



RAPPORT D'ACTIVITÉ 2004-2007

et



PERSPECTIVES du Laboratoire d'Astronomie de Lille

Version septembre 2008

LABORATOIRE :

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides (IMCCE)

- UMR 8028 (Établissements: Observatoire de Paris, Paris 6, Lille 1)
- 13 enseignants-chercheurs (4 professeurs ou astronomes, 9 maîtres de conférences ou astronomes adjoints)
- 7 chercheurs (2 directeurs de recherche, 5 chargés de recherche)
- 6 ITA et IATOS
- 11 doctorants

Le **Laboratoire d'Astronomie de Lille** (LAL) est l'équipe de Lille 1 de l'IMCCE.

En 2008, il est composé de:

- Alain VIENNE, Professeur, responsable du laboratoire
 - Maître de Conférences (jusqu'en août 2007)
 - Professeur (depuis septembre 2007)
- Marc FOUCHARD, Maître de Conférences
 - depuis septembre 2006
- Arnaud PIERENS, ATER
 - Février 2008 à août 2009
- Benoît NOYELLES, Postdoc
 - Doctorant (jusqu'en 2005)
 - Postdoc (ATER Lille 1, Chine, Namur; 2006-...)
- Stefan RENNERT, Maître de Conférences
 - depuis septembre 2008

Thèses en cours:

- Josselin DESMARS (directeurs : A. VIENNE et J.E. ARLOT, 2004-2008)
- Julien FROUARD (directeurs : A. VIENNE et M. FOUCHARD, 2006-2010)

THÈMES DE RECHERCHE:

- Dynamique des systèmes des satellites des grosses planètes
- Planétologie dynamique
- Dynamique des comètes

... et plus précisément :

- Amélioration et extension des éphémérides des satellites de Saturne
- Scénario de formation de la résonance Laplacienne (Jupiter)
- Projet pour la mission vers Europe
- Rotation de Titan
- Marée d'Encelade
- Propagation des erreurs dans les éphémérides de satellites
- Dynamique à long terme des comètes
- Étude des processus de capture de satellites de planètes

TABLE DES MATIÈRES

I. Recherches effectuées	p. 5
1.1 Mouvement des satellites principaux de Jupiter et de Saturne	
1.2 Analyse d'observations	
1.3 Étude de la dynamique des comètes	
1.4 La rotation de Titan	
II. Encadrements et collaborations	p. 10
2.1 Encadrement et direction de recherche :	
2.2 Collaborations extérieures	
2.3 Collaboration avec l'Université de Namur	
III. Publications	p. 11
IV. Activités pédagogiques des enseignants du LAL	p. 16
V. Tâches d'intérêt général	p. 17
5.1 Radio-détection des météores	
5.2 Organisation de séminaires Astronomie & Dynamique des Systèmes Gravitationnels	
5.3 Workshop sur la dynamique des comètes	
5.4 Colloques	
5.5 Responsabilités administratives	
5.6 2009: Année Mondiale de l'Astronomie	
5.7 Diffusion de l'information scientifique	
5.8 Mission GAIA	
5.9 Média	
VI. Programme de recherche	p. 20
VII. Promouvoir l'enseignement des sciences	p. 24
VIII. Actions pour le Laboratoire d'Astronomie de Lille	p. 25
8.1 Mener des projets de collaboration au niveau européen	
8.1.1 Projets avec l'université de Namur	
8.1.2 Éphémérides européennes	
8.2 Renforcer les liens avec les mathématiques de Lille 1	
8.3 Se rapprocher de la physique de Lille 1	
8.4 Activités de recherche appliquée	

RAPPORT D'ACTIVITÉ 2004-2007

I. RECHERCHES EFFECTUÉES

Les axes de recherche du LAL s'inscrivent dans le domaine de la dynamique des systèmes gravitationnels et de la planétologie dynamique. Actuellement, ils concernent les systèmes de satellites de Jupiter et de Saturne. Cette recherche contient deux axes complémentaires : une étude théorique de la dynamique des systèmes et une analyse des observations qui contraignent cette dynamique.

Depuis le recrutement de M. FOUCHARD en 2006, la recherche s'étend aussi à la dynamique à long terme des comètes.

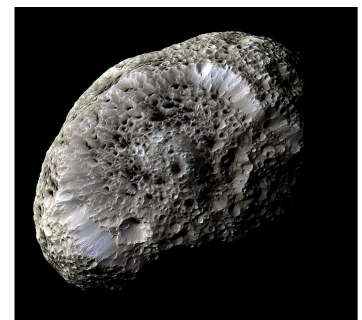
1.1 MOUVEMENT DES SATELLITES PRINCIPAUX DE JUPITER ET DE SATURNE

Il s'agit du problème de la dynamique des satellites galiléens de Jupiter (Io, Europe, Ganymède et Callisto) et des 8 satellites principaux de Saturne (Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan, Hypérion et Japet), ainsi que les petits satellites lagrangiens de Téthys et de Dioné.

Dans les modélisations, une précision compatible avec le niveau de précision actuel des meilleures observations terrestres ($0'',05$ degrés en astrométrie et $0'',02$ en phénomènes mutuels) est recherchée. Elle doit aussi être compatible avec celle atteinte par les observations des missions GALILEO et CASSINI (de l'ordre de 5 km). Ce niveau est pratiquement atteint pour ce qui concerne la précision interne. Quant à la précision externe, limitée par la précision sur les conditions initiales, elle est estimée à environ $0'',02$ (une centaine de kilomètres).

SATELLITES PRINCIPAUX ET SATELLITES LAGRANGIENS DE SATURNE

En ce qui concerne les principaux satellites de Saturne, la version actuelle de TASS (*Théorie Analytique des Satellites de Saturne*) est capable de restituer les positions des satellites à 10 km près, sauf pour Mimas (50 km), Japet (100 km) et Hypérion (250 km). Le modèle a été construit de manière complètement analytique par rapport aux paramètres physiques (masses des satellites, coefficients d'aplatissement de Saturne J_2 , J_4 et J_6 et aux constantes d'intégration).



Le satellite Hypérion

Tous les paramètres de TASS (masses, coefficients d'aplatissement de la planète, conditions initiales) ont ensuite été ajustés. Ceci a permis une bonne détermination des masses des satellites ainsi que les coefficients d'aplatissement de Saturne. Cette détermination est en bon accord avec celle basée sur les mesures faites par les sondes spatiales. Les écarts entre les positions calculées par la théorie et celles mesurées ont ainsi été réduits, avec une moyenne quadratique globale de 0"15. Mais surtout, contrairement aux anciennes représentations, celle issue de TASS garde sa capacité prédictive sur un temps plus long, c'est-à-dire qu'elle ne dérive pratiquement pas. Cela illustre la notion de cohérence dynamique qui est à la fois la capacité à prédire des positions, et aussi la capacité de la théorie à déterminer les paramètres.

Une nouvelle réduction basée sur les toutes dernières observations a été effectuée, dans le but notamment de prédire la position de Titan lors d'une occultation stellaire par ce satellite, le 14 novembre 2003.

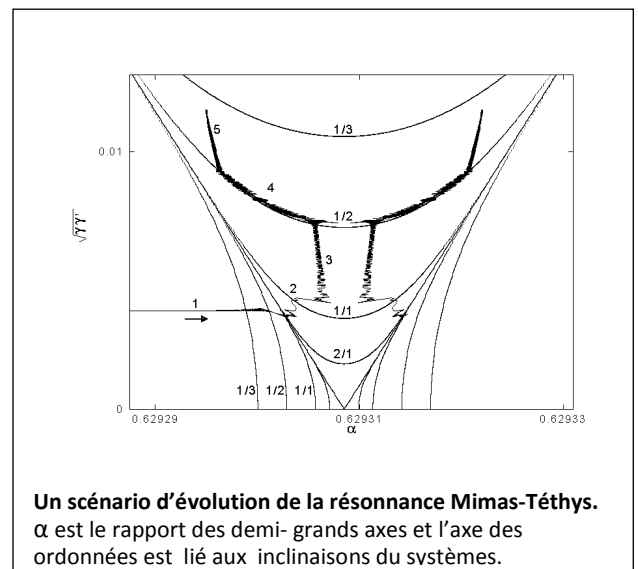
En étudiant l'évolution, sous l'effet des marées, de la résonance Mimas-Téthys, nous avons montré que le fait de considérer - pour Téthys - une orbite très légèrement excentrique change radicalement la vision que l'on avait jusqu'à maintenant de la dynamique de cette résonance.

Les résultats trouvés révèlent la richesse insoupçonnée de la dynamique du système résonnant Mimas-Téthys et résolvent un problème demeuré longtemps sans solution satisfaisante. Notamment du fait d'une capture dans une résonance secondaire, la probabilité de capture du système dans la résonance principale apparaît bien plus élevée que ce que donnaient les anciennes estimations.

Quelques essais de détermination plus précise de l'excentricité de Téthys ont été menés ; l'incertitude obtenue est encore trop élevée pour pouvoir conclure correctement sur l'amplitude de la résonance secondaire.

Les théories d'Hélène, Télésto et Calypso ont été revues et ajustées sur près de 20 ans d'observation.

Ce travail a été fait en collaboration avec Pascal OBERTI (de l'Observatoire de Nice), à l'origine de la théorie de ces satellites lagrangiens de Téthys et Dioné.



SATELLITES GALILÉENS DE JUPITER

Comme dans le cas des satellites de Saturne, la prédiction de la position des satellites galiléens de Jupiter atteignait, avec l'ancienne représentation, la précision d'environ 300 km. Cette théorie n'avait pas une très haute précision interne et, de plus, n'avait pas été construite de manière dynamiquement consistante. Ce fait empêche de déterminer précisément les paramètres physiques du système de Jupiter (ainsi, l'accélération séculaire de Io est très mal connue). De même, cela gêne la compréhension fine de la dynamique de ces satellites, notamment celle de l'origine de la résonance laplacienne.

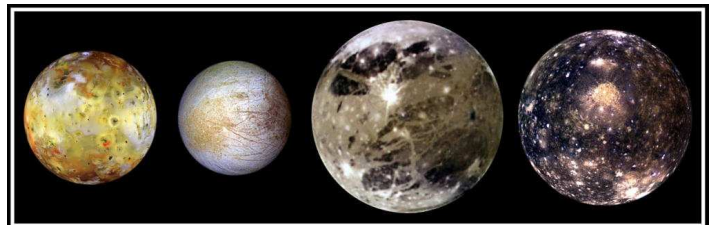
De manière générale, les retombées importantes d'une théorie sont :

- une meilleure connaissance des masses et paramètres dynamiques du système planétaire correspondant,
- une amélioration attendue de la précision sur la position de la planète elle-même par le biais de l'observation de ces satellites, et
- la possibilité de mise en évidence d'interactions faibles ou à très long terme (éventuellement non gravitationnelles) non prises en compte dans la modélisation actuelle.

Une nouvelle théorie dynamique des satellites galiléens, ajustée aux observations, a été élaborée (thèse V. LAINEY). La solution a ensuite été ajustée à plusieurs types d'observations (photographiques, CCD et phénomènes mutuels) réalisées entre les années 1891 et 2002. Un total de plus de 2000 observations a été utilisé, dont les observations :

- des campagnes d'observations de phénomènes mutuels organisées par l'IMCCE
- des campagnes PHEMU, de 1985 et 1991.

Cette représentation a aujourd'hui une fidélité de représentation de quelques dizaines de kilomètres sur un siècle, et reste définie sur plus de 1500 ans. Elle a été mise sous la forme d'une série quasi-périodique dont les arguments sont des combinaisons entières d'arguments fondamentaux. Cette forme permet l'identification de toutes les perturbations significatives du système.



Les quatre satellites galiléens de Jupiter : Io, Europe, Ganymède et Callisto.

Avec la thèse de B. NOYELLES,

nous avons mené une étude analogue à celle de la résonance Mimas-Téthys dans le système des satellites galiléens. Il s'agit de l'étude de la dynamique à long terme de ces satellites, et notamment les effets de l'inégalité de De Haerdtl 3:7 entre Ganymède et Callisto. Nous avons montré que celle-ci était génératrice de chaos et qu'elle pouvait expliquer l'actuelle différenciation de Ganymède, en ayant provoqué un intense épisode de chauffage de marée dans le passé, par forçage de l'excentricité de Ganymède.

1.2 ANALYSE D'OBSERVATIONS

Le LAL a pris part à la campagne d'observations de phénomènes mutuels de satellites de Jupiter (PHEMU03 de l'IMCCE) avec notamment 13 observations à la lunette de l'Observatoire de Lille. Notre équipe acquiert une expérience de plus en plus importante dans ce domaine puisque nous avons réduit toutes les observations de la campagne PHESAT95 (observations de phénomènes mutuels de satellites de Saturne faites en 1995 dans 17 observatoires internationaux). De plus, nous avons été sollicités pour réduire des observations de la campagne PHEMU03 faites ailleurs, notamment à Bordeaux et à l'Observatoire du Yunnan (Chine). La précision obtenue est de l'ordre de 0."02.

Ces observations de phénomènes mutuels sont les plus précises aujourd'hui (environ quelques dizaines de kilomètres). En effet, elles sont photométriques, dans la mesure où l'on observe un événement (occultation ou éclipse d'un satellite) via l'observation d'une chute en flux et contrairement aux observations de positions, la précision de ce type d'observation reste excellente quelque soit la distance de l'objet. Ces observations sont très utiles pour détecter une accélération séculaire dans les longitudes moyennes, induites par des effets de marées. Une telle détection pourrait permettre une meilleure connaissance de la structure interne des satellites concernés comme par exemple la profondeur des océans.

Une étude des écarts entre les positions observées et calculées d'observations astrométriques de satellites - et plus particulièrement des observations CCD - nous a conduits à discuter du statut de celles-ci lors de la constitution d'une base de données. Une réduction astrométrique adaptée au cas de mesures inter-satellites sans étoile de référence permet de donner des coordonnées à un facteur d'échelle et à une rotation près. Ces positions sont réellement astrométriques, dans le sens où aucune considération astrométrique n'est nécessaire pour les utiliser, même si l'on désire retoucher la calibration. La réduction a été appliquée à des observations brésiliennes de 1995 ainsi qu'à des observations chinoises de 1996-2000. Les observations du Nacional de Itajubá au Brésil ont donné 6006 positions différentielles dont la dispersion est de 0."07. Celles de l'Observatoire de Yunnan : 913 positions différentielles dont la dispersion est de 0"04.

Cette collaboration se poursuit en réduisant une autre série d'observations du même observatoire brésilien.

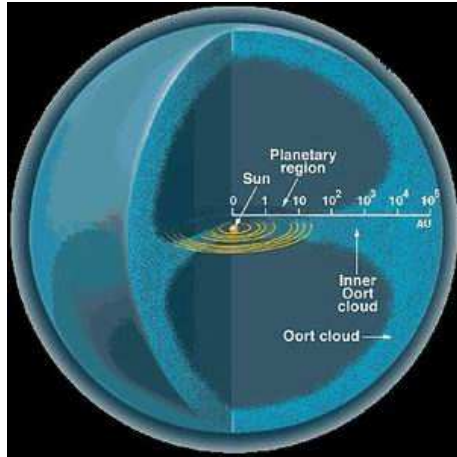
Lors de la visite de Q.Y. PENG à Lille 1 début 2004, nous avons mis au point une méthode précise de calibration astrométrique pour des images CCD à petit champ grâce à l'utilisation d'étoiles secondaires. Sa faisabilité et sa précision ont été testées sur des observations de Phobé le 9^{ème} satellite de Saturne.

1.3 ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DES COMÈTES

Ce domaine d'activités de recherche est nouveau au LAL.

La recherche en cours se place essentiellement dans le cadre de l'étude à long terme de la dynamique des comètes du nuage de Oort. Le nuage de Oort, qui correspond à la région la plus externe du système solaire, est un résidu de la formation du système solaire.

La compréhension de la dynamique des comètes du nuage de Oort est donc déterminante pour fixer des contraintes aux modèles de formation du système solaire.



D'autre part, les processus dynamiques permettant de produire des comètes de type Halley (période entre 20 et 200 ans) et des comètes à longue période (supérieure à 200 ans) mais avec un demi-grand axe inférieur à 10 000 UA, sont encore mal compris.

Pour bien comprendre la dynamique des comètes du nuage de Oort, il est nécessaire d'intégrer un grand nombre de comètes fictives sur des échelles de temps de l'ordre de l'âge du système solaire.

Lors de leur déplacement, les comètes sont perturbées par la Galaxie dans son ensemble (marée galactique), les étoiles passant au voisinage du Soleil, les perturbations planétaires, et les nuages moléculaires géants. Un travail important a été consacré à l'optimisation des modèles de perturbations galactiques et stellaires.

Nos premiers résultats publiés montrent que, contrairement à l'idée acceptée depuis deux décennies, les perturbations galactiques ne sont pas suffisantes pour expliquer la dynamique à long terme des comètes du nuage de Oort, mais qu'une synergie avec les perturbations stellaires prend place. Cette synergie modifie drastiquement le flux de comète vers les régions observables depuis la Terre, ainsi que la distribution des éléments orbitaux de ces comètes. En outre, on a pu montrer que la distribution de la direction des périhélies des comètes réelles observées, bien que montrant le signe de l'influence des perturbations galactiques, n'est pas une indication suffisante pour réfuter l'hypothèse qu'on se trouve au milieu d'une pluie cométaire. En effet, nos résultats montrent que même pendant une pluie cométaire due à une étoile passant proche du Soleil, la marque de la marée sur la direction des périhélies reste observable.

1.4 ROTATION DE TITAN

En collaboration avec l'université de Namur, une théorie analytique de la rotation de Titan à 3 degrés de liberté a été élaborée. Ce travail a consisté à utiliser les données les plus récentes de la sonde Cassini sur le champ de gravitation de Titan pour construire cette théorie qui considère Titan comme un ellipsoïde rigide.

Ce travail a donné lieu à 2 articles :

- le premier, accepté pour publication dans A&A, décrit la partie forcée de la rotation de Titan (forcée par l'influence gravitationnelle de Saturne) ainsi que la partie libre (dépendant des conditions initiales).
- le deuxième article, soumis à *Celestial Mechanics*, étudie la possibilité d'un forçage résonant d'une fréquence libre de la rotation, ainsi que ses conséquences sur la dissipation d'énergie à l'intérieur de Titan (et donc ses conséquences sur la structure interne).

II. ENCADREMENTS ET COLLABORATIONS

2.1 ENCADREMENT ET DIRECTION DE RECHERCHE :

— Thèse :

- Observatoire de Paris, FROUARD J. (prévue 2010), A. VIENNE et M. FOUCHARD, ***Dynamique des satellites lointains des planètes géantes***
- Observatoire de Paris, DESMARS J. (prévue 2008, A. VIENNE et J.E. ARLOT), ***Étude dynamique des petits satellites planétaires dans la perspective des observations spatiales par GAIA***
- Observatoire de Paris, NOYELLES B. (2005, A. VIENNE et W. THUILLOT), ***Effets des marées sur la dynamique des satellites de Jupiter et de Saturne***

— Stage Master 2

- Observatoire de Paris, FROUARD J. (2007, A. VIENNE et M. FOUCHARD), ***Étude des processus de capture de satellites de planètes***
- Observatoire de Paris, DESMARS J. (2005, A. VIENNE et J.E. ARLOT), ***Étude dynamique et étude prospective des observations par GAIA des petits satellites planétaires.***

— Participation à des jurys de Thèses :

Alain VIENNE a fait partie des jurys de thèses suivants :

- DE SAEDELEER B., Facultés Universitaires de Namur, ***Théorie analytique fermée d'un satellite artificiel de la Lune pour l'analyse de mission*** (2006).
- GAUCHEZ D., Observatoire de Paris, ***Effet des impacts sur la rotation d'un corps céleste en paramétrage multi-dimensionnel*** (2005).
- RENNER S., Observatoire de Paris, ***Dynamique générale de N satellites co-orbitaux, des arcs de Neptune et des petits satellites de Saturne; mouvement chaotique de Prométhée/Pandore*** (2004).

— Encadrement de stages de Master 1 ou d'ingénieur :

- Université de Lille 1 (Physique), LIU Z., NDONG G., ***Paramétrage du spectrographe l'observatoire de Lille*** (2008, D. Duflot (UFR, Physiques), A. VIENNE et M. FOUCHARD)
- Université de Lille 1 (Physique), MACHTO K., ***Détermination d'orbites d'étoiles doubles*** (2008, A. VIENNE et M. FOUCHARD)
- Université de Paris 11 (Mécanique), LEMÉE T., ***Outils de détection du chaos dans les systèmes planétaires*** (2007, A. VIENNE et M. FOUCHARD)
- Université de Lille 1 (Physique), BARBRY N., ***Étude et variations sur une méthode d'analyse en fréquence*** (2006, A. VIENNE et B. NOYELLES)
- Université de Lille 1 (Physique), LYOEN A., ***Traitement des images de la comète SW3*** (2006, A. VIENNE et F. COLAS)

- Université de Lille 1 (Physique), MAQUET L., **Installation d'un instrument de détection radio de météores** (2006, A. VIENNE, F. COLAS et J. VAUBAILLON)
- EPF - École d'Ingénieur, POUZET E., **Étude de l'erreur de représentation des éphémérides de satellites naturels** (2005, A. VIENNE)
- Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrasis (Mathématiques), LEVECQUE A., **Intégrateurs symplectiques** (2005, A. VIENNE et A. LEMAITRE)

2.2 COLLABORATIONS EXTÉRIEURES

Slawomir BREITER, Observatoire de Poznan (Pologne)

Gérard DOURNEAU, Observatoire de Bordeaux

Christiane FROESCHLÉ, Observatoire de Nice

Ozgur KARATEKIN, Observatoire Royal de Belgique

Anne LEMAITRE, Université de Namur (Belgique)

Qing Yu PENG, Université de Jinan et Observatoire de Yunnan (Chine)

- Q.Y. PENG invité à Lille 1 en janvier février 2004 ;
- séjour d'A. VIENNE en Chine en décembre 2005 ;
- séjour de B. NOYELLES en Chine de mars à juin 2006 ;
- Q.Y. PENG invité à l'IMCCE du 10/7 au 18/8/2006

Hans RICKMAN, Université de Uppsala (Suède)

Giovanni B. VALSECCHI, IASF, Rome (Italie)

Roberto VIERA MARTINS, Observatoire de Itajuba, (Brésil), invité à l'IMCCE du 2 juin au 3 juillet 2003

2.3 COLLABORATION AVEC L'UNIVERSITÉ DE NAMUR

Des liens existent depuis de nombreuses années avec le groupe astronomie des *Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix* (FUNDP) de Namur, notamment au travers de participations communes à des jurys de thèse.

Depuis 2 ans, ces liens ont été plus formalisés :

- co-encadrement d'un stage de master de mathématiques sur les intégrateurs symplectiques (juin-juillet 2005)
- organisation conjointe sous forme de « Journée ADSG » - Astronomie et Dynamique des Systèmes Gravitationnels (voir Sect. 5.2, p.15)
- poste post-doctorat en cotutelle entre le LAL et l'Université de Namur ("Rotation de Titan", 2007-2008, financement Namur)

III.PUBLICATIONS

Les travaux listés dans les tableaux suivants concernent la période 2004-2007 (à l'exception des travaux de M. FOUCHARD, qui sont donnés à partir de 2007).

PUBLICATIONS DE RANG A

VIENNE A., *Dynamical objectives of observations of mutual events*, accepté pour Planetary and Space Sciences, 2008.

NOYELLES B., LEMAÎTRE A. and VIENNE A., *Titan's rotation: A 3-dimensional theory*, Astron. Astrophys., 478, 959-970, 2008.

BREITER S., FOUCHARD M. and RATAJCZAK R., *Stationary orbits of comets perturbed by Galactic tides*, MNRAS, 282, 200-208, 2008.

NOYELLES B. and VIENNE A., *Chaos induced by the De Haerdtl inequality in the Galilean system*, Icarus, 190, 594-607, 2007.

BREITER S., FOUCHARD M., RATAJCZAK R. and BORCZYK W., *Two fast integrators for the Galactic tide effects in the Oort Cloud*, MNRAS, 377, 1151, 2007.

PENG Q.Y. and NOYELLES B., *Eclipses and Occultations of Galilean Satellites Observed at Yunnan Observatory in 2003*, Ch. J. Astron. Astrophys., 7, 317-324, 2007.

LAINEY V., DURIEZ L. and VIENNE A., *Synthetic representation of the Galilean satellites' orbital motions from L1 ephemerides*, Astron. Astrophys. 456, 783-788, 2006.

LAINEY V., ARLOT J.E. and VIENNE A., *New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. II-Fitting the observations*, Astron. Astrophys. 427, 371-376, 2004.

PENG Q., VIENNE A., HAN Y.B. and LI Z.L., *Precise calibration for CCD image with small field of view*, Astron. Astrophys. 424, 339-344, 2004.

LAINEY V., DURIEZ L. and VIENNE A., *New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter*, Astron. Astrophys. 420, 1171-1183, 2004.

ARLOT J.-E., VIENNE A., LEVASSEUR-REGOURD A.C. : *An international network of observations for the International Year of Astronomy*, Communicating Astronomy with the Public 2007, Proc. IAU/Nat. Obs. of Athens/ESA/ESO, 2008.

ARLOT J.-E., JIN W. J., ZHU J., PENG Q. Y., COLAS F., SHEN K. X., TANG Z. H., ZHU Z., LAINEY V., THUILLOT W., VIENNE A.: *A project of teaching ground-based astrometry*, A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry, Proc. Int. Astron. Union, IAU Symposium 248, 521-522, 2008.

DESMARS, J.; ARLOT, J.-E.; VIENNE, A. : *Influence of the astrometric accuracy of observation*, A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry, Proc. Int. Astron. Union, IAU Symposium 248,96-97, 2008.

LAINEY V., BEAUVALET L., VIENNE A.: *A new computation of tidal dissipation in Tethys*, DPS, Amer. Astron. Soc., Ithaca, 45.01, 2008.

NOYELLES B., LEMAÎTRE A., VIENNE, A. : *The 3-dimensional Rotation of Titan, and the Possibility of a Resonant Wobble*, American Astronomical Society, DDA meeting #39, #13.01, 2008.

THUILLOT W., ARLOT J.-E., VIENNE A.: *International year of Astronomy: a special project in planetary sciences, the equinox on Jupiter in 2009*, DPS, Amer. Astron. Soc., Ithaca, 18.04, 2008.

DELEFLIE F., VALK S., EXERTIER P., LEMAITRE A., VIENNE A. : *Mean motion theory and long term evolution of space debris population: why, how?*, First European Workshop on Dynamics of the Solar System and ephemerides, ESOC/ESA, Darmstadt, 2007.

FOUCHARD M., FROESCHLÉ Ch., VALSECCHI G. B. and RICKMAN H., *Methods to study the dynamics of the Oort cloud comets I : modelling the stellar perturbations*, accepté pour publication dans Lecture Notes in Physics, 2007.

FOUCHARD M., FROESCHLÉ Ch., BREITER S., RATAJCZAK R., VALSECCHI G. B. and RICKMAN H., *Methods to study the dynamics of the Oort cloud comets II : modelling the galactic tide*, accepté pour publication dans Lecture Notes in Physics, 2007.

LAINEY V., VIENNE A.: *Ephemerides of planetary satellites*, First European Workshop on Solar System dynamics and ephemerides, ESOC/ESA, Darmstadt, 2007.

LAINEY V., DESMARS J., ARLOT J., KARATEKIN O., NOYELLES B.,VIENNE A. : *First Steps Toward an Accurate Quantification of the Saturnian Tidal Dissipation*, Amer. Geophys. Union, Fall Meeting 2007, P31A-0190, 2007.

NOYELLES B., LEMAÎTRE A. and VIENNE A., *Titan's rotation : A 3-degree of freedom theory*, European Planetary Science Congress, Potsdam, Germany, 2007.

NOYELLES B., *Astrometric results of the PHESAT95 campaign*, Paris 2006 Meeting "Mutual events of the Uranian satellites in 2007 - 2008 and future observations in network", Paris, France, 2006.

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Colloques internationaux (avec comité de lecture) - suite</p>	<p>DOURNEAU G. and NOYELLES B., <i>The Phemu03 campaign of observation of the mutual events of the Galilean satellites of Jupiter in 2003 at the Bordeaux Observatory</i>, Paris 2006 Meeting "Mutual events of the Uranian satellites in 2007 - 2008 and future observations in network", Paris, France, 2006.</p> <p>PENG Q.Y., VIENNE A., LAINEY V. and NOYELLES B., <i>Experiment in precise positional measurement of the Galilean satellites from CCD imaging</i>, Paris 2006 Meeting "Mutual events of the Uranian satellites in 2007 - 2008 and future observations in network", Paris, France, 2006.</p> <p>NOYELLES B. and VIENNE A., <i>Dynamical exploration of the De Haerdtl inequality between Ganymede and Callisto</i>, 37th DDA meeting, Halifax (Canada), 2006.</p> <p>NOYELLES B. and VIENNE A., <i>Dynamical history of Ganymede and Callisto</i>, 37th DPS meeting, Cambridge (UK), 2005.</p> <p>NOYELLES B. and VIENNE A., <i>The k:k+4 resonances in the planetary system</i>, dans IAU Colloquium 197, Belgrade, 2004.</p> <p>NOYELLES B., LAINEY V. and VIENNE A., <i>Observation an reduction of mutual events in the Solar System</i>, dans IAU Colloquium 196, Preston (UK), 2004.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Autres publications et communications</p>	<p>DESMARS J., ARLOT J.-E., VIENNE A. : <i>Précision d'extrapolation des éphémérides des satellites de Saturne</i>, Journées Sc. de l'IMCCE, Note Sc. Tech. IMCCE, 2008.</p> <p>FOUCHARD M., VIENNE A. : <i>Dynamique des comètes du nuage de Oort</i>, Journées Sc. de l'IMCCE, Note Sc. Tech. IMCCE, 2008.</p> <p>FROUARD J. : <i>Comparaison d'indicateurs rapides de chaos de Lyapunov</i>, Journées Sc. de l'IMCCE, Note Sc. Tech. IMCCE, 2008.</p> <p>FROUARD J.: <i>Comparison of fast Lyapunov chaos indicators for Celestial Mechanics</i>, Semaine de l'Astrophysique Française, Journées de la SF2A 2008, Paris.</p> <p>LAINEY V., ARLOT J.-E., DESMARS J., KARATEKIN O., NOYELLES B., RAMBAUX N., RENNER S., VIENNE A. : <i>Présentation du groupe de travail Encelade</i>, Journées Sc. de l'IMCCE, Note Sc. Tech. IMCCE, 2008.</p> <p>NOYELLES B., LEMAITRE A., VIENNE A. : <i>Étude en 3 dimensions de la rotation de Titan</i>, Journées Sc. de l'IMCCE, Note Sc. Tech. IMCCE, 2008.</p> <p>NOYELLES B., LEMAITRE A., VIENNE A.: <i>Titan's forced rotation - Part II: The resonant wobble</i>, Semaine de l'Astrophysique Française, Journées de la SF2A 2008, Paris.</p> <p>DESMARS J., VIENNE A., ARLOT J.-E.: <i>The extrapolation of accuracy of ephemerides of natural satellites</i>, SF2A-2007: Proceedings of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics held in Grenoble, France, July 2-6, 2007, Eds.: J. Bouvier, A. Chalabaev, and C. Charbonnel, p.87, 2007.</p>

NOYELLES B., VIENNE A. and THUILLOT W., *Detecting the tidal dissipation in the Saturnian system*, Semaine de l'Astrophysique Française, Proc. of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics held in Grenoble, France, July 2-6, 2007, Eds.: J. Bouvier, A. Chalabaev, and C. Charbonnel, p. 109, 2007.

NOYELLES B., LEMAITRE A., VIENNE A. : *Titan's forced rotation: a 3 degree of freedom theory*, SF2A-2007: Proc. of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics held in Grenoble, France, July 2-6, 2007, Eds.: J. Bouvier, A. Chalabaev, and C. Charbonnel, 2007.

VIENNE A., *Les différents types de théories du mouvement des corps du système solaire*, dans Note Sci. et Tech. de l'IMCCE, 2006.

NOYELLES B. and VIENNE A., *L'inégalité de De Haerdtl : une richesse dynamique insoupçonnée dans le système des satellites galiléens*, dans Note Sci. et Tech. de l'IMCCE, 2006.

DURIEZ L., *Analyse en fréquence de haute précision, appliquée aux mouvements des satellites galiléens de Jupiter*, dans Note Sci. et Tech. de l'IMCCE, 2006.

NOYELLES B. and VIENNE A., *De Haerdtl inequality: an inequality of great dynamical interest in the Galilean system*, Semaine de l'Astrophysique Française, SF2A, Paris, 2006.

ARLOT J.E. Et al, *Dynamique des satellites naturels : observation et modélisation*, PNP, Nancy, 2006.

VIENNE A. and NOYELLES B., *Resonance 3:7 in the Ganymede-Callisto system*, Semaine de l'Astrophysique Française, SF2A, Strasbourg, 2005.

NOYELLES B. and VIENNE A., *Stochastic behaviour around the 3:7 inequality between Ganymede and Callisto*, CELMEC IV, Viterbo (Italy), 2005.

VIENNE A., NOYELLES B. and LAINEY V., *Mutual events in the jovian and saturnian systems*, Semaine de l'Astrophysique Française, SF2A, Paris, 2004.

IV.ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES DES ENSEIGNANTS DU LAL

Les enseignements dispensés sont les Mathématiques et l'Astronomie ; cette dernière discipline est présente dès le L1 :

- « L'Univers et sa mesure », en Licence LST-A, S1 (50h, 4 groupes)
- « L'Univers et sa mesure », en Licence LST-B, S1 (20h, 4 groupes)
- « Éléments d'astronomie fondamentale », en Licence MIMP et PC, S3 (50h, 2 groupes)
- « Mécanique du système solaire », en Licence Mathématiques, S6 (50h, 1 groupe)

Nous intervenons aussi au sein de l'IREM (Institut de Recherche en Enseignement des Mathématiques) de Lille, au sein du groupe "*Astronomie*" (30h). L'objectif général du groupe est d'élaborer des activités permettant de faire comprendre aux élèves en quoi apporter des réponses à des questions d'astronomie requiert l'utilisation des mathématiques. Des fiches niveau collège et lycée ont été élaborées sur les thèmes

- des distances et proportions dans le système solaire,
- sur les mouvements dans le système solaire.

Par ailleurs, des actions dans le domaine de l'enseignement à distance sont menées.

Avec la directrice de l'UFE de l'Observatoire de Paris F. ROQUES, nous avons déposé un dossier à UNISCIEL ; ce projet UNISCIEL a pour but de mutualiser, au niveau national, la production de ressources pédagogiques numériques et de procéder à leur diffusion en libre accès. Ce projet est porté par M. VINDEVOGHEL de Lille 1, F. ROCQUES étant le contact en ce qui concerne les Sciences de l'Univers. La contribution du LAL est de proposer un cours interactif de Mathématiques de/pour l'Astronomie.

On trouvera dans la rubrique *Enseignement* du site du LAL (<http://www.univ-lille1.fr/lal/>) les cours et autres documents pédagogiques mis à disposition de tous :

<http://www.univ-lille1.fr/lal/> eqLILLE-enseig.html .

V. TÂCHES D'INTÉRÊT GÉNÉRAL

5.1 RADIO-DÉTECTION DES MÉTÉORES

Depuis fin 2006, l'Observatoire de Lille possède une station de radio-détection des météores. Le principe est d'écouter une fréquence habituellement inaccessible de l'éloignement de la station émettrice. Lorsqu'un météore - libéré par une comète lors de son dégazage - entre dans l'atmosphère, le plasma généré reflète alors le signal à hauteur de l'ionosphère. Cette technique permet de surveiller l'activité météoritique en permanence. Cette station est la première d'un réseau baptisé REFORME (REseau Français d'Observation Radio des MétéorEs) qui comprendra celles de l'Observatoire de Nancay, l'Observatoire de Haute-Provence (OHP), complété par une caméra à grand champ de l'Observatoire du Pic du Midi.

Plus de détails peuvent être trouvés à

<http://www.univ-lille1.fr/lal/LAL-radiometeores.html>

Cette manip a été mise en place lors d'un stage de *Master 1* de physique dans le cadre des recherches de J. VAUBAILLON (IMCCE et CALTECH) sur la dynamique des essaims météoritiques et de leurs corps parents. Elle a permis, avec deux autres stages, d'établir des contacts scientifiques avec des physiciens de Lille 1.

5.2 ORGANISATION DE SÉMINAIRES "ASTRONOMIE & DYNAMIQUE DES SYSTÈMES GRAVITATIONNELS"

Depuis 2004, une série de séminaires intitulée « Colloquium, Astronomie & Dynamique des Systèmes Gravitationnels » est organisée à Lille1. A partir de 2006, ce colloquium s'est fait sous forme de journées thématiques organisées conjointement avec A. LEMAITRE (FUNDP, Namur).

En 2006, le thème était "*Missions spatiales*"; en 2007, "*Dynamique et collision des petits corps*". La prochaine journée AD SG a eu lieu le 7 mars 2008 et a eu pour thème : "*La Terre est-elle la seule planète habitable?*".

Il y a eu 25 conférences dont les conférenciers étaient :

Jacques HENRARD (FUNDP Namur), Nicole CAPITAINE (SyRTE Observatoire de Paris), Sylvio FERRAZ-MELLO (Université de Sao Paulo), Bruno SICARDY (Université de Paris VI), Philippe ROBUTEL (IMCCE), Alessandro MORBIDELLI (Observatoire de Nice), Valéry LAINEY (Observatoire Royal de Belgique), Alain CHENCINER (IMCCE), Roberto VIEIRA MARTINS (Observatório Nacional Rio de Janeiro), Marcello FULGHIGNONI (LESIA Observatoire de Paris), Florent DELEFLIE (Observatoire de la Côte d'Azur), Véronique DEHANT (Observatoire Royal de Belgique), Daniel HESTROFFER (IMCCE), Emmanuel MARCQ (LESIA Observatoire de Paris), Hugues LEROUX (LPES Université de Lille 1), Sophie PIREAUX (Observatoire de la Côte d'Azur), Marc FOUCHARD (IASF Rome), Jean SOUCHAY (SyRTE Observatoire de Paris), Giovanni VALSECCHI (IASF Rome), Lucie

MAQUET (Master Physique Université de Lille), Philippe CLAEYS (Université de Bruxelles), Franck SELSIS (Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux), Anne-Sophie LIBERT (Université de Namur), Benjamin LEVRARD (IMCCE), Stefan RENNEN (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) et Benoît NOYELLES (Université de Namur).

Le détail peut être trouvé à <http://www.univ-lille1.fr/lal/ADSG.htm>

5.3 WORKSHOP SUR LA DYNAMIQUE DES COMÈTES

Du 28 avril 2008 au 2 Mai 2008, une semaine de travail, financée par le BQR de l'USTL, sur la dynamique des comètes a été organisée à l'observatoire de Lille. Les personnes invitées et organisateurs sont: Youri DAVYDOV (Painlevé / USTL), Marc FOUCHARD (LAL-IMCCE / USTL), Christiane FROESCHLÉ (Cassiopée / OCA), Claude FROESCHLÉ (Cassiopée / OCA), Shuyan LIU (Painlevé / USTL), Hans RICKMAN (Université de Uppsala, Suède), Radu S. STOICA (Painlevé / USTL), Giovanni B. VALSECCHI (INAF-IASF, Rome, Italie), Alain VIENNE (LAL-IMCCE / USTL). Cette semaine a permis de faire un bilan de la recherche en cours, et de fixer les objectifs futurs. Elle a aussi permis de stimuler les collaborations entre les différents participants. Un programme de la semaine peut être visualisé sur le site du LAL.

5.4 COLLOQUES

A. VIENNE a été membre du *Scientific Organising Committee* de colloques internationaux :

- "Rotation of Celestial Bodies" (hommage à J. HENRARD, Namur, 2005)
- "Solar System Dynamics and Ephemerides ESA/ESOC" (European Spatial Agency, Darmstadt, 2007)

A. VIENNE a été membre du *Local Organising Committee* du colloque international "Mutual events of the Uranian satellites" (Paris, 2006)

A. VIENNE a été membre du comité d'organisation des "*Journées Scientifiques de l'IMCCE*" (2003 et 2006)

5.5 RESPONSABILITÉS ADMINISTRATIVES

- A. VIENNE, membre élu collègue B au Conseil Scientifique de Lille 1 en 2007, réélu en collègue A en 2008
- A. VIENNE, membre nommé de la Commission de Spécialistes 34 de l'Observatoire de Paris depuis 2005
- M. FOUCHARD, membre élu du Conseil de l'Institut de Mécanique Céleste (IMCCE) depuis 2007
- A. VIENNE, directeur adjoint de l'IMCCE : élu en 2003 par le Conseil Scientifique de l'IMCCE ; réélu en 2007.
- A. VIENNE, membre élu du Conseil National des Universités (CNU section 34), 1995-2007.
- A. VIENNE, membre élu de la Commission de Spécialistes 26-34 de l'université de Lille 1, 2000-2004.

5.6 2009 : ANNÉE MONDIALE DE L'ASTRONOMIE

L'année 2009 a été déclarée par l'UNESCO *Année Mondiale de l'Astronomie*. L'UAI (l'Union Astronomique Internationale) coordonne les diverses manifestations et a chargé les Comités Nationaux de l'organisation au niveau national. A. VIENNE fait partie du comité national de pilotage en tant que représentant de la région "Grand Nord Ouest" ; il anime ainsi le comité régional de cette zone géographique.

Voir aussi : <http://www.astronomy2009.fr/> et <http://www.univ-lille1.fr/lal/AMA09-GNO.html>

5.7 DIFFUSION DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE

Les activités du LAL dans ce domaine sont :



- observations à la lunette de 325mm de l'Observatoire de Lille
- journées "portes ouvertes" de Lille 1 et stand de Lille 1 du *Salon de l'Étudiant* à Lille (chaque année).
- pages de la toile du Laboratoire d'Astronomie de Lille (<http://ustl.univ-lille1.fr/lal>).
- visites de l'Observatoire de Lille.
- accueil sur la journée d'élèves de quatrième et de troisième.
- conférences d'astronomie grand public (2 ou 3 par an en moyenne).

5.8 MISSION GAIA

Fin 2011, le satellite astrométrique GAIA devrait être envoyé dans l'espace et effectuer un balayage continu de la voûte céleste pendant 5 années. Les observations faites par GAIA seront d'une précision inégalée jusqu'à maintenant. La contribution du LAL à la préparation de la mission est d'évaluer les apports potentiels de GAIA pour la compréhension de la dynamique des comètes, en particulier l'évaluation des effets des forces non gravitationnelles due à l'activité cométaire lorsqu'une comète se rapproche du Soleil.

5.9 MÉDIA

Outre divers articles parus dans la presse locale, on peut citer :

- 22 mars 2003 : *Vu d'ici* sur France3, « Au plus près des étoiles », histoire de l'Observatoire de Lille (8mn)
- 8 juin 2004 : plusieurs passages et reportages dans le 12-14 et le 19-20 de France 3, interview et reportage sur le site d'observation
- 8 juin 2006 : l'Observatoire de Lille est l'un « des 10 lieux prestigieux » sélectionnés par le magazine « L'Express » pour son numéro spécial *Lille*.

PERSPECTIVES

VI. PROGRAMME DE RECHERCHE

Dans sa majeure partie, ce programme se situe dans la continuité des recherches déjà effectuées et qui ont été présentées dans la section précédente. Il est souvent en lien direct avec les besoins des programmes spatiaux, que ce soit en analyse de données (GALILEO pour le système de Jupiter et surtout CASSINI pour le système de Saturne) ou en préparation de missions (GAIA, projet "Jupiter-Europe"). En plus de l'aspect planétologique des recherches, l'aspect *éphémérides* intéresse tout particulièrement – et directement – les agences spatiales. A. VIENNE a d'ailleurs fait partie du comité d'organisation d'un colloque de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), colloque directement lié aux besoins et à l'utilisation des éphémérides pour la navigation spatiale.

AMÉLIORATION ET EXTENSION DE TASS

Avec les données de la mission CASSINI, la théorie TASS des huit gros satellites de Saturne doit être améliorée en précision et inclure les autres petits satellites. De plus, TASS a mis en évidence de nouvelles perturbations à très longues périodes dans la longitude moyenne de Mimas. Elles peuvent expliquer l'accélération observée dans cette longitude, bien plus forte que celle qui devrait exister si elle n'était due qu'au seul effet de marée.

SCÉNARIO DE FORMATION DE LA RÉSONANCE LAPLACIENNE

Les premiers résultats sur l'inégalité de De Haerdtl dans le système de Jupiter permettent d'envisager d'élaborer un scénario expliquant la configuration actuelle des satellites ainsi que la différenciation de Ganymède. S'il est obtenu, un tel scénario donnerait des contraintes sur les dissipations de marée et permettrait d'améliorer la modélisation de l'océan d'eau liquide situé sous la surface d'Europe.

PROJET POUR LA MISSION VERS EUROPE

Dans le cadre du prochain "AO Cosmic Vision" de l'ESA, M. BLANC conduit une proposition de mission spatiale "Jupiter-Europe". A sa demande, le LAL (via l'IMCCE, et comme d'autres laboratoires européens) est signataire d'un texte "*Mission to Europa : Why we need to study the orbital and rotational evolution of the Jovian satellites*".

Une mission vers Europe vise à améliorer notre connaissance de la structure interne d'Europe. Du point de vue des dynamiciens, elle doit aussi considérer la dynamique rotationnelle et orbitale des quatre satellites. Les observations de la libration et la

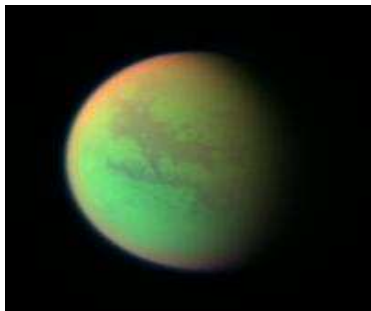
dissipation d'Europe, la détermination du champ de gravité des satellites galiléens, l'astrométrie des satellites de Jupiter sont les points-clés pour une meilleure compréhension de la physique de ces satellites.

Plus généralement, par l'astrométrie des satellites internes et externes, une telle mission aiderait à comprendre le passé des systèmes correspondants.

Plus d'informations peut être vues à <http://jupiter-europa.cesr.fr/>

ROTATION DE TITAN

En collaboration avec l'université de Namur, une théorie analytique de la rotation de Titan à 3 degrés de liberté a été élaborée. Ce travail a consisté à utiliser les données les plus récentes de la sonde Cassini sur le champ de gravitation de Titan pour construire cette théorie qui considère Titan comme un ellipsoïde rigide.



Titan : 6ème satellite de Saturne

Une collaboration est actuellement en cours avec Luciano IESS et Paolo PERSI DEL MARMO (Universite La Sapienza, Rome), qui sont chargés de réduire les données de la rotation observées par la sonde Cassini.

Le but de cette collaboration est de faire converger le modèle dynamique vers les observations.

MARÉE D'ENCELADE

Fin 2005, grâce à divers instruments, CASSINI a observé des jets de particules de glace au pôle Sud d'Encelade.

L'origine de ces jets est très probablement liée aux effets de marées. Il est donc nécessaire de réussir à quantifier la dissipation globale à l'intérieur de ce satellite via l'observation d'une accélération séculaire.

Ce travail a déjà été effectué avec succès sur le système Galiléen par V. LAINEY, et O. KARATEKIN, spécialiste de la structure interne à l'Observatoire Royal de Belgique, s'est joint à nous pour l'interprétation des résultats. Si les données le permettent nous essaierons d'ajuster aussi la dissipation dans Saturne.

PROPAGATION DES ERREURS DANS LES ÉPHÉMÉRIDES DE SATELLITES

Gaia est une mission astrométrique qui, vers 2011, permettra d'observer un grand nombre d'objets du ciel à une précision jamais atteinte.

Pour les satellites planétaires et jusqu'à la magnitude 20, la précision sera comprise entre 0.1 et 1 milli-arcseconde.

On disposera ainsi d'environ 50 observations pour chaque satellite sur la durée de la mission (5 ans). Avec une telle précision, il sera intéressant de savoir si Gaia pourra remplacer les observations déjà existantes et de manière plus générale, quel pourra être l'apport de la mission pour l'étude dynamique des satellites.

Il est donc nécessaire d'étudier la propagation des erreurs dans les éphémérides de satellites. L'utilisation de méthodes statistiques permettra d'étudier cette erreur d'extrapolation.

Le but ultime de ces études est la connaissance la plus complète et la plus précise possible de l'état actuel et de l'évolution des systèmes dynamiques que constituent Jupiter, Saturne et leurs satellites. Il s'agit notamment d'essayer de comprendre comment peuvent se former et évoluer les résonances observées entre Mimas-Téthys, Encelade-Dioné, Titan-Hypérion, et de la résonance laplacienne dans le cas des galiléens.

Il serait intéressant d'étendre nos perspectives à d'autres objets comme Phoébé, les satellites lagrangiens de Téthys et Dioné, les nouveaux petits satellites ...

DYNAMIQUE DES COMÈTES

Une première partie du programme de recherche sur la dynamique des comètes est consacrée à l'exploitation du modèle de la dynamique des comètes du nuage de Oort tenant compte des effets de la Galaxie dans son ensemble et des étoiles passant au voisinage du Soleil. Les premiers résultats sur la dynamique à long terme de ces comètes semblent montrer que les perturbations stellaires sont les plus efficaces pour injecter des comètes dans la région planétaire du système solaire. Ce scénario remettrait en cause celui - actuellement accepté - qui donne un rôle dominant à la marée galactique. Par la suite, les perturbations planétaires seront incluses dans le modèle afin d'étudier le lien entre les comètes du nuage de Oort et les comètes de type Halley. La modélisation de ces perturbations par une méthode de Monte Carlo, est l'objet d'une collaboration active avec Radu S. STOICA du laboratoire Painlevé (USTL). Il s'agit d'une approche statistique de la dynamique de ces comètes qui est dominée par les perturbations planétaires.



A l'aide d'un échantillon de comètes fictives, la dynamique a été étudiée par une méthode de Monte Carlo. Une telle méthode repose sur l'hypothèse que les perturbations planétaires successives subies par les comètes sont décorrélées.

Un des objectifs de ce travail est de pouvoir expliquer le faible nombre des comètes de type Halley, ainsi que l'insuffisance, parmi les comètes à long période, de comètes dites "vieilles" (c'est-à-dire ayant effectué plusieurs passages dans la région planétaire du système solaire) par rapport aux nouvelles comètes.

Les comètes sont aussi caractérisées par une vie physique qui se traduit essentiellement par des pertes de matière dues au rayonnement solaire lorsque ces comètes se rapprochent du

Soleil. Cette activité cométaire a non seulement une durée de vie limitée mais aussi une influence sur la trajectoire de la comète autour du Soleil. Un des projets de recherche du LAL-IMCCE est de développer des modèles de cette activité permettant d'améliorer les éphémérides des comètes connues.

Enfin, le LAL participe à la préparation de la mission GAIA en essayant d'estimer les apports potentiels de GAIA pour notre compréhension de la dynamique des comètes.

ÉTUDE DES PROCESSUS DE CAPTURE DE SATELLITES DE PLANÈTES

Les systèmes de satellites des planètes géantes possèdent des satellites lointains sur des orbites qualifiées d'irrégulières. Dans le cas de Saturne, ces satellites se répartissent en au moins deux groupes: le premier, sur des orbites rétrogrades comme Phœbé, et le deuxième dans le sens direct. Ces corps ont probablement été capturés par Saturne à partir de trajectoires héliocentriques de type vraisemblablement cométaire, pour les modifier en trajectoires planéto-centriques.

On souhaite effectuer une étude numérique des processus de capture afin de quantifier son efficacité et d'essayer de faire un lien entre des orbites sources possibles et les orbites des satellites observés.

On se propose ensuite d'appliquer les différents indicateurs de stochasticité mis en place par M. FOUCHARD dans l'étude de la dynamique des comètes à l'étude de la stabilité dynamique de ces satellites.

Cette étude devrait permettre d'évaluer les « durées de vie » de ces satellites, ainsi que de mettre en évidence l'existence possible de régions stables aux abords de Saturne.

Les thèmes de recherches abordés requièrent toutes les techniques relatives à ces dits problèmes : théorie analytique, analyse numérique, analyse des fréquences, observations, techniques de réduction des observations, dynamique des résonances, localisation du chaos, ...

Il est donc facile de définir de nouveaux thèmes de recherche (utilisant ces techniques) et ainsi d'élargir encore nos perspectives.

VII.PROMOUVOIR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

L'astronomie est une source d'inspiration importante et un champ d'application en pleine expansion pour les mathématiques pures et appliquées. Il semble donc important que l'UFR de Mathématiques – par le biais du LAL - continue de proposer à ses étudiants une ouverture sur l'astronomie. Le LAL cherche donc à développer l'enseignement de l'astronomie ainsi que diverses activités pédagogique liées à la lunette de l'observatoire :

Outre les enseignements décrits en Sect. IV (p.14), nous avons élaboré un cours de niveau Master de mathématiques : il s'agit de "Mécanique hamiltonienne et Astronomie".

Nous comptons sur les effectifs des étudiants de physique et sur notre collaboration avec Namur pour ouvrir prochainement cet enseignement.

Le potentiel de l'astronomie pour le développement des études scientifiques est loin d'être négligeables. Lille 1 a un atout considérable pour exploiter ce potentiel: l'Observatoire de Lille. Le LAL - par l'UFR de Mathématiques, et avec l'UFR de Physique - a obtenu des crédits pour l'acquisition d'un spectrographe. C'est un premier pas dans notre souhait de développer des séances d'utilisation de la lunette par les étudiants, en l'ouvrant aux enseignants de physique désireux de vérifier et d'appliquer leurs enseignements théoriques.

Par ailleurs, avec le groupe *Astronomie* de l'IREM (voir sect. IV, p.14), nous souhaitons mettre en place le projet "*La main dans les étoiles*" : Il s'agirait activités astronomiques dans les écoles, collèges et lycées, sous forme d'observatoire mobile.

Enfin, nous allons continuer dans le domaine de l'enseignement à distance avec le projet UNISCIEL : ce cours interactif de Mathématiques de/pour l'Astronomie est prévu sur plusieurs années.

VIII. ACTIONS POUR LE "LABORATOIRE D'ASTRONOMIE DE LILLE"

Il a été présenté plus haut les projets en matière pédagogique (cf section précédente) et les perspectives de recherche (voir Sect. VI, p.18) dont nous rappelons les thèmes :

- Amélioration et extension des éphémérides des satellites de Saturne
- Scénario de formation de la résonance Laplacienne
- Projet pour la mission vers Europe
- Rotation de Titan
- Marée d'Encelade
- Propagation des erreurs dans les éphémérides de satellites
- Dynamique des comètes
- Étude des processus de capture de satellites de planètes

Nous allons maintenant présenter les actions spécifiques que le LAL compte mener dans les années à venir et qui nécessite le soutien actif de l'Université de Lille 1. Cette section se place donc directement dans le cadre du prochain contrat quadriennal. L'idée principale est d'améliorer la visibilité du LAL au sein même de Lille 1 (à l'aide de collaborations interdisciplinaires) tout en maintenant et renforçant sa visibilité sur le plan national et international. La mise en place du PRES régional sera l'occasion d'un élargissement des activités de l'Observatoire de Lille, notamment au niveau de l'enseignement. En effet, l'Observatoire de Lille est le centre astronomique pour la région Nord/Pas-de-Calais. Il est donc naturel que ses compétences s'étendent à toute la région.

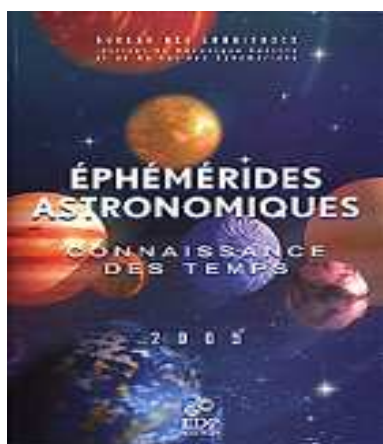
8.1 MENER DES PROJETS DE COLLABORATION AU NIVEAU EUROPÉEN

8.1.1 PROJETS AVEC L'UNIVERSITÉ DE NAMUR

Le LAL et le groupe *Astronomie* de Namur ont en commun d'être intégrés chacun dans un département de mathématiques. Nous avons déjà indiqué les collaborations existantes avec l'université de Namur : co-encadrements de stage ou de postdoc, organisation conjointe de manifestations (telles les journées "*Astronomie et Dynamique des Systèmes Gravitationnels*"). Il est souhaitable de poursuivre et d'intensifier cette collaboration d'autant qu'il existe une convention entre Lille 1 et des universités belges (dont les FUNDP) instaurant collaboration et échanges d'étudiants dans l'enseignement des mathématiques. En Belgique, le LMD a été mis en place de manière glissante ; la réforme concerne désormais le niveau master et il devient possible d'utiliser cette convention entre nos deux équipes.

8.1.2 ÉPHÉMÉRIDES EUROPÉENNES

Au niveau européen, l'IMCCE s'est associé avec l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) et l'Université de Pise (Italie) pour structurer les compétences dans les domaines de la dynamique spatiale et de la production d'éphémérides. Nous avons organisé un colloque sur ce thème en juin 2007, à l'ESOC (European Space Operation Center) de Darmstadt. Cette organisation commune a permis de renforcer les liens entre laboratoires et agences spatiales.



Les éphémérides de l'IMCCE sont publiées par le Bureau des Longitudes. C'est l'organisme national en charge des éphémérides depuis 1795.

Le LAL — par sa production d'éphémérides de satellites de planètes, étendue - à terme - aux éphémérides de leur rotation — est directement concerné par ces collaborations. Elles lui permettront d'avoir accès aux données spatiales. Le LAL devra aussi fournir aux agences les modèles dynamiques nécessaires.

La collaboration avec l'ORB est déjà effective, non seulement par le thème "Marée d'Encelade" avec O. KARATEKIN, mais aussi grâce à un ancien étudiant : V. LAINEY, recruté par le CNAP à l'IMCCE.

Il a en effet travaillé à l'ORB durant son séjour postdoctoral sur les données de la mission Mars-Express. Il s'agit de continuer ensemble les collaborations engagées.

8.2 RENFORCER LES LIENS AVEC LES MATHÉMATIQUES DE LILLE 1

Ces liens sont étroits et anciens puisque, dès l'origine, l'UFR de Mathématiques a officiellement défini dans ses statuts trois départements: Mathématiques, Astronomie et Mécanique.

FORMATION

Les liens sont évidents au niveau de l'enseignement magistral.

Il faut aussi souligner les liens existant avec l'IEM de Lille : outre le stage "*Mathématiques et astronomie*" (proposé aux enseignants de mathématiques des lycées), signalons ce projet d'un stage "*Atelier de mathématiques*" porté conjointement avec d'autres animateurs universitaires de l'IEM. Par ailleurs, déjà cité : le projet d'observatoire mobile ("*La main dans les étoiles*"), qui - pour se concrétiser - nécessitera d'importants moyens humains.

STATISTIQUE

Une collaboration s'est engagée avec R.S. STOICA du laboratoire Painlevé (Lille 1) dans le cadre du nouvel axe de recherche concernant l'étude de la dynamique des comètes.

Il s'agit d'une approche statistique de cette dynamique, et en particulier de savoir si elle peut être modélisée par une méthode de Monte Carlo adaptée.

Dans un premier temps la recherche se fera suivant deux directions :

- (i) l'étude de la forme des distributions des perturbations planétaires subies par les comètes
- (ii) effectuer une carte des différentes régions dynamiquement homogènes de l'espace, utilisée pour représenter la dynamique.

D'autres collaborations sont en cours, à l'exemple de la thèse (en cours) de J. DESMARS, qui repose sur une approche statistique pour comprendre l'erreur d'extrapolation des éphémérides de satellites planétaires.

SYSTÈMES DYNAMIQUES

La Dynamique est un domaine liant directement Astronomie (via la Mécanique Céleste) et Mathématiques (Systèmes Dynamique). Il serait bénéfique d'envisager des collaborations à ce niveau, en commençant - par exemple - par l'enseignement.

8.3 SE RAPPROCHER DE LA PHYSIQUE DE LILLE 1

Appelée aussi *Astrophysique*, l'Astronomie est naturellement proche de la Physique. Si nos domaines de recherche nous amènent à utiliser des méthodes et des outils mathématiques, les objets étudiés sont quant à eux physiques : la composition, la forme et la structure de ces objets influent sur leur dynamique. Réciproquement, une bonne étude dynamique permet d'accéder à des renseignements inaccessibles par ailleurs, comme par exemple la structure interne.

Depuis fin 2006, l'Observatoire de Lille possède une station de radio-détection des météores (voir Sect. 5.1, p. 15 ou <http://www.univ-lille1.fr/lal/LAL-radiometeores.html>). Elle permet de surveiller en radio l'activité météoritique de manière permanente.

Cette activité a été mise en place lors d'un stage de *Master 1* de physique, dans le cadre des recherches de J. VAUBAILLON (IMCCE et CALTECH) sur la dynamique des essaims météoritiques et de leurs corps parents. Elle a permis, avec deux autres stages, d'établir des contacts scientifiques avec des physiciens de Lille 1. Il est souhaitable de renouveler ce genre d'expériences afin que ces contacts se transforment en collaborations scientifiques avec le LAL.

8.4 ACTIVITÉS DE RECHERCHE APPLIQUÉE

Nous souhaitons également mettre en place des activités de recherche appliquée. Elles bénéficieront des travaux théoriques menés au LAL.

L'objectif est de produire un service scientifique dans le domaine de l'orbitographie des satellites artificiels et des débris spatiaux.

L'IMCCE est en effet dans la liste des établissements directement affectataires de postes CNAP (astronomes et astronomes adjoints), au titre du service national des éphémérides. En

plus de ces postes CNAP, deux chercheurs de l'IMCCE - dont A. VIENNE - sont impliqués dans le service des éphémérides. Il concerne les éphémérides de satellites, ce qui est en adéquation avec ses thèmes de recherche.

Dans le cadre de ce service, cette nouvelle thématique pourrait être développée au LAL. Elle concerne l'étude de la trajectoire des débris spatiaux, trajectoire à la dynamique spécifique puisqu'ils évoluent dans l'environnement terrestre, mais aux équations du mouvement similaires à celles des satellites naturels du système solaire et des astéroïdes géocroiseurs. La motivation est grande pour la mener à bien, d'autant qu'elle est liée à l'environnement spatial, domaine de prédilection de financement par les instances nationales, européennes et internationales.

F. DELEFLIE, astronome-adjoint à l'Observatoire de la Côte d'Azur, est un spécialiste des résonances dans le mouvement des satellites artificiels. Avec son directeur de recherche P. EXERTIER (CNRS), des collaborations sont déjà en cours avec l'université de Namur.

A. LEMAITRE encadre d'ailleurs une thèse sur ce sujet (S. VALK).

Il s'agit ici non seulement de finir la mise au point de l'ensemble de la chaîne de traitement dynamique des observations mais aussi d'assurer la pérennité de la mise à jour des réductions d'observations.

A terme, il pourrait être demandé la création d'un pôle thématique "*Débris et résonances dans les satellites artificiels*", avec le soutien de la Région PACA (observations), de la région Nord-Pas-de-Calais (réduction de données), du CNES (liens avec les services internationaux liés aux débris spatiaux). Ce pôle thématique entrerait parfaitement dans le service labellisé INSU "*AA-S06 Surveillance solaire, relation Soleil-Terre, environnement terrestre*" déjà présent à l'IMCCE par l'intermédiaire de la surveillance des objets géocroiseurs et des essaims météoritiques. Le recensement des débris spatiaux et la surveillance par la détermination à long terme de leur orbite entreraient dans la tâche de service "surveillance des débris spatiaux". Pour effectuer ces travaux, outre des moyens informatiques, il sera nécessaire d'obtenir des moyens humains.

L'implication des différents acteurs français (OCA, IMCCE, CNES) sera indispensable ; de même de l'implication, à un niveau plus local, de l'université (demande d'IATOS auprès de l'université de Lille 1).