en optique intégrée et les détecteurs donnant directement des informations spectrales et spatiales (SWIFTS par exemple).

En combinant ce domaine avec notre expertise historique sur les spectromètres à très haute précision de mesure des vitesses radiales pour l'astérosismologie (voir le projet SYMPA) nous avons proposé un instrument spatial pour la sismologie de Jupiter qui est maintenant en phase A d'étude en collaboration avec l'IAS et avec le soutien du CNES. Il s'agit de DSI-ECHOES: une proposition d'instrument spatial pour l'étude de la structure interne et de l'atmosphère de Jupiter. La sismologie des planètes géantes, et en particulier de Jupiter, permet de contraindre la structure interne et la dynamique de ces planètes (voir annexe 1 « planétologie »). Nous proposons de l'étudier avec DSI (Doppler Spectro Imager), qui est un interféromètre imageur dérivé du concept de SYMPA, et proposé dans le cadre du projet de sonde planétaire EJS Laplace de l'ESA (Cosmic Vision). La mesure en continu de la phase de l'interfrange permet de suivre les variations de vitesse radiale sur toute la surface observée en mesurant la phase des franges d'interférences. Cet interféromètre fournit des images en sortie, sur lesquelles on mesure la phase des franges pour déduire la vitesse sur la ligne de visée due à l'effet Doppler. Les variations de vitesse ainsi mesurées donnent accès aux modes acoustiques, avec une grande précision et une excellente résolution spatiale, inaccessibles depuis le sol, donnant accès aux modes acoustiques de degré 0 à 50 (100), et à la structure en vitesse dans l'atmosphère jovienne. Le consortium qui propose ce programme est constitué des laboratoires Fizeau et Cassiopée à l'OCA, associé à l'IAS. D'autres laboratoires fournissent une contribution scientifique et technique, en France, Italie et Espagne. Dans la phase actuelle, le laboratoire Fizeau est leader sur cette proposition, et fournit le concept instrumental et l'étude optique. Dans les phases à venir, après la sélection, l'OCA pourra conserver un rôle majeur dans un des rares instruments à PI français sur cette mission. C'est une opportunité unique pour l'OCA de s'investir dans le domaine spatial sur la base de l'expertise de Fizeau en Recherche Instrumentale, en donnant un nouvel élan aux techniques de l'astérosismologie, développées depuis longtemps à l'OCA, et trouvant une application nouvelle en planétologie.

Annexe 7 : Calcul Numérique Haute Performance

1) Présentation générale

2) Quelques projets techniques et scientifiques qui sont envisagés:

Projet FORGE : Partage de codes et de technologies
 Optimisation de codes parallèles
 Communication entre codes multi-physiques ou multi échelles
 Projet d'une bibliothèque spectrale : Projet SPECTLIB
 Changement de paradigme dans la visualisation interactive

1) Présentation générale

Le calcul scientifique, en particulier intensif et parallèle, est depuis de nombreuses années au cœur des axes scientifiques de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA). Dans nos deux laboratoires d'origines (Cassiopée et Fizeau), de nombreuses équipes de recherches utilisent le calcul intensif comme un outil d'expérimentation de divers modèles théoriques. Les chercheurs concernés sont devenus des spécialistes dans la simulation de systèmes complexes dans les domaines de la physique et de l'astrophysique.

Ces dernières années ils ont acquis une expertise dans la simulation de systèmes fluides et turbulents (neutres ou magnétisés, pouvant inclure des particules), ainsi que des systèmes à n-corps interagissant par autogravitation ou dans des collisions violentes. Cette expertise est mise à profit dans les thématiques de «planétologie» (fluides dans les disques protoplanétaires, dynamiques des petits corps dans le système solaire), «turbulence fluide et plasma» (turbulence fluide, magnétohydrodynamique, effet dynamo, dynamique lagrangienne, particules inertielles), «cosmologie» (formation des galaxies, dynamiques des galaxies et de ses constituants chimiques, rôle des trous noirs centraux) et «physique stellaire» (magnéto-convection et transfert de rayonnement).

Ces projets ont utilisé des ressources d'heures de calculs aussi bien locales que nationales et internationales. Deux opérations de calcul intensif menées au sein de l'OCA, SIVAM² I & II en 1996 & 2000 respectivement, ont permis d'acquérir et de développer de solides compétences numériques et une expertise de gestion de serveurs de calcul. En 2003, le projet SIGAMM³, lancé par l'OCA et financé par un Plan Pluri Formation et le Fond National pour la Science, a obtenu le label «Mésocentre» (<http://crimson.oca.eu>). Cette plate-forme mutualisée a été mise en exploitation en 2006. Suite à son succès immédiat auprès des chercheurs, le CPER 2007-2013 a décidé de soutenir l'extension du mésocentre à hauteur de 2M€, avec une ouverture aux besoins en calcul intensif de tous les laboratoires de l'Université de Nice-Sophia Antipolis (UNS). Avec seulement 3 ans de mise en service, la production scientifique actuelle du mésocentre est de plus d'une quarantaine de publications dans des journaux internationaux réputés, et d'une trentaine de communications dans des conférences internationales. Il est prévu une extension de ce cluster en 2010 et en 2013 sur des financements du CPER PACA. Cet équipement est clairement un nœud très important des projets numériques de notre futur laboratoire J-L Lagrange.

La deuxième source d'heures de calculs est nationale et internationale, à travers les centres nationaux gérés par GENCI (<http://www.genci.fr>) (CCRT, CINES, IDRIS) et aussi à travers des collaborations internationales. Des heures de calcul ont ainsi été consommées en Allemagne sur une plateforme BlueGene qui va maintenant être dans le pôle des machines européennes du projet PRACE.

Fort de cette expérience et des moyens qui sont à notre disposition, il est question d'organiser au sein du laboratoire Lagrange une synergie autour de la problématique du calcul parallèle, du traitement massif de données et de la visualisation. Plusieurs raisons nous poussent à structurer cet axe. Le laboratoire a une grande expérience en modélisation numérique et de nombreuses équipes font des efforts pour porter leurs codes sur les diverses plateformes mises à leur disposition. La technologie des plateformes étant variée et changeant rapidement, il est devenu difficile de construire, maintenir et d'optimiser des logiciels de calcul adaptés.

Un personnel qui mutualiserait ses compétences pour aider nos équipes serait nécessaire et constituerait un atout majeur pour maintenir le niveau d'excellence du laboratoire dans ce domaine et pour utiliser efficacement les moyens de calculs pétaflopiques bientôt disponibles en France et en Europe (projet PRACE <http://www.prace-project.eu/>).

L'organisation du pôle technique, va nous aider à organiser cette synergie, mais nous avons également besoin du recrutement de nouveaux IT formés aux nouvelles technologies de génie logiciel et de programmation objet. Leur mission consistera à assister les chercheurs dans la programmation de codes de calcul scientifique de haut niveau pouvant être utilisés sur les plus grands clusters parallèles nationaux (GENCI) et européens (PRACE). Ils devront construire, animer, conseiller les projets numériques des chercheurs, mais aussi les maintenir et optimiser ces projets sur des plateformes qui évoluent continuellement.

2) Quelques projets techniques et scientifiques qui sont envisagés:

² SIVAM : Simulations Intensives et Visualisations en Astrophysique et Mécanique

³ SIGAMM : Simulations Intensives en Géophysique, Astrophysique, Mécanique et Mathématiques

Projet FORGE : Partage de codes et de technologies

Nous voulons aller au-delà de la construction des outils de traitement ou de simulation qui seront utilisés par nos équipes scientifiques en créant des bibliothèques de logiciels qui pourront être utilisés et modifiés par des équipes extérieures à notre laboratoire. Afin d'éviter de produire des codes devenant rapidement obsolètes ou impossibles à réutiliser, il faut développer, dès leur conception, des outils génériques entièrement modulables. Cela requiert de la part des chercheurs un changement d'habitudes et surtout des compétences en langages objets. Cet effort est cependant nécessaire pour assurer la pérennité de nos méthodes et permettre une meilleure valorisation de nos compétences et du travail accompli par nos ingénieurs. Le rôle du pôle d'ingénieur HPC et de génie logiciel est en effet également d'accompagner nos équipes dans la diffusion des codes de calcul (par exemple sur l'OV). Il est essentiel que d'autres équipes puissent utiliser nos outils, reproduire et valider nos résultats ; cela contribuera d'autant plus au rayonnement du laboratoire.

Dans le domaine des sciences de l'information (STIC), l'«open source» et les projets collaboratifs de type «forge» sont devenus une réelle façon de travailler ou d'aborder un projet. Il y a certes une culture de consortium sur les grands instruments d'astrophysique (télescopes, missions spatiales), mais cela reste une exception sur les aspects théoriques et numériques dans les sciences de l'univers ou même en physique fondamentale.

Nous voulons donc construire un esprit «FORGE» (http://en.wikipedia.org/wiki/Forge_%28software%29) au sein de notre UMR, qui sera en relation étroite avec l'observatoire virtuel que notre l'OCA désire promouvoir.

Optimisation de codes parallèles

Une des premières tâches de nos ingénieurs est de construire et d'optimiser les codes de simulation ou de traitement de données pour les diverses plateformes qui sont accessibles. Utiliser efficacement des codes parallèles sur des architectures «muti-cœurs» et «multi-nœuds», nécessite la maîtrise de la parallélisation avec la bibliothèque MPI mais également avec la technique «multithread» (OPENMP). De plus les architectures changeant rapidement, peu de chercheurs aujourd'hui ont la volonté ou le temps de s'investir dans une programmation sur les cartes graphiques avec de nouveaux langages dédiés. Nous devons donc construire des outils à deux niveaux : un niveau où les chercheurs pourront programmer les algorithmes pour résoudre leur problème physique et un niveau plus technique, proche de la machine, qui traitera les opérations en s'occupant de la parallélisation et l'optimisation sur les différentes architectures. La séparation entre ces deux aspects est un gain de temps pour les chercheurs, mais surtout constitue une pérennité de l'application. La partie technique pourra être modifiée, adaptée et optimisée par nos ingénieurs sans impact sur la partie scientifique.

Communication entre codes multi-physiques ou multi échelles

Les processus physiques étudiés dans la modélisation des objets astrophysiques et géophysiques sont complexes et font appel à de nombreuses quantités physiques et des échelles spatiales et temporelles très variées. Ces modèles sont donc par nature multi-physique et multi échelles. La tendance actuelle est de découpler les problèmes afin de pouvoir les paralléliser efficacement et de les faire communiquer entre eux. Pour calculer la trajectoire de particules polluantes dans un écoulement, on pourrait par exemple coupler un code purement fluide qui s'occuperait des champs et un autre qui ne s'occuperait que des trajectoires des particules. Ces deux codes auraient besoin de communiquer entre eux, mais pourraient utiliser deux espaces de calcul différents ; avec une bonne synchronisation, il y aurait un gain majeur dans la parallélisation. On peut aussi envisager le traitement des différentes échelles d'un plasma comme le vent solaire par un modèle fluide aux grandes et un modèle cinétique aux petites échelles afin de prendre en compte la dynamique séparée des ions, électrons et autres particules. Ce couplage de modèles comporte des défis à la fois au niveau théorique, mais aussi au niveau du génie logiciel et de la parallélisation.

Projet d'une bibliothèque spectrale : Projet SPECTLIB

Le nombre de sujets traités par les méthodes spectrales et les géométries proposées sont vastes. Par exemple, en hydrodynamique, à très haute résolution nous serons en mesure d'atteindre le régime turbulent produit par l'instabilité convective, des rotations élevées, MHD, géodynamo, scalaire passif, et la liste est loin d'être exhaustive. Avec l'utilisation de "SpecTLib", nous serons en mesure d'utiliser des ordinateurs hautement parallèles, et ainsi simuler des phénomènes fortement non linéaires. Les résultats auront une incidence sur un large éventail de domaines scientifiques tel l'environnement, la géophysique et l'astrophysique.

Notre équipe composée de physiciens et d'informaticiens a l'ambition de construire une bibliothèque en C++ qui permettra de résoudre de nombreux problèmes de physique, en simulant des équations aux dérivées partielles (PDE) avec des méthodes pseudo-spectrales dans différentes géométries (cube périodique, plaque, tore ou sphère). Cette bibliothèque sera offerte à la communauté scientifique et nous espérons débiter une synergie, où les utilisateurs pourraient développer leurs propres outils et augmenter la gamme de module de la bibliothèque SpecTLib. Elle permettra d'effectuer des calculs intensifs sur tout type d'architecture allant du simple ordinateur portable au calculateur Petaflopique. La construction d'outils permettant une bonne utilisation des machines massivement parallèles devient une priorité, mais nécessite un investissement récurrent. Notre outil pourra s'adapter sans tout recommencer, à une multitude d'architectures présentes et même futures.

Cette bibliothèque sera facile à utiliser et à mettre en œuvre. Les utilisateurs n'auront pas besoin d'entrer dans les détails de la parallélisation MPI et multi-thread. Les objets (des champs scalaires et vectoriels) construits avec leurs opérateurs mathématiques seront le cœur de SpecTLib. Les utilisateurs devront simplement coder leurs schémas temporels et leur système PDE ; des exemples seront fournis. Une optimisation automatique suivant l'architecture de l'ordinateur sera incluse à un bas niveau de la bibliothèque. Une structure suffisamment générique des objets permettra cette dissociation entre optimisation et implémentation. Après la fin de la période de beta-test, la bibliothèque sera un projet open source sous le contrôle de la licence CeCILL (www.cecill.info) (équivalent de la licence GPL en France).

Une demande de soutien au programme ANR COSINUS sur ce projet est envisagée en 2011

(<http://www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/appe-detai/programme-conception-et-simulation-2010>).

Changement de paradigme dans la visualisation interactive

A travers une synergie entre des équipes de notre futur laboratoire et des équipes de l'INRIA à Sophia Antipolis, nous proposons une collaboration sur le thème de la visualisation interactive de données, de la mise en commun de codes et de méthodes et l'acquisition de matériel de visualisation 3D.

Notre objectif est de combiner les domaines du calcul scientifique et de la réalité virtuelle, dans lesquels l'OCA et l'INRIA ont des compétences complémentaires, afin de produire de nouveaux paradigmes de recherche dans les domaines de la physique de l'astrophysique et de la géophysique. Une fois validés, ceux ci pourront s'appliquer à d'autres domaines de recherche. Aujourd'hui, nombreux sont les thèmes où l'on est amené à produire de gros volumes de données. Générer, analyser et comprendre ces données implique l'accès à des infrastructures matérielles et logicielles capables de prendre en charge l'archivage, la puissance de calcul et la visualisation interactive.

Nous proposons de répondre à ce défi de façon globalement économique en intégrant en un seul outil des équipements de calcul haute performance et de réalité virtuelle développés indépendamment sur des sites différents. Cette distribution géographique constitue la situation la plus fréquente, ne serait-ce que pour des questions budgétaires. Ceci est particulièrement vrai pour la visualisation scientifique 3D et l'interaction dans lesquels les physiciens ne voient que depuis très récemment un réel intérêt pratique.

Ce projet fait partie d'une demande d'investissement d'avenir equipex de l'OCA et l'INRIA en septembre 2010, mais quelle que soit l'issue de cet appel d'offre, il représente désormais la graine initiale pour fertiliser des collaborations fructueuses entre nos équipes respectives.

Annexe 8 : Le projet GAIA

Les activités scientifiques prospectives de l'équipe projet Gaia apparaissent au sein des grandes thématiques qui structurent ce document. Cependant, il demeure une activité globale d'organisation autour du projet impliquant une quinzaine de personnes qui ont des engagements opérationnels auprès de l'ESA au sein du Consortium DPAC et dont les activités relèvent de financement spécifiques au projet. La présente fiche décrit cette structure et ces activités pour les années à venir. Enfin les aspects astrométrie, qui sont au cœur de Gaia, ne peuvent être séparés de cette thématique et son également insérées dans ce texte.

1. Autour du Projet

Objectifs

Gaia est un projet spatial de l'Agence Spatiale Européenne dont le but principal est l'étude de la Galaxie au travers d'un relevé des sources ponctuelles jusqu'à la magnitude $V \sim 20$ produisant des mesures d'astrométrie globale de très haute précision ($25 \mu\text{s}$ à $V = 15$), de la photométrie multi-couleur pour l'ensemble des sources et de la spectrométrie à moyenne résolution pour les plus brillantes ($V < 16-17$). Par la combinaison des données astrométriques, photométriques et spectrométriques, Gaia va clarifier la composition, la formation et l'évolution de notre Galaxie, mais également avoir des contributions significatives concernant le système solaire, la physique stellaire, les galaxies du groupe local, les galaxies extérieures et la physique fondamentale, avec en particulier un système de référence primaire dans le visible.

Le projet Gaia implique une grande communauté scientifique et technique en France et en Europe et compte tenu de son impact sur de nombreux domaines de l'Astrophysique contribue fortement à la structuration de la communauté.

Statut et organisation

Le lancement du satellite est prévu à l'heure actuelle pour fin 2012 avec une mission nominale d'observation de cinq années, puis encore deux années de traitement avant la mise à disposition de l'ensemble des produits autour de 2020. Plusieurs distributions intermédiaires d'un catalogue partiel sont prévues durant la mission. L'implication de la communauté scientifique s'effectue dans la cadre du traitement de données (responsabilité totale) au sein du consortium international DPAC (Data Processing and Analysis Consortium). Le Consortium regroupe 430 personnes d'une vingtaine de pays européens doit définir, organiser, effectuer et financer (avec les états participants) les traitements nécessaires pour atteindre les objectifs scientifiques de la mission. Il est coordonné par un Comité Exécutif, présidé aujourd'hui par F. Mignard à l'OCA.

Implication de l'OCA

Le groupe Gaia du laboratoire Cassiopée comprend (en 2010) 10 chercheurs et enseignants chercheurs, (dont un en seconde appartenance), 3 ingénieurs (dont un ingénieur 1/3 du temps), 5 doctorants, 2 post-doctorants, 2 astronomes émérites. Plusieurs membres de l'équipe ont des fonctions de responsabilité dans l'organisation du Consortium, et cela doit continuer dans les années à venir couvertes par le futur contrat quadriennal : Responsabilité générale du Consortium DPAC, participation au Gaia Science Team (structure ESA), responsabilité adjointe des Unités de coordination 4 (pour le système solaire) et 8 (extraction des paramètres astrophysiques et classification), suivi générale des ressources du DPAC et activités de communication (NewsLetter, web, wiki). Au niveau national, responsabilité de Gaia-France avec le CNES et activités au sein du Conseil Scientifique de l'Action Spécifique Gaia pour l'animation scientifique et la préparation de l'exploitation scientifique. Enfin responsabilité et organisation d'un grand nombre de réunions, ateliers et colloques autour de Gaia et de l'animation scientifique qui l'accompagne.

2. Aspects scientifiques pour l'OCA

Les activités scientifiques plus générales des membres et ne touchant pas directement à la mission elle-même sont décrites au sein des fiches thématiques correspondantes. La thématique scientifique astrométrie apparait cependant dans cette section, étant fortement couplée au projet lui-même.

Développements pour le traitement des données Gaia

Pour les années 2011-2014 les activités à caractère scientifique du Groupe Projet Gaia et touchant directement à la mission concernent le développement et la qualification d'éléments logiciels pour le traitement de données. Plus spécifiquement les équipes locales doivent fournir et adapter pendant le traitement (il est évident que les données réelles ne seront pas conformes aux prévisions) les parties logicielles dont nous sommes responsables.

1. Caractérisation physico-chimique automatique des atmosphères stellaires à partir des données spectrales produites par Gaia. Le principe est fondé sur l'algorithme MATISSE (MATrix Inversion for Spectral Synthesis) qui est déjà intégré dans la chaîne de traitement au CNES. D'autres méthodes de paramétrisation seront également développées (arbres de décision, par exemple). En plus de sa qualification dans les normes de qualité du projet, de nouvelles fonctionnalités de ces algorithmes sont à développer (rotation stellaire, marquage chimique,...). Des tests sur des données réelles (comme les archives spectrales de l'ESO, projet AMBRE en cours) seront également à réaliser.
2. Détermination des âges et masses des étoiles simples observées par Gaia par combinaison des données spectrales, photométriques et astrométriques. Cela implique la fourniture d'un code de traitement des données en Java pour inverser le diagramme HR, mais aussi l'étude des effets de la rotation (négligée jusque

là dans les tracés évolutifs théoriques utilisés). Les codes d'inversions à fournir sont essentiellement des estimations χ^2 , de l'optimisation non-linéaire et des méthodes statistiques bayésiennes.

3. Traitement photométrique et classification taxonomique automatique pour les objets du système solaire. Définition et test des algorithmes et fourniture d'un ensemble de logiciels à intégrer dans la chaîne de traitement Système solaire pour la caractérisation des réflectances spectral des astéroïdes observés par Gaia et leur classification taxonomiques.
4. Contribution aux développements logiciels pour des modules et des algorithmes sous responsabilité française à Bordeaux (détection des galaxies étendues et analyse morphologique) ou Strasbourg (solution astrométrique des binaires astrométrique)
5. Optimisation des séquences d'observations de Jupiter par Gaia pour améliorer le retour scientifique sur les tests relativistes avec Gaia.

En parallèle avec ces aspects techniques du traitement, l'expertise scientifique au sein de l'équipe est nécessaire pour tout ce qui touche à la préparation de la base de données Gaia (que mettre, quels outils à développer pour y accéder, ..), la définition et la mise en œuvre des observations complémentaires au sol.

Astrométrie et physique fondamentale avec Gaia

Gaia va effectuer des mesures astrométriques et photométriques sur près de 500 000 sources extragalactiques compactes et actives, soit plus de 5 fois le nombre attendu à terme par le relevé SDSS. Ces sources ponctuelles distantes sont à la base de la définition et de l'élaboration du système de référence inertiel sur lequel s'appuient toutes les déterminations de position en astronomie. Avec Gaia, le but est d'effectuer cette réalisation dans le domaine visible avec un sous échantillon d'au moins 50 000 objets soigneusement sélectionnés à cette fin et pour une précision finale environ 10 fois meilleure que la référence radio. Les travaux à effectuer, coordonnés par F. Mignard, portent sur la définition de ce système, ses propriétés cinématiques finales, l'évaluation des performances en fonction de la sélection des sources et l'alignement sur le référentiel céleste actuel. Diverses observations au sol doivent accompagner ce travail et sont pilotées par un groupe à Bordeaux. Enfin en relation avec Gaia, un travail d'animation scientifique avec le réseau GREAT est à mettre en place pour sensibiliser une communauté (physique des quasars et des galaxies compactes) qui n'a pas encore pris conscience des retombées de Gaia.

Le projet HTPM (Hundred Thousand Proper Motions with Gaia) proposé par F. Mignard et accepté par le Gaia Science Team vise à produire avec les six premiers mois de données astrométriques une solution spécifique pour les étoiles Hipparcos permettant de fournir des mouvements propres avec une base de temps de plus de 20 ans. C'est à la fois un projet scientifique de grande intérêt mais aussi un outil de communication sur le programme avec une grande valeur symbolique puisqu'il ferait le lien entre les deux missions d'astronomie spatiale. Compte tenu des précisions espérées, il y a un travail purement théorique à effectuer sur la façon d'extraire ces mouvements propres (effets non linéaires, identité des deux systèmes de référence, dépendance avec la vitesse radiale, ..) et surtout préparer cette chaîne de traitement un peu particulière par rapport au flux général des données et du traitement de masse.

Enfin au sein de l'équipe Gaia le groupe astrométrique est impliqué dans la mise au point des tests de la relativité avec Gaia, comprenant en premier lieu la détermination des paramètres PPN (γ et β) avec les étoiles ou les petites planètes et en second lieu une expérience visant à détecter l'effet de l'aplatissement de Jupiter sur la trajectoire des rayons lumineux. Un logiciel doit être fourni en 2012 au centre de mission pour optimiser les paramètres de la rotation de Gaia dans le but d'avoir des observations de Jupiter proche d'étoiles brillantes durant la mission.

Annexe 9 : Le projet MATISSE

Contexte et objectifs

MATISSE est le futur instrument d'interférométrie en infrarouge moyen de l'observatoire Européen Austral (ESO) sur l'interféromètre du Very Large Telescope (VLT). MATISSE couvrira un domaine de longueurs d'onde qui s'étend de 3 à 13 microns, soit les bandes spectrales L, M et N simultanées. La recombinaison de 4 télescopes simultanés effectuée par MATISSE est une nouveauté fondamentale par rapport à l'instrumentation existante (instrument MIDI, à 2 télescopes), offrant pour la première fois la possibilité de reconstruire des images en interférométrie optique dans l'infrarouge moyen. MATISSE sera un complément idéal des autres instruments de l'ESO. MATISSE pourra ainsi être utilisé en synergie avec l'interféromètre millimétrique ALMA en cours d'achèvement, offrant une résolution spatiale comparable (voir Figure 8.1). ALMA va préciser et sans doute changer significativement dans un avenir proche notre connaissance des environnements stellaires, et MATISSE va constituer dans ce contexte un instrument clé permettant de compléter les observations millimétriques. Précisons qu'ALMA apporte beaucoup d'information sur le contenu et la cinématique du gaz autour des étoiles jeunes et évoluées, mais ne peut apporter que peu d'information sur la poussière, dont les bandes de diagnostic sont toutes dans l'infrarouge.

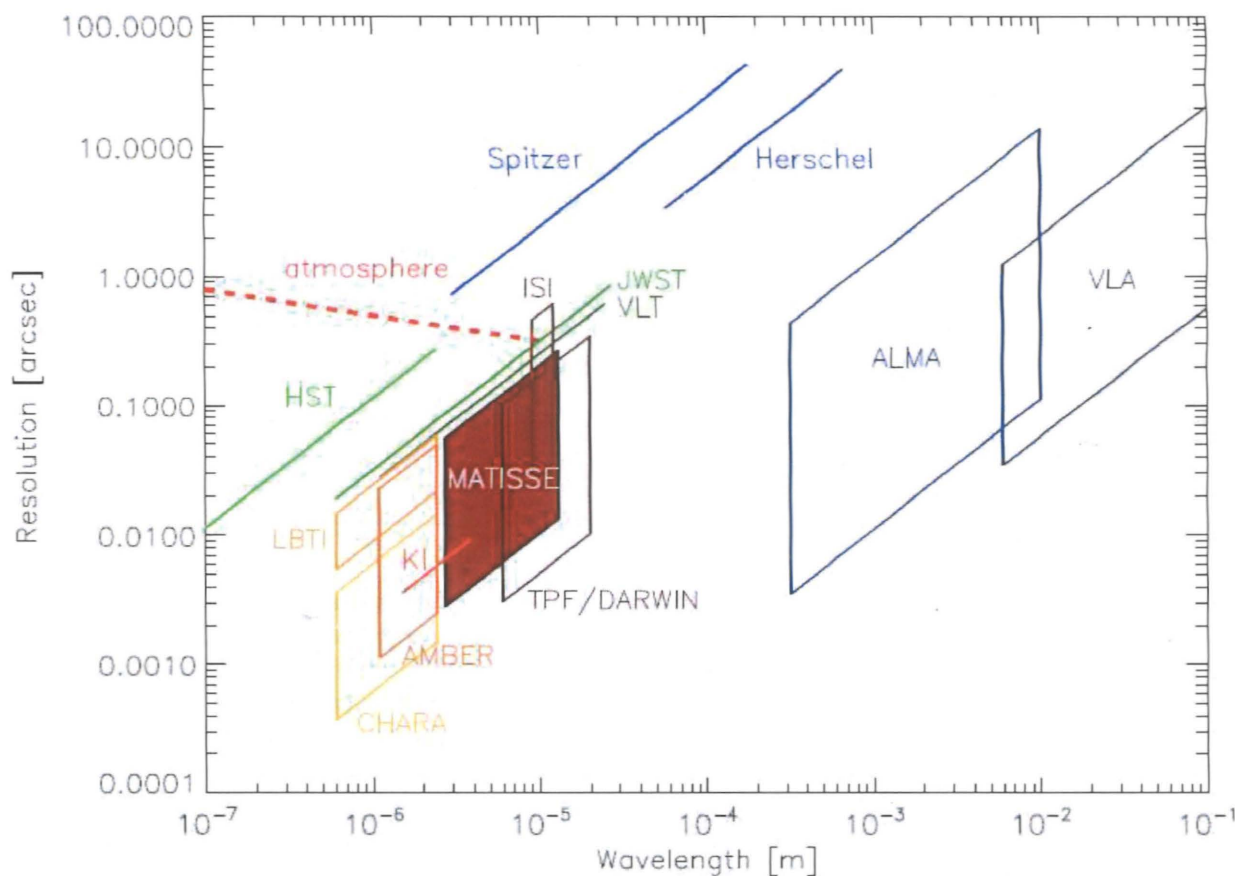


Figure 8.1: L'instrument MATISSE dans un diagramme résolution angulaire / longueur d'onde.

MATISSE est né à partir d'une proposition initiale (Après-MIDI), suite à l'atelier d'Avril 2005 sur les instruments de 2^{de} génération du VLT. Il tire parti depuis ses débuts de l'expérience combinée des instruments de première génération du VLT AMBER (Principal Investigator Romain Petrov, aujourd'hui responsable de la partie Instrument de MATISSE) et MIDI (Principal Scientifique Christoph Leinert, aujourd'hui co-P.I. de MATISSE). Ce projet est entré dans une étude de Phase A en Juin 2006, il en est aujourd'hui au stade de la PDR (Preliminary Design Review).

Le projet implique plusieurs instituts européens à la pointe des techniques d'interférométrie. Ces instituts ont réalisé les instruments de première génération du VLT que sont AMBER et MIDI. Le projet est dirigé par L'Observatoire de la Côte d'Azur (institut Principal Investigator) et se conduit en collaboration avec l'Institut Max-Planck d'Heidelberg, l'Institut Max-Planck de Bonn, l'Université de Leiden et l'Institut NOVA-ASTRON en Hollande, le tout en liaison avec l'ESO.

La phase du projet actuelle va conduire à la réalisation et à l'intégration de MATISSE en Europe, aux tests de l'instrument prévus à l'OCA en 2014-2015, et à sa première lumière à Paranal suivie des différentes étapes de tests sur le ciel appelées commissioning. La réalisation de MATISSE concerne en particulier pour l'OCA : l'optique dite chaude (et sa mécanique associée), les logiciels de contrôle instrumental, ainsi qu'une partie majeure des logiciels scientifiques que sont le traitement de données et la reconstruction d'images.

La phase projet de MATISSE conduira aussi le groupe scientifique à définir l'utilisation du temps garanti du Consortium. Ceci se fera en adéquation avec les étapes de tests sur le ciel et la mise en service progressive des différents modes d'observation de MATISSE et des différentes fonctionnalités du VLT (instrument PRIMA, suiveur de franges de deuxième génération, ...).

Le VLTI offrant une infrastructure modulaire (lignes de base, grandes ouvertures), MATISSE deviendra un instrument aux performances de premier ordre. Il offre aussi le challenge de recombinaison des 4 télescopes géants de 8 mètres (UTs) du VLTI simultanément.

Objectifs scientifiques

Les objectifs scientifiques du projet sont motivés par l'imagerie dans le domaine de l'infrarouge moyen avec le VLTI. L'astrophysique associée à ce domaine de longueurs d'onde de l'infrarouge moyen est un nouveau champ de recherche à explorer car les bandes spectrales L et M n'ont quasiment pas été exploitées en interférométrie optique. Quant à la bande spectrale N, elle n'a pour l'instant pas bénéficié de reconstruction d'image à des résolutions angulaires meilleures que 100 millisecondes d'arc. MATISSE permettra de telles reconstructions à des résolutions angulaires atteignant 10 millisecondes d'arc en bande N.

Les programmes d'observations que nous envisageons, touchent aux programmes astrophysiques que sont : la compréhension des 'moteurs' des galaxies actives, la formation et l'évolution des systèmes planétaires, la séquence d'évolution des étoiles jeunes et la perte de masse et l'évolution des étoiles évoluées.

MATISSE permettra en particulier l'étude des sources ou de leurs composantes suivantes :

- Tores de poussière dans les noyaux de galaxies actives proches,
- Régions intérieures des disques présents autour de jeunes étoiles de faible masse (type T Tauri),
- Régions intérieures des disques de jeunes étoiles de masse intermédiaire (type Ae/Be),
- Objets massifs (type Eta Car),
- Environnement de gaz et de poussière des étoiles chaudes (type B[e] et Wolf-Rayet),
- Étoiles froides évoluées (type AGB) jusqu'au stade des nébuleuses planétaires,
- Exoplanètes et naines brunes (programme exploratoire de détection directe),
- Astéroïdes et comètes de notre système solaire.

Le développement actuel de l'instrument MATISSE mais aussi sa future exploitation astrophysique prévue au-delà de 2015 sont donc en lien avec les recherches du laboratoire dans les différents domaines thématiques suivant du laboratoire :

- La Planétologie,
- La Physique Stellaire,
- Les Galaxies et la Cosmologie,
- Le Traitement du Signal et des Images,
- Les Méthodes Physiques de l'Observation.

Ainsi concernant la thématique Physique Stellaire, c'est l'étude des atmosphères stellaires et des environnements circumstellaires qui bénéficieront du domaine de longueur d'onde couvert par MATISSE. L'existence des environnements circumstellaires composés de gaz et poussières résulte des phénomènes d'accrétion et/ou de perte de masse. Les mécanismes à l'origine de ces phénomènes interviennent à différents stades de la vie de l'étoile, de sa naissance jusqu'à sa mort. L'intérêt des longueurs d'onde de l'infrarouge moyen exploitées par MATISSE est que celles-ci permettent de cartographier directement la distribution spatiale de poussière grâce à l'émission thermique de ces dernières. Par cette analyse c'est l'étude de la composition et des conditions physiques régnant dans les enveloppes qui deviennent accessibles à l'observateur. Nous nous attendons dans les prochaines années à une meilleure compréhension de la physique stellaire et de la connexion entre l'étoile et son environnement circumstellaire et par là l'évolution du milieu interstellaire.

Concernant les thématiques Planétologie, Traitement du Signal et Méthodes Physiques de l'Observation, ces dernières sont intervenues en amont dans le projet MATISSE et ont contribué à la définition du concept et des caractéristiques de l'instrument. Ainsi par exemple le choix du concept de MATISSE a été guidé par la Planétologie qui a fortement justifié le choix du domaine spectral, défini les requis instrumentaux en terme de forte sensibilité et forte précision dans les quantités observables que sont visibilité, phase différentielle et clôture de phase. La planétologie, ou plus explicitement l'étude des planètes et de leurs conditions de formation et d'évolution, contient 3 objets d'études : les planètes, les disques de gaz et de poussière, qualifiés de disques protoplanétaires ou de disques de débris, et, les astéroïdes et comètes de notre système solaire, résidus fossiles des événements passés.

Parmi les questions clefs figurent les mécanismes de formation des planètes et les conditions physiques régnant à proximité de l'étoile ($\leq$ à l'Unité Astronomique) : la minéralogie et l'évolution des poussières, l'histoire et l'évolution du gaz dans les disques, la structuration des disques sous l'influence des planètes, la structuration et la binarité des astéroïdes, la validation des modèles de migration des planètes géantes, ...

Cette approche par l'observation des divers constituants des systèmes planétaires (planètes, disques et petits corps) a déjà bénéficié de tests de la part de nos équipes. Elle se fonde sur l'expertise et les développements du laboratoire en relation avec l'étude conceptuelle, l'optimisation du traitement de données, l'analyse et la modélisation du signal, les méthodes de transfert dans le gaz et les poussières et la dynamique des systèmes planétaires pour caractériser les signatures observées, les instruments AMBER et MIDI, ...

Les études de reconstruction d'images avec MATISSE indiquent aujourd'hui qu'une image de disque d'objet jeune pourra être reconstruite sur la base d'un ensemble de 20-30 jeux de visibilités (2-3 nuits d'observation avec les ATs/UTs - voir Figure 8.2).

Enfin, l'utilisation de MATISSE en mode co-phasé, assuré par un suiveur de franges externe, ouvre tout un champ d'investigation de nouveaux objets astrophysiques en particulier extra-galactiques. Outre les Noyaux Actifs de



Vague B (2012-2015)

Unité de recherche : dossier unique

PROJET

(Partie II : Formulaire)

intitulé complet de l'unité de recherche Laboratoire J.-L. Lagrange				
responsable				
M./Mme	Nom	Prénom	Corps-Grade	Etablissement d'enseignement supérieur d'affectation ou organisme d'appartenance
M.	MOURARD	Denis	A1	OCA
* J'autorise la diffusion de mon nom sur internet (annuaire des unités de recherche).				
établissement(s) de rattachement de l'unité (tutelles)				
Tout dossier déposé doit être préalablement validé par l'ensemble des tutelles de l'unité.				
établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche		organisme(s) de recherche		
établissement de rattachement : OBSERVATOIRE DE LA CÔTE D'AZUR ...		organisme : CNRS Institut National des Sciences de l'Univers Institut des Sciences Informatiques et de leurs Interactions		
Préciser l'établissement ou organisme responsable du dépôt du dossier : (sauf exception, le dossier est déposé par l'hébergeur de l'unité de recherche)		OBSERVATOIRE DE LA CÔTE D'AZUR		
Préciser le cas échéant le délégataire unique de gestion :				
autres partenaires de l'unité (hors tutelles)				
établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche :				
organisme(s) de recherche :				
entreprise(s) :				
autres :				
type de demande et type d'unité demandé				
☐ nouvelle unité (création « ex-nihilo »)	☐ unité issue de l'éclatement d'une unité reconnue	☐ EA (équipe d'accueil universitaire)		
☐ renouvellement de l'unité	☒ fusion de plusieurs unités reconnues	☐ UMR mono organisme (*)		
(avec ou sans changement de label)	☐ « autres »	☐ UMR multi organismes (**)		
		☐ UP (unité propre organisme, fondation, écoles...)		
		☐ USR (unité de service et de recherche)		
(*) Unité mixte de recherche entre un seul organisme (EPST, EPIC, entreprise...) et un ou plusieurs établissements d'enseignement supérieur et de recherche				
(**) Unité mixte de recherche entre plusieurs organismes (EPST, EPIC, entreprise...) et éventuellement des établissements d'enseignement supérieur et de recherche				

filiation de l'unité (éventuellement plusieurs unités)			
Etablissement de rattachement	Label(s) et n° dans le cadre du contrat précédent	Nom du responsable précédent	Intitulé de l'unité
UNS/OCA/CNRS	UMR 6525	Jean ARNAUD	Laboratoire Hippolyte Fizeau
OCA/CNRS	UMR 6202	Thierry PASSOT	Laboratoire Cassiopée
rattachement prévu à une école doctorale en 2012-2015 <i>(établissement de rattachement envisagé, n° en cas de demande de renouvellement de l'ED, intitulé et responsable s'ils sont connus)</i> 0060931E, ED 364, EDSFA, Gian-Luca.Lippi "Une unité de recherche ne participe qu'à une seule école doctorale. Toutefois, si la taille de l'unité et l'étendue du spectre scientifique le justifient, les équipes de recherche qui la composent peuvent être réparties entre plusieurs écoles doctorales." (art. 3 de l'arrêté du 7 août 2006). Dans ce cas, préciser sur le tableau suivant l'ED de rattachement de chacune des équipes internes.			
participation prévue à une (exceptionnellement plusieurs) structure fédérative en 2012-2015 <i>(établissement, intitulé, responsable)</i> Fédération Wolfgang Döblin FR2800, UNS, Responsable: G. Batrouni			

classement thématique

indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine scientifique principal, "S" pour le ou les domaines scientifiques secondaires éventuels

domaine(s) scientifique(s)

1 Mathématiques et leurs interactions

2 Physique

P3 Sciences de la terre et de l'univers, espace

4 Chimie

5 Biologie, médecine, santé

6 Sciences humaines et humanités

7 Sciences de la société

S8 Sciences pour l'ingénieur**S9 Sciences et technologies de l'information et de la communication**

10 Sciences agronomiques et écologiques

secteur(s) disciplinaire(s) (cf. nomenclature)

reporter les codes des secteurs par ordre d'importance :

ScD3 STU - ScD5 SPI - ScD6 STIC**mots-clés (cf. nomenclature mots-clés)**

prédéfinis : Soleil, Etoiles, Galaxies, Cosmologie, Astrophysique, Instrumentation, Planétologie, Système solaire, Exoplanètes, Mécanique des fluides, Magnéto-h
 libres : Haute Résolution Angulaire, Turbulence, Populations stellaires, Analyse de données

domaine applicatif, le cas échéant

indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine principal, "S" pour le ou les domaines secondaires éventuels

Santé humaine et animale

Alimentation, agriculture, pêche, agroalimentaire et biotechnologies

Nanosciences, nanotechnologies, matériaux et procédés

S Technologies de l'information et de communication

Production de biens et de services & nouvelles technologies de production

Énergie nucléaire

Nouvelles technologies pour l'énergie

S Environnement (dont changement climatique)**P Espace**

Aménagement, ville et urbanisme

Transport (dont aéronautique) et logistique

Cultures et société

Économie, organisation du travail

Sécurité

Autre

sous-domaine(s) aeres (cf. nomenclature)

ScD1 Maths

SHS1 Droit

ScD2 Physique

SHS2 EcoGestion

ScD3 STU

SHS3 LittFra

ScD4 Chimie

SHS3 LLCE

ScD5 SPI

SHS4 Philo

ScD6 STIC

SHS4 Arts

ScD

SHS5 Psycho

SdV1 LS1

SHS5 ScEduc

SdV1 LS2

SHS5 Linguistique

SdV1 LS3

SHS5 STAPS

SdV1 LS4

SHS6 Histoire

SdV1 LS5

SHS6 GeAU

SdV1 LS6

SHS7 Socio

SdV1 LS7

SHS7 SciencePo

SdV2 LS8

SHS7 AnthroEthno

SdV2 LS9

SHS7 InfoCom

SdV

SHS

nomenclature ERC (European Research Council)

indiquer, en début de ligne, "P" pour le secteur principal, "S" pour le ou les secteurs scientifiques secondaires éventuels

Physical Sciences & Engineering

PE1 Mathematical foundations : all areas of mathematics, pure and applied, plus mathematical foundations of computer science, mathematical physics and statistics

PE2 Fundamental constituents of matter : particle, nuclear, plasma, atomic, molecular, gas, and optical physics

S PE3 Condensed matter physics : structure, electronic properties, fluids, nanosciences

PE4 Physical and analytical chemical sciences : analytical chemistry, chemical theory, physical chemistry/chemical physics

PE5 Materials and synthesis : materials synthesis, structure-properties relations, functional and advanced materials, molecular architecture, organic chemistry

S PE6 Computer science and informatics : informatics and information systems, computer science, scientific computing, intelligent systems**S PE7 Systems and communication engineering : electronic, communication, optical and systems engineering**

PE8 Products and processes engineering : product design, process design and control, construction methods, civil engineering, energysystems, material engineering

P PE9 Universe sciences : astro-physics/chemistry/biology; solar system; stellar, galactic and extragalactic astronomy, planetary systems, cosmology, space science, instrumentation

PE10 Earth system science : physical geography, geology, geophysics, meteorology, oceanography, climatology, ecology, global environmental change, biogeochemical cycles, natural resources management

Social Sciences & Humanities

SH1 Individuals, institutions and markets : economics, finance and management

SH2 Institutions, values and beliefs and behaviour : sociology, social anthropology, political science, law, communication, social studies of science and technology

SH3 Environment and society : environmental studies, demography, social geography, urban and regional studies

SH4 The Human Mind and its complexity : cognition, psychology, linguistics, philosophy and education

SH5 Cultures and cultural production : literature, visual and performing arts, music, cultural and comparative studies

SH6 The study of the human past : archaeology, history and memory

Life Sciences

LS1 Molecular and Structural Biology and Biochemistry : molecular biology, biochemistry, biophysics, structural biology, biochemistry of signal transduction

LS2 Genetics, Genomics, Bioinformatics and Systems Biology : genetics, population genetics, molecular genetics, genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, bioinformatics, computational biology, biostatistics, biological modelling and simulation, systems biology, genetic epidemiology

LS3 Cellular and Developmental Biology : cell biology, cell physiology, signal transduction, organogenesis, evolution and development, developmental genetics, pattern formation in plants and animals

LS4 Physiology, Pathophysiology and Endocrinology : organ physiology, pathophysiology, endocrinology, metabolism, ageing, regeneration, tumorigenesis, cardiovascular disease, metabolic syndrome

LS5 Neurosciences and neural disorders : neurobiology, neuroanatomy, neurophysiology, neurochemistry, neuropharmacology, neuroimaging, systems neuroscience, neurological disorders, psychiatry

LS6 Immunity and infection : immunobiology, aetiology of immune disorders, microbiology, virology, parasitology, global and other infectious diseases, population dynamics of infectious diseases, veterinary medicine

LS7 Diagnostic tools, therapies and public health : aetiology, diagnosis and treatment of disease, public health, epidemiology, pharmacology, clinical medicine, regenerative medicine, medical ethics

LS8 Evolutionary, population and environmental biology : evolution, ecology, animal behaviour, population biology, biodiversity, biogeography, marine biology, ecotoxicology, prokaryotic biology

LS9 Applied life sciences and biotechnology: agricultural, animal, fishery, forestry and food sciences; biotechnology, chemical biology, genetic engineering, synthetic biology, industrial biosciences; environmental biotechnology and remediation

coordonnées de l'unité

Localisation et établissement : Observatoire de la Côte d'Azur

Numéro, voie : Boulevard de l'Observatoire

Boîte postale : BP4229

Code Postal et ville : 06304 Nice Cedex

Téléphone : 04 93 40 53 65

Adresse électronique : Denis.Mourard@oca.eu

Date et signature du responsable de l'unité

12-oct-10





1 – Thématiques de recherche et structuration de l'unité proposée au 1er janvier 2012

N°	Intitulé de l'équipe interne (sous-composante fonctionnelle correspondant à l'organigramme de l'unité, une ligne par équipe)	Responsable (TBC)	Etablissement ou organisme hébergeant l'équipe interne	Effectifs EC, chercheurs EPST et cadres scientifiques EPIC en ETPT (1)	Effectifs ITA, IATOS et non- cadres EPIC permanents en ETPT (2)	Le cas échéant, ED de rattachement des équipes internes (n°, intitulé, étab. support)	Thèmes de recherche par équipe			
Cas d'une unité sans équipes internes : inscrire ci-contre les thèmes de recherche de l'unité.										
Cas d'une unité comprenant des équipes internes : remplir la partie ci-dessous										
Ce découpage est principalement destiné, pour les unités de grande taille, à permettre une évaluation différenciée des équipes composant l'unité.										
E1	Planétologie	P. Michel	OCA	4,50	10,00	0060931E, ED 364, EDSFA, UNS				
E2	Physique Stellaire	P. Stee	OCA	7,50	14,00	0060931E, ED 364, EDSFA, UNS				
E3	Galaxie, Cosmologie	S. Maurogordato	OCA	3,00	3,00	0060931E, ED 364, EDSFA, UNS				
E4	Turbulence fluide et plasma	Y. Ponty	OCA	0,00	12,00	0060931E, ED 364, EDSFA, UNS				
E5	Traitement du Signal et des Images	C. Theys	OCA	7,00	1,00	0060931E, ED 364, EDSFA, UNS				
SC	Pôle Technique de Recherche	J.B Daban	OCA		32,00					
SC	Service Administratif	TBC	OCA		8,10					
Total en ETPT				22,00	80,10					

(1) Equivalent temps plein travaillé. Les enseignants-chercheurs et chercheurs intervenant dans plusieurs équipes internes seront décomptés au prorata des temps respectifs.
Exemples : Un EC travaillant dans une seule équipe interne = 0,5. Un EC travaillant dans deux équipes internes à égalité de temps = 0,25 dans chacune d'entre elles.
Un chercheur travaillant dans une seule équipe interne = 1. Un chercheur travaillant dans deux équipes internes à égalité de temps = 0,5 dans chacune d'entre elles.

Les cadres scientifiques des EPIC seront comptabilisés dans cette colonne.

(2) En équivalent temps plein travaillé. Les ITA/IATOS intervenant dans plusieurs équipes internes sont décomptés au prorata des temps respectifs.
Exemple : Un personnel à temps plein dans l'unité qui travaille dans 2 équipes internes à égalité de temps comptera 0,5 dans chacune d'entre elles (0,25 s'il est à mi-temps).



2 – Ressources humaines

2.1 - Liste nominative des professeurs des universités et maîtres de conférence (et assimilés) proposée au 1er janvier 2012 (hors recrutements escomptés)

(à classer par établissement de rattachement ou, s'il en existe, par équipe interne)

Nomenclature à respecter :
PREX, PR1, PR2, DIRH, DIRP,
Physicien, Astro, PUPHEX, PUPH1, PUPH2, MCF, MCFP,
Phys-adj, Astro-adj, MCFPHHC, MCFPH1, MCFPH2

Code établissement = code

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Corps grade (1)	Section CNU (2 chiffres)	HDR (2)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (3)	Etablissement d'enseignement supérieur d'affectation (4)	Code de l'établissement d'affectation (5)	Date d'arrivée dans l'unité (6)	N° des 5 productions les plus significatives dans la période évaluée (7)
ABE	Lyu	H	1974	Astro-adj	34		E1	OCA	0060099A	01/08	125,129,131,134,144
AIME	Claude	H	1946	PR1	34		E5	UNS	0060931E	01/08	122,124,133,537,538
ARISTIDI	Eric	H	1965	MCF	34		E5	UNS	0060931E	01/08	424,403,416,426,427
BENDJOYA	Philippe	H	1961	MCF	34	oui	E2	UNS	0060931E	01/08	18,297,300,481,483
BENOIST	Christophe	H	1968	Astro-adj	34	non	E3	OCA	0060099A	01/2004	E1-08-ACL6 E1-08-ACL4 E1-06-ACL10 E1-07-ACL12 E1-09-ACL3
BOIS	Eric	H	1957	Astro	34	non	E1	OCA	0060099A	07/2004	E3-07-ACL1 E3-07-ACL22 E3-09-ACL18 E3-08-ACL8 E3-09-ACL17
CARBILLET	Marcel	H	1968	MCF	34		E5	UNS	0060931E	01/08	145,148,279,536,540
CHADID	Minéme	F	1969	Astro-adj	34		E2	OCA	0060099A	01/08	53,51,49,426,63
CHAPELLIER	Eric	H	1953	Astro-adj	34		E2	OCA	0060099A	01/08	1,49,53,3,28
CHAVINEAU	Bertrand	H	1962	Astro-adj	34	oui	E3	OCA	0060099A	01/2011	
CHESNEAU	Olivier	H	1972	Astro-adj	34	oui	E2	OCA	0060099A	01/08	44,283,295,311,323
CORBARD	Thierry	H	1970	Astro-adj	34	non	E2	OCA	0060099A	01/2004	E4-09-ACL2 E4-09-ACL3 E4-08-ACL2 E4-08-ACL3 E4-07-ACL3
CRIDA	Aurélien	H	1980	MCF	34	non	E1	UNS	0060931E	11/2009	E3-10-ACL4 E3-09-ACL13 E3-09-ACL12 E3-08-ACL6 E3-07-ACL13
DE LAVERNY	Patrick	H	1967	Astro-adj	34	oui	E3	OCA	0060099A	01/2004	E2-06-ACL8 E2-08-ACL3 E2-09-ACL1 E2-08-ACL1 E4-06-ACL2
DOMICIANO DE SOUZA	Armando	H	1973	Astro-adj	34		E2	OCA	0060099A	01/08	9,280,18,108,284
FAUROBERT	Marianne	F	1958	PR1	34	oui	E2	UNS	0060931E	01/08	12,33,46,531,537
FERRARI	Chiara	F	1975	Astro-adj	34	non	E3	OCA	0060099A	09/2008	E1-09-INV1 E1-09-ACL4 E1-09-ACL5 E1-10-ACL2 E1-10-INV1
FERRARI	André	H	1960	PR1	61	oui	E5	UNS	0060931E	01/08	528,529,536,540,595
FOLCHER	Jean-Pierre	H	1966	MCF	61		E5	UNS	0060931E	01/08	579
FOSSAT	Eric	H	1944	Astro	34	oui	E5	OCA	0060099A	01/08	410,411,424,427,476
LOPEZ	Bruno	H	1965	Astro	34	oui	E1	OCA	0060099A	01/08	128,140,143,157,207
MARY	David	H	1973	MCF	34		E5	UNS	0060931E	01/08	539,580,591,611,614
MILLOUR	Florentin	H	1980	Astro-adj	34		E1	OCA	0060099A	09/10	121,263,289,323
MONIER	Richard	H	1956	PR2	34	oui	E2	UNS	0060931E	01/08	21,22,23,24,34
MOURARD	Denis	H	1962	Astro	34	oui	E2	OCA	0060099A	01/08	141,336,522,6,130
NICCOLINI	Gilles	H	1974	MCF	34		E2	UNS	0060931E	01/08	7,106,297,333,525
OBERT	Pascal	H	1957	Astro-adj	34	non	E1	OCA	0060099A	01/2008	
RABBIA	Yves	H	1945	Astro	34	oui	E2	OCA	0060099A	01/08	115,117,168,260,275
RECIO BLANCO	Alejandra	F	1975	Astro-adj	34	non	E3	OCA	0060099A	09/2007	E2-06-ACL16 E2-06-ACL17 E2-07-ACL19 E2-07-ACL4 E2-09-ACL2
RICHARD	Cédric	H	1970	PR1	61	oui	E5	UNS	0060931E	08/09	R2,R4,R6,R8,R10
ROBBE-DUBOIS	Sylvie	F	1967	MCF	34		E5	UNS	0060931E	01/08	116,118,140,425,506
ROZELOT	Jean-Pierre	H	1942	Astro	34	oui	E2	OCA	0060099A	01/08	42,15,36,29,41
SLEZAK	Eric	H	1961	Astro	34	oui	E3	OCA	0060099A	01/2004	E1-09-ACL12 E1-09-ACL2 E1-08-ACL3 E1-07-ACL4 E1-06-ACL1
TANGA	Paolo	H	1966	Astro-adj	34	non	E1	OCA	0060099A	01/2004	E2-09-ACL20 E3-09-ACL15 E3-09-ACL46 E2-07-ACL20 E2-08-ACL9
THEYS-FERRARI	Coline	F	1967	MCF	61		E5	UNS	0060931E	01/08	534,547,559,578,587
VAKILI	Farokh	H	1952	Astro	34	oui	E1	OCA	0060099A	01/08	18,114,135,455,526
WILLIGER	Gerard	H	1962	PR2	34	oui	E2	UNS	0060931E	09/09	W11,W10,W3,W4,W2
ZIAD	Aziz	H	1965	PR2	34	oui	E5	UNS	0060931E	01/08	419,415,420,423,424

(7) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

Récapitulatif EC	Nombre d'EC	dont HDR
Etablissement de rattachement déposant : OCA	22	10
Etablissement de rattachement : UNS	16	7
Etablissement de rattachement :		
Autres établissements		
Total EC	38	17

(1) PREX, PR1, PR2, DIRH, DIRP, Physicien, Astro, PUPHEX, PUPH1, PUPH2, MCF, MCFP, Phys-adj, Astro-adj, MCFPHHC, MCFPH1, MCFPH2.

(2) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux enseignants-chercheurs habilités à diriger des recherches, y compris les PR.

(3) Cf. tableau 1.

(4) Etablissement d'enseignement supérieur et de recherche figurant sur l'unité d'affectation de l'enseignant-chercheur.

(5) Sélectionnez l'établissement dans la liste ci-dessus pour afficher le code ou reportez-vous aux nomenclatures en annexe.

(6) Mois et année.

(7) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

Professeurs des universités et assimilés	PREX	Professeur des universités, du Collège de France, du MNHN, de l'INALCO, du CNAM, de l'ECAM
	PR1	
	PR2	
	DIRH	Directeur de recherche EHESS
	DIRP	Directeur de recherche EPHE, EFE, Ec. Nat. Chartes
Maîtres de conférences et assimilés	Physicien	Physicien
	Astro	Astronome
	PUPHEX	
	PUPH1	Professeurs des universités-Praticiens hospitaliers
	PUPH2	
	MCFHC	
	MCF	Maître de conférences des universités, de l'EHESS, du MNHN
	MCFP	Maître de conférences EPHE, EFE, Ec. Nat. Chartes
	Phys-adj	Physicien adjoint
	Astro-adj	Astronome adjoint
	MCUPHHC	
	MCUPH1	Maître de conférences des universités-Praticiens hospitaliers
	MCUPH2	



2 – Ressources humaines

2.2 - Liste nominative des autres enseignants et enseignants-chercheurs (secteurs privé et public) proposée au 1er janvier 2012 (hors recrutements escomptés)

(à classer par établissement de rattachement ou, s'il en existe, par équipe interne)

Nomenclature à respecter : CCA, AHU, PREM, PAST, PRAG, PRCE, EC contractuel, CBIB, EC autres min., autre

NICE

code établissement = code

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Statut (1)	HDR (2)	Etablissement employeur (3)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'exercice, le cas échéant (5)	Code de l'établissement d'exercice (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 productions les plus significatives dans la période évaluée (8)
BIJAOU	Albert	H	1943	autre	oui	OCA	E1	OCA	0060099A	01/2004	E2-06-ACL17 E2-09-ACT11 E2-09-INV1 E1-08-ACT11 E1-07-
BORGNO	Julien	H		autre	oui	UNS	E5	UNS	0060931E	01/08	
DE FREITAS PACHECO	José	H	1942	autre	oui	OCA	E2	OCA	0060099A	01/2005	E1-06-ACL15 E1-06-ACL13 E1-07-ACL3 E1-08-ACL7 E1-08-
LANTERI	Henri	H	1943	autre	oui	UNS	E5	UNS	0060931E	01/08	519, 520, 521, 534, 542
PROVOST	Jeanine	F	1942	autre	oui	OCA	E2	OCA	0060099A	01/08	E4-10-ACL1 E4-08-ACL7 E4-08-ACL12 E4-07-ACL1 E4-07-
RICORT	Gilbert	H	1941	PREM	oui	UNS	E5	UNS	0060931E	01/08	60,133,193,124,531

Total 6

dont HDR 6

(1) CCA, AHU, PREM, PAST, PRAG, PRCE, EC contractuel, CBIB, EC autres min., autre.

(2) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux enseignants-chercheurs habilités à diriger des recherches.

(3) Préciser le nom de l'établissement, institution... qui emploie l'enseignant ou enseignant-chercheur.

(4) Cf. tableau 1.

(5) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici l'établissement d'enseignement supérieur où l'enseignant ou enseignant-chercheur effectue son activité. Sélectionnez l'établissement dans la liste ci-dessus pour afficher le code ou reportez-vous aux nomenclatures en annexe.

(6) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici le code de l'établissement d'enseignement supérieur où l'enseignant ou enseignant-chercheur effectue son activité. Si l'unité est rattachée à un seul établissement d'enseignement supérieur, indiquer le code de cet établissement.

Si l'enseignant ou enseignant-chercheur est hébergé dans d'autres locaux que ceux des établissements d'enseignement supérieur de rattachement, indiquer le code de l'établissement d'enseignement supérieur support de l'unité.

(7) Mois et année.

(8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

CCA	Chef de clinique assistant
AHU	Attaché hospitalier universitaire
PREM	Professeur émérite
PAST	Professeur associé à temps partiel
PRAG	Professeur agrégé
PRCE	Professeur certifié
EC contractuel	Enseignant-chercheur contractuel (dont contrats LRU)
CBIB	Conservateur de bibliothèques
EC autres min.	Enseignant-chercheur autres ministères
autre	autre statut



2 – Ressources humaines

2.3 - Liste nominative des chercheurs des EPST et cadres scientifiques des EPIC proposée au 1er janvier 2012

(à classer par équipe interne s'il en existe)

Nomenclature à respecter : DRCE, DR1, DR2, CR1, CR2, Cadres scientifiques EPIC (supérieur, confirmé, débutant), autre

NICE

code établissement = code

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Organisme de recherche d'appartenance (1)	Corps grade (2)	Section ou comité d'évaluation de l'organisme	HDR (3)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'exercice, le cas échéant (5)	Code de l'établissement d'exercice, le cas échéant (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 productions les plus significatives dans la période évaluée (8)
BEC	Jérémy	H	1976	CNRS	CR1	10	non	E4	OCA	0060099A	01/2004	E5-06-ACL1 E5-07-ACL7 E5-07-ACL3 E5-08-ACL4 E5-10-ACL12
BIGOT	Lionel	H	1975	CNRS	CR2	17	non	E2	OCA	0060099A	01/2005	E2-08-ACL5 E2-08-ACL15 E2-07-ACL8 E2-06-ACL2 E2-06-ACL1
BLAZIT	Alain	H	1950	CNRS	CR1	17	OUI	E2	UNS	0060931E	01/08	123,134,141,214,484
CRUZALEBES	Pierre	H	1963	CNRS	CR1	17	OUI	E2	UNS	0060931E	01/08	45,277,290,306,522
DELBO	Marco	H	1972	CNRS	CR2	17	non	E1	OCA	0060099A	01/2006	E3-09-ACL29 E2-09-ACL9 E3-09-ACL15 E2-08-ACL4 E2-07-ACL10
EPCHTEIN	Nicolas	H	1948	CNRS	DR2	17	OUI	E2	UNS	0060931E	01/08	147,223,637,636,319
GUILLLOT	Tristan	H	1970	CNRS	DR2	17	OUI	E1	OCA	0060099A	01/2004	E3-06-ACL11 E3-08-ACL12 E3-09-ACL16 E3-09-ACL14 E3-10-ACL16
HILL	Vanessa	F	1970	CNRS	CR1	17		E3	OCA	0060099A	09/2008	AUTRE-08-ACL3 AUTRE-08-ACL4 AUTRE-08-ACL8 AUTRE-08-ACL9 E2-09-ACL1
MAUROGORDATO	Sophie	F	1963	CNRS	CR1	17	OUI	E3	OCA	0060099A	01/2004	E1-06-ACL6 E1-06-ACL7 E1-07-ACL12 E1-08-ACL5 E1-10-ACL1
MEKARNIA	Djamel	H	1956	CNRS	CR1	17		E2	UNS	0060931E	01/08	89,134,424,417
MICHEL	Patrick	H	1970	CNRS	DR2	17	OUI	E1	OCA	0060099A	01/2004	E3-06-ACL21 E3-08-ACL30 E3-09-ACL35 E3-10-ACL7 E3-10-ACL12
MIGNARD	François	H	1949	CNRS	DRCE	17	OUI	E1	OCA	0060099A	01/2004	E2-08-ACL8 E2-08-ACL4 E2-07-ACL23 E2-06-ACL7 E2-07-ACL16
MORBIDELLI	Alessandro	H	1966	CNRS	DR2	17	OUI	E1	OCA	0060099A	01/2004	E3-10-ACL1 E3-09-ACL36 E3-09-ACL38 E3-08-ACL19 E3-07-ACL14
NAMOUNI	Fathi	H	1969	CNRS	CR1	17	OUI	E1	OCA	0060099A	01/2004	E3-07-ACL16 E3-07-ACL17 E3-07-ACL4 E3-08-ACL23 E3-09-ACL48
NARDETTO	Nicolas	H	1978	CNRS	CR2	17		E2	UNS	0060931E	10/09	N8, N2, N4, N7 et 6
NOULLEZ	Alain	H	1962	CNRS	DR2	10	OUI	E4	OCA	0060099A	01/2004	E5-10-ACL11 E5-09-ACL4 E5-09-ACL15 E5-07-ACL23 E5-07-ACL9
PASSOT	Thierry	H	1960	CNRS	DR2	17	OUI	E4	OCA	0060099A	01/2004	E5-10-ACL7 E5-09-ACL2 E5-09-ACL10 E5-07-ACL13 E5-07-ACL16
PETROV	Romain	H	1958	CNRS	DR2	17	OUI	E1	UNS	0060931E	01/08	116,400,113,289,429
PICHON	Bernard	H	1959	CNRS	CR1	17	non	E2	OCA	0060099A	01/2004	E2-10-ACL8 E2-10-ACL5 E2-07-ACL9 E2-08-ACL5 E2-06-ASCL1
PONTY	Yannick	H	1968	CNRS	CR1	10	non	E4	OCA	0060099A	01/2004	E5-08-OS1 E5-08-ACL1 E5-08-ACL3 E5-07-ACL18 E5-07-ACL19
REGIMBAU (Associée 50%)	Tania	F		CNRS	CR1	17	OUI	E3	OCA	0060099A	01/2012	
RIVET	Jean-Pierre	H	1964	CNRS	CR1	17	non	E4	OCA	0060099A	01/2004	E5-07-ACL1 E5-08-ACL12 E5-09-ACL5 E3-09-ACL14 E5-10-ACL9
SCHMIDER	François-Xavier	H	1959	CNRS	CR1	17		E1	UNS	0060931E	01/08	119,128,134,486,496
STEE	Philippe	H	1968	CNRS	CR1	17	OUI	E2	UNS	0060931E	01/08	287,288,299,321,330
SULEM	Pierre-Louis	H	1951	CNRS	DR1	10	OUI	E4	OCA	0060099A	01/2004	E5-07-ACL16 E5-08-ACL10 E5-09-ACL10 E5-09-ACL2 E5-09-ACL14
THEVENIN	Frédéric	H	1955	CNRS	DR2	17	OUI	E2	OCA	0060099A	01/2004	E2-06-ACL2 E2-07-ACL8 E2-07-ACL15 E2-09-ACL11 E2-06-ACL11
VERNIN	Jean	H	1946	CNRS	DR2	17	OUI	E5	UNS	0060931E	01/08	51,406,412,418,426

Récapitulatif chercheurs (préciser l'organisme de recherche)	Nombre de chercheurs	dont HDR	Nombre de chercheurs	dont HDR	Nombre de chercheurs	dont HDR	Total ch.
exerçant dans l'établissement de rattachement déposant : OCA	18,00	11,00					18,00
exerçant dans l'établissement de rattachement : UNS	9,00	6,00					9,00
exerçant dans l'établissement de rattachement :							0,00
Total chercheurs	27,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00

(1) EPST ou EPIC employeur : CNRS, Inserm, INRA, IRD, CEA, IFREMER, CIRAD...

(2) DRCE, DR1, DR2, CR1, CR2, Cadre sc. EPIC, autre.

(3) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux chercheurs habilités à diriger des recherches.

(4) Cf. tableau 1.

(5) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(6) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici le code de l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(7) Mois et année.

(8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

DRCE	
DR1	Directeur de recherche EPST
DR2	
CR1	Chargé de recherche EPST
CR2	
Cadre supérieur	
Cadre confirmé	Cadre scientifique des EPIC
Cadre débutant	
autre	autre statut



2 – Ressources humaines

2.4 - Liste nominative des autres chercheurs (secteurs privé et public) proposée au 1er janvier 2012 (hors recrutements escomptés)

(à classer par équipe interne s'il en existe)

Nomenclature à respecter : PH, CJC, Ch. contractuel, autre, DREM

NICE ▼

code établissement = **code**

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Statut (1)	HDR (3)	Institution d'appartenance (2)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'exercice, le cas échéant (5)	Code de l'établissement d'exercice, le cas échéant (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 productions les plus significatives dans la période évaluée (8)
CAPPI	Alberto	H	1962	autre	oui	Univ. De Bologne	E2			01/2005	E1-06-ACTI4 E1-07-ACL12 E1-08-ACL5 E1-08-ACL6 E1-10-
CAVAGNOLO	Kenneth	H	1980	autre	non	OCA	E2			09/2010	
FRISCH	Hélène	F	1940	DREM	oui	CNRS	E4			01/2004	E5-06-ACL8 E5-06-ACL7 E5-07-ACL10 E5-09-ACL6 E5-09-
FRISCH	Uriel	H	1940	DREM	oui	CNRS	E4			01/2004	E5-06-ACL13 E5-07-ACL17 E5-08-ACL11 E5-08-ACL13 E5-10-
GUYON-MARKT	Julie	F	1981	autre	non	CNES	E1			10/2010	
HOMANN	Holger	H	1977	autre	non	CNRS	E4			09/2010	
KRSTULOVIC	Giorgio	H	1980	autre	non	CNRS	E4			10/2010	
MARCHI	Simone	H	1973	autre	non	UNS	E1			09/2010	
MOREL	Pierre	H	1937	autre	oui	OCA	E2				E4-06-ACL4 E4-07-ACL3 E4-08-ACL9 E2-10-ACL10 E2-10-
RAY	Samridhi Sankar	H	1981	autre	non	CNRS	E4			11/2010	
REINISCH	Gilbert	H	1942	autre	oui	CNRS	E4			01/2004	E5-07-ACL21 E5-07-ACL12 E5-08-ACL22 E5-09-OV1
SALABERT	David	H	1976	autre	non	CNES	E2			12/2010	
SUAREZ	Olga	F		autre	non	OCA	E2			01/2008	

Total 13

dont HDR 5

(1) PH, CJC, Ch. contractuel, autre. Les DR émérites (DREM) seront inscrits dans ce tableau.

(2) Préciser le nom de l'organisme, établissement, fondation, entreprise, ministère etc. qui emploie le chercheur.

(3) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux chercheurs habilités à diriger des recherches.

(4) Cf. tableau 1.

(5) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(6) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici le code de l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(7) Mois et année.

(8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

DREM	Directeur de recherche émérite
PH	Praticien hospitalier
CJC	Contrat jeune chercheur INSERM (CDD 3 / 5 ans, Avenir)
Ch. contractuel	Chercheur contractuel
autre	autre statut



2 – Ressources humaines

2.5 - Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs, personnels ouvriers et de service (ITA des EPST, IATOS de l'enseignement supérieur) et des personnels d'accompagnement cadre et non cadre des EPIC, proposée au 1er janvier 2012
(à classer par équipe interne s'il en existe)

Nomenclature à respecter :
IATOS ministère : CASU, APAEN, AAEN, SAEN ; IGR, IGE, ASI, TCH, ADT, AGT
ITA organismes : IR, IE, AI, TCH, AJT, AGT Personnels EPIC (Cadre et Non cadre)

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Corps grade ou niveau de classement (1)	B.A.P. (2)	HDR (3)	Participation à l'unité en ETPT (4)	Organisme de recherche d'appartenance pour les personnels EPST ou EPIC, Etablissement d'enseignement supérieur d'affectation pour les IATOS (5)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (ou SC services communs) (7)	Date d'arrivée dans l'unité (8)
AGABI	Abdelkrim	H	1964	IGR	C		1	UNS		01/08
ALLOMBERT	Danielle	F	1947	IE	E		1	CNRS		01/08
ANTONELLI	Pierre	H	1955	IGR	C		1	OCA		01/08
ASSUS	Pierre	H	1947	IR	C		1	CNRS		01/08
BAILET	Christophe	H	1971	ASI	C		1	OCA		12/09
BERIO	Philippe	H	1972	IR	E		1	CNRS		09/08
BETTINI	Jocelyne	F	1964	ADT	J		1	UNS		01/08
BIANCHERI	Gérard	H	1964	TCH	J		0,8	CNRS		01/08
BRESSON	Yves	H	1957	IE	C		1	CNRS		01/08
CHERON	Valérie	F	1969	AI	J		0,5	CNRS		01/08
CLAUSSE	Jean-Michel	H	1956	IR	E		1	CNRS		01/08
DABAN	Jean-Baptiste	H	1966	IR	C		1	CNRS		01/08
DAIRE	Caroline	F	1971	TCH	J		1	CNRS		01/08
DIMUR	Cécile	F	1963	IE	E		1	CNRS		01/08
DOUET	Richard	H	1969	AI	C		1	CNRS		01/08
DUGUE	Michel	H	1951	IR	E		1	CNRS		01/08
FANTEI-CAUJOLLE	Yan	H	1967	AI	E		1	CNRS		01/08
FARRUGIA	Catherine	F	1963	TCH	J		1	OCA		01/08
FLAMENT	Sébastien	H	1967	AI	E		0,8	CNRS		01/08
GOLETTA	Sylvie	F	1964	ADT	J		1	OCA		01/2004
GOUVRET	Carole	F	1978	IR	C		1	CNRS		01/08
GUITION	Florence	F	1972	IE	E		0,5	CNRS		03/2005
HENAULT	François	H	1961	IR	C	oui	1	CNRS		01/08
LAGARDE	Stéphane	H	1967	IR	C		1	CNRS		01/08
LAPASSAT	Isabelle	F	1976	ADT	J		0,8	OCA		01/08
LAVEDER	Dimitri	H	1970	IR	E		1	CNRS		01/2004
LEGA	Elena	F	1966	IR	E	oui	0,9	CNRS		01/2004
MARCOTTO	Aurélien	F	1981	IGE	C		1	OCA		01/08
MATTEI	Damien	H	1968	IE	E		1	CNRS		01/08
MORAND	Frédéric	H	1968	IGE	C		1	OCA		01/08
ORDENOVIC	Christophe	H	1969	IR	E		1	CNRS		05/2004
OTTOGALLI	Sébastien	H	1968	IR	C		1	CNRS		03/08
PINTO	Rose	F	1964	AI	J		1	CNRS		01/2004
RENAUD	Catherine	F	1954	IR	E		1	CNRS		01/2004

ROBERT	Carolyn	F	1974	TCH	E		1	CNRS		03/10
ROUSSEL	Alain	H	1948	IE	C		1	CNRS		01/08
ROUSSET	Sophie	F	1972	IE	J		0,8	CNRS		12/2007
SPANG	Alain	H	1965	ASI	C		1	OCA		01/08
SZELES	Sylvie	F	1956	TCH	J		1	CNRS		09/2007
UBALDI	Fabrice	H	1955	TCH	E		1	CNRS		01/2004
VANNIER	Martin	H	1971	IGR	E		1	UNS		12/08

Récapitulatif IATOS titulaires (ministère)	Nombre d'IATOS en ETPT	dont HDR
Etablissement de rattachement déposant : OCA	8,00	
Etablissement de rattachement : UNS	3,00	
Etablissement de rattachement :		
Autres établissements		
Total IATOS	11,00	0,00

Récapitulatif ITA titulaires (préciser l'organisme de recherche) : CNRS	Nombre d'ITA... en ETPT	dont HDR	Nombre d'ITA... en ETPT	dont HDR	Nombre d'ITA... en ETPT	dont HDR	Total ITA
exerçant dans l'établissement de rattachement déposant : OCA	21,00	2,00					21,00
exerçant dans l'établissement de rattachement : UNS	9,00						9,00
exerçant dans l'établissement de rattachement :							0,00
Total ITA	30,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00

(1) IATOS ministère : CASU, APAEN, AAEN, SAEN ; IGR, IGE, ASI, TCH, ADT, AGT.

ITA organismes : IR, IE, AI, TCH, AJT, AGT.

Personnels non cadre des EPIC : Non cadre EPIC.

(2) Branche d'activité professionnelle, de A à J.

(3) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux personnels habilités à diriger des recherches.

(4) En équivalent temps plein travaillé (1 = temps complet dans l'unité ; 0,5 = mi-temps dans l'unité etc...)

Exemple : Un personnel à temps plein qui travaille dans 2 unités de recherche à égalité de temps comptera 0,5 dans chacune d'entre elles (0,25 s'il est à mi-temps)

(5) Pour les IATOS : nom de l'établissement d'affectation. Pour les ITA : nom de l'organisme de recherche employeur (CNRS, Inserm, INRA, IRD, CEA, CIRAD...).

(6) Cf. tableau 1.

(7) Mois et année.

ATOS	CASU	Conseiller d'administration scolaire et universitaire
	APAEN	Attaché principal d'administration de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur
	AAEN	Attaché d'administration de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur
	SAEN	Secrétaire administratif de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur
ITRF	IGR	Ingénieur de recherche
	IGE	Ingénieur d'études
	ASI	Assistant ingénieur
	TCH	Technicien de l'EN ou de laboratoire
	ADT	Adjoint administratif
ITA	AGT	Agent administratif ou de laboratoire
	IR	Ingénieur de recherche
	IE	Ingénieur d'études
	AI	Assistant ingénieur
	TCH	Technicien de recherche
	AJT	Adjoint de recherche
Personnels EPIC	AGT	Agent de recherche
	Cadre EPIC	Personnel cadre des EPIC
	Non cadre EPIC	Personnel non cadre des EPIC



2 – Ressources humaines

2.6 - Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs, personnels ouvriers et de service contractuels (secteurs privé et public) proposée au 1er janvier 2012
(hors recrutements escomptés)

(n'inscrire que les personnels en CDI ou en CDD supérieur à 6 mois)

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Corps grade (1)	B.A.P. (2)	Participation à l'unité en ETPT (3)	Etablissement employeur (4)	Type et durée du contrat (5)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (ou SC services communs) (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)
GALLUCCIO	Laurent	H	1983	IR	E	1,00	INSU	CDD 15 mois		10/2010

Total en ETPT	1
----------------------	----------

(1) CT.A, CT.B, CT.C, ou CT.

(2) Préciser si possible la BAP équivalente (branche d'activité professionnelle, de A à J).

(3) En équivalent temps plein travaillé (1 = temps complet dans l'unité ; 0,5 = mi-temps dans l'unité etc...).

Exemple : Un personnel à temps plein qui travaille dans 2 unités de recherche à égalité de temps comptera 0,5 dans chacune d'entre elles (0,25 s'il est à mi-temps).

(4) Préciser le nom de l'organisme, établissement, fondation, entreprise, ministère etc. qui emploie l'ITA.

(5) Préciser : CDI, CDD 6 mois, CDD 12 mois...

(6) Cf. tableau 1.

(7) Mois et année.



2 – Ressources humaines

2.7 - Liste des doctorants à la date de dépôt du dossier (à classer par équipe interne s'il en existe)

En cas de reconfiguration de l'unité (fusion, éclatement...), mentionner les doctorants qui feraient partie de la nouvelle unité.
Ne seront pas mentionnés les doctorants dont la date de soutenance est fixée avant le 1er janvier 2012.

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance	Etablissement ayant délivré le master (ou diplôme équivalent) du doctorant	Directeur(s) de thèse	Date de début de thèse (1)	Financement du doctorant (2)	FI / FC (3)	N° des productions issues du travail du doctorant (4)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (5)
ABELLI	Andrea	H	1984	UNS	A. Ferrari	11/2009	A	FI	582	E5
BRIGHT	Stacey	F	1985	Université de Macquarie	O. Di Marco/ O. Chesneau	11/2009	ETR	FI		E1
CHEN	Jie	H	1984	Université de Troyes	C. Richard	09/2009	ETR	FI	547,584,622	E5
COMITO	Carlo	H	1980	Univ de Pise	P. Tanga, E. Bois	01/2009	ETR	FI	E2-09-COM1 E2-09-ACL20	E1
DE ROANY	Alain	H	1964	UNS	T. Regimbau	10/2010	fonds propres	FC		E3
HADJARA	Massinissa	H	1980	UNS	F. Vakili	11/2009	AUCUN	FI		E1
KILICOGLU	Tolgahan	H	1983	(Turquie)	R. Monier	09/2009	ETR	FI		E2
LIGI	Roxanne	F	1987	Université Paris-Sud XI	D. Mourard	09/2010	COLL TERR	FI		E2
MURDOCH	Naomi	F	1984	Univ Edimbourg Ecosse	P. Michel	04/2009	INDUSTR	FI	-	E1
N'GUYEN	Hoang	H	1984	Université de Nice	C. Richard	09/2010	A	FI		E5
PARIS	Silvia	F	1983	Sapienza*	Slezak ou Ferrari	09/2010	A	FI		E5
PARMENTIER	Vivien	H	1986	ENS	T. Guillot	09/2010	A	FI		E1
ROSTAGNI	Florent	H	1987	Antipolis	C. Benoist, S. Maurogordato	09/2009	A	FI	E1-09-AP1	E3
SOULAT	Laurence	F	1986	Lannion	F.X. Schmider	10/2010	CNES/Thales	FI		E1
SWAELMEN	Mathieu	H	1986	Antipolis	V. Hill, S. Maurogordato	09/2009	A	FI	-	E3

Total des doctorants à la date de dépôt du dossier 15

(1) Mois et année.

(2) A, AM, AC, AMX, ATER, CIFRE, SECD, BDI CNRS, INDUSTR, ASSOC, COLL TERR, ETR, Autre (préciser), AUCUN.

(3) FI : formation initiale, FC : formation continue.

(4) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

(5) Cf. tableau 1.

Financement du doctorant	A	Allocataire de recherche
	AM	Allocataire-moniteur
	AMX	Allocataire-moniteur polytechnicien
	ATER	Assistant temporaire d'enseignement et de recherche
	CIFRE	Convention industrielle de formation par la recherche
	SECD	Enseignant du second degré
	BDI CNRS	Bourse de doctorat pour ingénieur - CNRS
	INDUSTR	Bourse industrie
	ASSOC	Bourse association
	COLL TERR	Bourse collectivité territoriale
	ETR	Etranger
	(...)	Autre financement à préciser
	AUCUN	Aucun financement



3 – Surfaces recherche (en m² SHON*)
prévues pour l'unité de recherche au 1^{er} janvier 2012

Les surfaces occupées par les structures fédératives feront l'objet d'une identification spécifique dans le dossier de la structure fédérative.

Etablissement(s) d'enseignement supérieur et/ou organisme(s) prenant en charge des coûts d'infrastructures " recherche" de l'unité	Ventilation des surfaces en m ²
Etablissement de rattachement : Université de Nice	2096
Etablissement de rattachement : OCA	3752
Etablissement de rattachement :	
Organisme de recherche :	
Organisme de recherche :	
Autres (AP-HP, CHU, CHR, autre à préciser) :	
TOTAL des surfaces	

* Surface hors œuvre nette. Surface SHON = surface utile x 1,4.

Surface utile : surface d'une pièce mesurée à l'intérieur des murs porteurs et des cloisons.

Surface hors œuvre nette : surface administrative utilisée lors du dépôt du permis de construire qui correspond à la somme des surfaces délimitées par les périmètres extérieurs de la surface horizontale de chaque étage clos ou sous-sol aménagé déduction faite des surfaces non exploitables (balcons, terrasses, volumes non clos).

