OBSERVATIONS CCD ASTROMÉTRIQUES AU PIC DU MIDI : OBSERVATIONS RÉCENTES

F. Colas

1. Introduction

Depuis 1988, date à laquelle nous avons commencé à utiliser une caméra CCD sur le télescope de 1 mètre du Pic du Midi, nous avons observé un grand nombre d'objets du système solaire. L'expérience acquise est intéressante à évoquer afin d'effectuer un bilan sur la qualité et la production scientifique des dernières années. L'amélioration de la précision des observations nous paraît maintenant primordiale plus que leur quantité. L'arrivée du catalogue Hipparcos devrait permettre d'améliorer notablement les problèmes d'astrométrie absolue. La connaissance des possibilités du télescope de 1 mètre du Pic du Midi permet dès à présent d'aborder de nouveaux domaines scientifiques. Dans un premier temps, je passerai en revue les divers objets du système solaire que nous avons observés en les classant par ordre de distance au Soleil. J'aborderai ensuite les comètes et les astéroïdes qui commencent à représenter une part importante de nos travaux. Enfin j'essaierai de montrer les possibilités de développement des observations.

2. Observations des satellites naturels des planètes

2.1. Satellites de Mars

Les satellites de Mars furent le sujet des premières observations réalisées en 1988 avec le télescope de 1 mètre durant une opposition très favorable de la planète. Elles permirent en particulier de se rendre compte de la qualité et des problèmes des observations CCD. Dès le début nous avons découvert les problèmes de calibration liés à la taille des CCD mais aussi la faculté extraordinaire du CCD anti-éblouissement à observer des objets faibles proches de planètes très brillantes. Les résultats de cette campagne ont déjà été abordés en détail dans l'édition précédente des journées scientifiques du Bureau des longitudes, néanmoins la prochaine opposition de la planète en février 1995 sera l'occasion d'une nouvelle campagne d'observation. Ces résultats seront ajoutés aux données obtenues en 1990 et 1992. Je pense que l'ensemble de ces observations permettra d'améliorer de façon substantielle les théories du mouvement de Phobos et Deimos développées, en particulier, au Bureau des longitudes par M. Chapront- Touzé.

2.2. Satellites de Jupiter

Les satellites Thébé (J XIV) et Amalthée (J V) furent l'objet d'une grande partie de mon travail de thèse. Nous avons développé avec D.T. Vu une théorie du mouvement de ces deux objets ajustée sur les observations du Pic du Midi. La méthode d'observation consistait à mesurer les positions de ces satellites par rapport à un satellite galiléen, la saturation des satellites brillants ne permettait pas d'obtenir une précision de mesure meilleure que 0.5 arcsec. Nous allons cependant continuer les observations mais en utilisant uniquement les moments où Thébé et Amalthée sont mesurables sur un même cliché. Avec cette méthode nous n'aurons plus d'erreurs systématiques, on devrait atteindre une précision meilleure que 0.1 arcsec. Cette qualité de mesure est fondamentale pour déterminer correctement des paramètres encore mal connus comme les longitudes des nœuds ou des perijoves. D'autre part nous nous sommes joints à une équipe de l'USNO pour étudier la photométrie de ces 2 satellites qui semblent avoir des faces d'albédo différentes. Cette étude peut se faire à partir des images utilisées pour l'astrométrie. Cette complémentarité photométrie-astrométrie est maintenant permanente dans nos travaux.

2.3. Satellites de Saturne

Nous avons observé les principaux satellites de Saturne depuis 1988. En collaboration avec A. Vienne de l'observatoire de Lille qui a développé une théorie générale du mouvement des satellites de Saturne, je me suis en particulier attaché au couple Mimas-Téthys. En effet il n'y a que quelques dizaines de positions de Mimas depuis sa découverte, cette pauvreté provient principalement de la difficulté d'observation liée à la proximité des anneaux de Saturne. Son mouvement est donc mal connu, de plus il est lié par une forte résonance à Téthys. Depuis 1988 nous avons donc mesuré les positions des satellites de Saturne lorsque Mimas et Téthys étaient mesurables ensemble. La qualité de ces observations a été testée de 2 façons indépendantes : d'une part par M. Rapaport et J.C. Lefloch à l'observatoire de Bordeaux et d'autre part par A. Vienne et A. Amosse à l'observatoire de Lille. Les conclusions sont identiques, elles donnent des O-C compris entre 30 et 60 MAS pour les satellites principaux (satellites II à VI) et des erreurs plus grandes pour Mimas. Seuls Mimas, Encelade, Japet et Hypérion possèdent des orbites nettement améliorables. Nous allons donc poursuivre ces observations en nous limitant aux couples de satellites suivant : Téthys-Mimas, Téthys- Encelade, Titan-Hypérion et Titan-Japet. Le passage de la Terre dans le plan des anneaux ainsi qu'une prédiction des phénomènes des satellites (phénomènes mutuels, éclipses, occultations) fait actuellement le sujet de la campagne d'observations PHESAT. Les observations sont bien plus difficiles que les PHEMU des satellites galiléens, principalement à cause de la proximité de la planète et de la plus faible magnitude des satellites. Une fois de plus la qualité des images obtenues au Pic du Midi sera primordiale. En effet le ciel peu diffusant ainsi que la faible dégradation des images par l'atmosphère nous a déjà permis d'obtenir des courbes photométriques d'éclipses de satellites distant de 3 à 5 arcsec du disque de Saturne. Le passage de la Terre dans le plan des anneaux sera également une occasion unique pour l'observation de tous les satellites faibles proches de l'anneau. Nous étudierons en particulier la dynamique des satellites lagrangiens.

2.4. Satellites d'Uranus

Les satellites d'Uranus ont fait l'objet de travaux théoriques importants lors du survol de la planète par une des sondes Voyager. Depuis 1988, nous observons les 5 premiers satellites d'Uranus ; ces observations sont combinées avec les données obtenues au Brésil par C. Veiga actuellement au Bureau des longitudes ; nous espérons pouvoir ajuster prochainement la théorie développée par J. Laskar.

2.5. Satellites de Neptune

Suite à l'observation de Protéus à l'ESO avec la caméra astrométrique du Bureau des longitudes, nous avons lancé une campagne d'observation de Triton et de Néréide. Le problème des observations de Néréide provient de la distance entre ce satellite et Neptune, son élongation par rapport à la planète peut atteindre plusieurs dizaines de minutes d'arc. Il est donc impossible la plupart du temps d'observer dans un même champ CCD Neptune et Néréide. De plus son mouvement orbital a une période sensiblement égale à un an, les observations sont donc systématiquement biaisées. La période favorable (périastre de Néréide) correspond au mois de juillet, malheureusement la chute de la comète SL9 a perturbé les observations cette année.

3. Prochaines observations astrométriques

3.1. Les satellites

Le défaut principal des CCD est leur faible surface, les problèmes de calibrations et de configurations observables en découlent directement. Pour minimiser les problèmes de calibrations, il suffit d'observer les rapprochements de satellites. Pour ne pas réduire le nombre des observations les campagnes d'observation comprendront maintenant plusieurs objectifs, une combinaison avec les observations d'astéroïdes ou de comètes sera tentée systématiquement.

3.2. Les astéroïdes

De nombreuses équipes de recherche s'intéressent activement aux astéroïdes, leur grand nombre en font les seuls objets du système solaire pouvant être étudiés de façon statistique. Les résultats ne concernent pas uniquement la mécanique céleste, ils peuvent toucher à la formation du système solaire, par exemple l'étude des familles d'astéroïdes. Les astéroïdes sont des objets de faible magnitude possédant de grands mouvements apparents sur le ciel, à cause de cela, ils sont restés durant de nombreuses années le domaine privilégié des télescopes à grand champ. Nous mettons actuellement au point une technique d'observation des rapprochements d'astéroïdes avec des étoiles Hipparcos. Cette méthode repose sur les prédictions calculées par J. Berthier et sur la précision des positions astrométriques des étoiles du catalogue Hipparcos. Une fois de plus, la faible distance entre les objets à mesurer élimine de nombreux problèmes de calibration. La précision finale pourrait être de l'ordre de 10 à 20 MAS soit au moins un ordre de grandeur de mieux par rapport aux anciennes observations. Bien que le catalogue Hipparcos ne comporte que 100 000 étoiles, il y a en moyenne plusieurs phénomènes observables par nuit. Ces observations longues, qui peuvent parfois durer plusieurs heures, s'intègrent facilement dans des programmes de mesure photométrique des astéroïdes. L'existence des objets de la bande de Kuiper semble maintenant prouvée par l'observation d'une quinzaine d'objets au-delà de 40 UA. Ces observations sont cependant très incomplètes, ces objets ne sont par exemple cherchés qu'au point anti-solaire. À l'aide du télescope de 55 centimètres du Pic du Midi, nous espérons réaliser une recherche systématique permettant de découvrir plusieurs centaines d'objets.

3.3. Les comètes

Nous avons souvent observé des comètes brillantes (Swift Tuttle, Mac Naught Russel...) sur demande de collègues spécialistes mais jamais à des fins astrométriques. Un des problèmes majeur de l'astrométrie des comètes est l'ignorance de la distance entre le photocentre du noyau et son centre de gravité. Nous allons donc avec L. Jorda (ARPEGE, observatoire de Meudon) essayer de mesurer systématiquement les comètes franchissant la distance de 4 UA, à cette distance la comète ne dégaze plus, elle se mesure donc comme un astéroïde. Nous espérons atteindre une précision de mesure meilleure que 0.1 arcsec, il sera ainsi facile d'obtenir de bons éléments orbitaux des comètes à plusieurs moments donnés. Le but des ces observations est d'obtenir trois jeux d'éléments orbitaux de la comète : - un jeu pour l'arrivée de la comète (de l'aphélie à 3 UA) - un jeu pour la période du périhélie (tout le monde observe à cette période, il n'y a donc pas de problème pour obtenir les éléments de cette période) - un jeu pour l'éloignement de la comète (de 3 UA à l'aphélie). Le principal problème de ces observations réside dans la magnitude des comètes à 4 UA qui est souvent de l'ordre de 20 ou plus, nous allons donc demander du temps d'observation sur le Télescope Bernard Lyot. Cette étude systématique s'étalera sur une dizaine d'années. La bonne connaissance de ces paramètres orbitaux permettra de connaître précisément les forces non gravitationnelles appliquées sur les comètes.

LA STATION DE PLANÉTOLOGIE DES PYRÉNÉES

F. Colas

1. Introduction

L'observatoire du Pic du Midi traverse depuis plusieurs années une crise importante. Les partisans de sa fermeture exposent les frais d'entretien du téléférique ainsi que ceux de la maintenance des bâtiments à 3000 mètres d'altitude. Nous opposons à cela l'excellence des observations effectuées qui font souvent l'admiration de nos collègues étrangers. Pour nous la fermeture de l'observatoire n'est même pas envisageable car elle impliquerait une cessation pratiquement complète de nos activités liées à une disposition permanente de moyens d'observations facilement accessibles. Nous sommes cependant conscients des réalités économiques : les moyens du Pic du Midi seront inévitablement réduits, le tourisme prendra une part importante de la vie du Pic du Midi. Le télescope de 1 mètre n'a pas de statut particulier dans l'Observatoire Midi-Pyrénées, il est juste reconnu comme un instrument «planétologique». Les profondes mutations de l'Observatoire Midi-Pyrénées nous ont donc incité à créer la Station de Planétologie des Pyrénées (S2P).

2. Instruments de la Station de Planétologie des Pyrénées

2.1. Le télescope de 1 mètre

Le télescope de 1 mètre est principalement utilisé par P. Laques (OMP), J. Lecacheux (DESPA) et moi même (BdL). Cette association hétéroclite a parfaitement fonctionné jusqu'à présent mais le départ à la retraite de P. Laques à la fin de cette année nous pose un réel problème car aucune personne de notre équipe n'appartiendra alors à l'OMP! L'équipe d'observateurs est petite mais les collaborations avec d'autres équipes sont nombreuses. Il n'est pas rare de travailler sur 3 ou 4 programmes différents en une nuit. Par exemple mes travaux sur l'astrométrie des satellites ne nécessitent souvent qu'une heure d'observation pendant la nuit, j'utilise donc souvent le reste de la nuit pour d'autres programmes. Les domaines d'observations recouvrent ainsi la dynamique des atmosphères des planètes géantes, l'étude des calottes glaciaires de Mars, l'étude des anneaux de Saturne, les comètes, l'étude des courbes de lumières d'astéroïdes, la recherche de systèmes stellaires en formation...

2.2. Le télescope de 55 centimètres

R. Peyturaux de l'IAP possède un télescope de 55 centimètres au Pic du Midi, il est utilisé pour des mesures de photométrie absolue. R. Peyturaux partant à la retraite, il désire nous céder son télescope pour qu'il continue à être utilisé. Avec une équipe du Collège de France nous désirons transformer ce télescope en télescope à grand champ. L'arrivée des nouvelles caméras CCD miniatures à technologie MPP permet de les placer directement au foyer primaire des télescopes. Nous pouvons ainsi obtenir un champ de un degré carré avec un télescope ouvert à F/3. Cette configuration très lumineuse permet d'atteindre la magnitude 23 avec un temps de pose d'une heure. Il devient ainsi possible de rechercher les objets de bande de Kuiper, une étude statistique permet d'espérer trouver quatre objets par champ dans ces conditions.

2.3.Le télescope Bernard Lyot

Le télescope Bernard Lyot est un télescope national, nous continuerons à y effectuer une à deux missions d'observation par an. La mise à la disposition des observateurs d'une caméra infrarouge en 1995 en fera un instrument privilégié pour l'observation des satellites proches des planètes géantes.

2. Développements de la Station de Planétologie des Pyrénées

La démarche de création de la S2P n'est pas celle d'un petit groupe égoïste, mais au contraire celle de l'ouverture d'un site d'observation exceptionnel à l'ensemble des planétologues. Nous pensons que le Pic ne peut survivre que s'il est soutenu par une grande communauté; il est donc nécessaire d'avoir une existence réelle reconnue par l'OMP, le DESPA et le BdL dans un premier temps et par de nombreux autres laboratoires par la suite. Il est à noter que cette création a été accueillie favorablement lors de sa présentation au colloque du PNP (Programme National de Planétologie) qui s'est tenu en juin dernier à Toulouse. La S2P est aussi bien accueillie par l'OMP qui désire développer un pôle de planétologie à Toulouse, le Pic du Midi deviendrait ainsi le site d'observation de ce pôle. Le but de la S2P est actuellement de fiabiliser l'instrumentation des télescopes afin de pouvoir augmenter le nombre d'observateurs, il faut savoir que le télescope de 1 mètre n'est utilisé que 40 % du temps!

CAMPAGNE PHESAT95 : LES PRÉDICTIONS DES PHÉNOMÈNES DES SATELLITES DE SATURNE

W. Thuillot

Abstract

The Earth and the Sun will pass through the Saturnian ring planes in 1995 and 1996. All around these dates, we can observe eclipses of the satellites by Saturn, mutual eclipses and mutual occultations. We have computed the predictions of these phenomena which may lead to very accurate astrometric measurements, helpful to improve the dynamical model of this system. These observations will also allow us to estimate some physical parameters such as the surface characteristics of the satellites.We organize an international campaign named PHESAT95 for the observation of the phenomena of the Saturnian satellites which occur from 1994 to 1996.

Introduction

La Terre et le Soleil passent dans le plan des anneaux de Saturne tous les quinze ans. Nous entrons actuellement dans une de ces périodes particulières puisque ces passages se produiront en mai 1995, août 1995, février 1996 pour la Terre et en novembre 1995 pour le Soleil. C'est alors l'occasion de mener des observations rares puisque les anneaux de la planète et les orbites des satellites sont alors vus par la tranche. Ce sera donc une occasion précieuse de faire des mesures particulièrement utiles, à quelques années du lancement de la sonde CASSINI vers le système de Saturne. Ces différentes observations consisteront en des études de certaines structures des anneaux qui deviennent alors accessibles, des mesures astrométriques de petits satellites très près de la planète, la recherche de nouveaux satellites, et des mesures photométriques durant des phénomènes d'éclipses et d'occultations de satellites. Pour mener à bien ces observations deux campagnes internationales sont actuellement lancées, une campagne américaine orientée principalement vers l'étude des anneaux et la campagne PHESAT95, que nous coordonnons, et qui est principalement orientée vers l'observation des éclipses des satellites par Saturne et celle de leurs phénomènes mutuels. Nous adaptons dans ce travail des méthodes de calcul, des méthodes d'observations, et des méthodes d'analyse que nous avons précédemment développées dans des campagnes similaires concernant le système des satellites galiléens de Jupiter.

1. Les prédictions des éclipses des satellites de Saturne

Au cours d'une révolution autour de la planète, les huit premiers satellites de Saturne présentent, pendant cette période particulière centrée sur 1995, des phénomènes analogues à ceux des satellites galiléens de Jupiter. On peut observer des passages de satellites sur la planète, des passages d'ombre, des occultations et des éclipses.

Ces éclipses par la planète, bien que présentant certaines difficultés liées à la proximité de la planète et à la brillance de son anneau, donnent l'occasion de mener des mesures astrométriques de précision. En effet, compte tenu de la vitesse tangentielle des satellites de Saturne qui va de 3 km/s pour Japet à 15km/s pour Mimas, des mesures photométriques calées sur l'échelle du temps universel (à mieux que 1 seconde) pendant une éclipse par la planète qui peut durer de 30 s pour Mimas à 450 s pour Titan, correspondent donc à des mesures spatiales d'une précision de l'ordre de quelques centièmes de secondes de degré. On peut donc, d'une observation de phénomène, déduire une mesure de position de très bonne précision. Pour comparaison, les écarts standard obtenus sur de bonnes observations photographiques sont de l'ordre du dixième de seconde de degré (voir par exemple Vienne et Duriez, 1995). Le principal problème des observations de phénomènes est, cependant, celui de l'effet de l'atmosphère de Saturne, mais notre connaissance de sa structure a été notablement améliorée par les travaux récents liés à l'exploration spatiale et l'application d'une modélisation de ces effets doit permettre de réduire son influence.

En utilisant la théorie de Dourneau (1993), nous avons réalisé le calcul des dates de ces phénomènes dans le but de sélectionner les phénomènes se présentant dans les meilleures conditions. Nous avons ainsi calculé 3538 débuts et fins d'éclipses. Puis en sélectionnant les phénomènes se produisant à plus de 10 degrés de distance apparente du Soleil, plus de 1 degré de distance apparente de la Lune et plus de 5 secondes d'arc du bord de Saturne, nous avons obtenu 163 éclipses observables dans de bonnes conditions géocentriques pour un site de qualité moyenne. Un filtrage pour des conditions topocentriques déterminées limite encore ce nombre de phénomènes pour un site donné. La coordination d'un réseau d'observateurs peut permettre de réaliser cependant la majeure partie de ces observations. La table 1 donne une répartition de ces phénomènes par satellite.

2. Les prédictions de phénomènes mutuels

Pendant l'année 1995 et le début de l'année 1996, la Terre et le Soleil seront suffisamment proches des plans orbitaux des satellites pour permettre l'observation de phénomènes mutuels de ces satellites : éclipses et occultations de satellites les uns par les autres. Nous avons réalisé les calculs de ces phénomènes et trouvé que 980 phénomènes mutuels, incluant des phénomènes rasants, se produiront. En filtrant les phénomènes se produisant à une distance apparente du Soleil supérieure à 10 degrés et à une distance apparente de la Lune supérieure à 1 degré, en considérant de plus les phénomènes se déroulant à plus de 0.5 rayon de Saturne du bord de la planète et engendrant une chute de flux lumineux supérieure à 10%, le nombre de phénomènes mutuels bien observables devient 193. La table 2 donne la répartition par type de phénomènes et par satellite.

Table 1. Nombre d'éclipses calculées par satellite : (a) sans filtrage ; (b) en filtrant les éclipses se produisant à plus de 10° du Soleil, 1° de la Lune et 5″ du bord de Saturne.

Satellite	(a)	(b)	Commentaires
S1 Mimas	1492	-	distance à Saturne < 5″
S2 Encelade	836	-	"
S3 Téthys	667	-	"
S4 Dioné	331	48	
S5 Rhéa	160	81	159 éclipses entre
S6 Titan	27	18	octobre 1994 et août 1996
S7 Hypérion	21	12	
S8 Japet	4	4	en 1993
Total	3538	163	

3. Comparaison avec des observations anciennes

Dans le but d'évaluer la précision de ces prédictions nous avons recherché des observations anciennes d'éclipses et de phénomènes mutuels des satellites de Saturne. Probablement en raison de la difficulté à réaliser les observations des éclipses qui se déroulent souvent à quelques secondes de degré de la planète, et de celle du calcul des phénomènes mutuels, peu d'observations anciennes ont été réalisées. Ainsi nous avons étudié 24 observations d'éclipses réparties entre 1906 et 1977, toutes, sauf une, étant des observations visuelles de demi-éclat. Nous avons obtenu une précision de 90 secondes de temps (environ 0.15 seconde de degrés). Nous avons également étudié 14 observations de phénomènes mutuels, la plupart étant observés en 1979-1980. Nous avons obtenu la précision de 60 secondes de temps (environ 0.10 seconde de degrés).

4. Comparaison avec les premières observations de la période

Par ailleurs, nous avons récemment observé les premières éclipses de satellites par Saturne. Grâce à la technique de la photométrie CCD et à l'instrumentation développée ces dernières années au télescope de 1m du Pic du Midi (Colas, 1991) nous avons obtenu les premières courbes de lumière d'éclipses de satellites par Saturne (figure 1). Ce site et son instrumentation autorisent des observations dans des conditions exceptionnelles, ainsi la photométrie de ces phénomènes a été possible malgré une distance apparente du bord de la planète de quelques secondes de degré. La table 3 donne les résidus préliminaires obtenus, par la mesure du demi éclat et montre la cohérence avec les comparaisons aux observations anciennes.

Table 2. Nombre de phénomènes mutuels calculés par type (occultations de B par A et éclipses de B par A) et par satellite, donnés sous forme (a)/(b) ; (a) : sans filtrage ; (b) : en filtrant les phénomènes se déroulant à plus de 10° du Soleil, 1° de la Lune, 0.5 rayon de Saturne du bord de la planète et engendrant une chute de flux lumineux supérieure à 10%.

ECL. B :	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Total
A :									
S1 Mimas	-	42/4	59/2	16/1	11/-	2/-	1/-	-	131/7
S2 Encelade	58/15	-	37/7	9/-	9/-	2/-	1/-	-	116/22
S3 Téthys	89/51	44/9	-	21/4	7/3	4/-	1/1	-	166/68
S4 Dioné	19/2	21/6	15/5	-	9/4	3/-	1/-	-	68/17
S5 Rhéa	10/2	8/2	10/3	9/4	-	2/-	-	-	39/11
S6 Titan	5/4	3/2	1/-	2/-	1/-	-	1/-	-	13/6
S7 Hypérion	1/-	1/-	4/-	1/-	3/-	1/-	-	-	11/-
S8Japet	-	-	-	-	-	-	1/-	-	1/-
Total	182/74	119/23	126/17	58/9	40/7	14/-	6/1	-	545/131

OCC. B :	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S	Total
A :									
S1 Mimas	-	41/7	18/1	18/2	9/-	2/-	-	-	88/10
S2 Encelade	41/6	-	37/5	12/2	9/-	1/-	2/-	-	102/13
S3 Téthys	16/3	35/5	-	26/5	13/3	2/-	2/-	-	94/16
S4 Dioné	19/2	31/8	17/3	-	11/4	6/-	3/-	-	87/17
S5 Rhéa	11/-	10/-	10/3	12/3	-	2/-	-	-	45/6
S6 Titan	3/-	3/-	3/-	1/-	2/-	-	1/-	-	13/-
S7 Hypérion	1/-	1/-	1/-	-	2/-	1/-	-	-	6/-
S8 Japet	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	91/11	121/20	86/12	69/12	46/7	14/-	8/-	-	435/62

Table 3. Résidus préliminaires obtenus lors d'observations CCD récentes d'éclipses réalisées au télescope de 1m du Pic du Midi (Observateurs : F. Colas, P. Laques, W. Thuillot, C.H. Veiga)

Phénomène	Date	O-Cl (s)	bord de Saturne ″
5 ECD	15/11/1994	– 44	3
5 ECF	15/11/1994	7	7
4 ECF	16/11/1994	0	5

Conclusion

Quelques années avant l'arrivée de la sonde CASSINI dans le système de Saturne, nous avons l'occasion entre 1994 et 1996, de réaliser des observations exceptionnelles, celles des phénomènes des satellites de Saturne. Nous avons récemment calculé les prédictions de ces événements. Ce travail a permis de sélectionner les phénomènes les mieux observables et de lancer une campagne internationale d'observation, la campagne PHESAT95. Cette campagne doit permettre de constituer ainsi une base de données astrométriques de haute précision qui sera utilisée pour l'amélioration du modèle dynamique des satellites de Saturne, et certainement d'en déduire certains paramètres physiques. L'ensemble de ces prédictions a été mis à la disposition de la communauté scientifique internationale sur le serveur anonyme du laboratoire ftp.bdl.fr sous le répertoire phesat95.

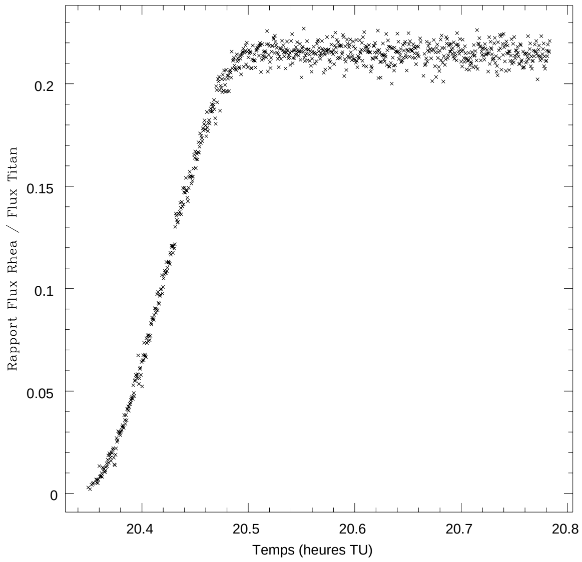

Figure 1. – *Observation CCD de la fin d'éclipse de Rhéa du 15/11/1994 réalisée au télescope de 1m du Pic du Midi.* L'écart trouvé entre observation et prédiction pour la date du milieu d'éclipse (50% de chute de flux) est de 7 secondes de temps.

Références

Arlot, J.-E., Thuillot, W. : 1993, Eclipses and mutual events of the first eight Saturnian satellites during the 1993-1995 period, Icarus 105

Colas, F. : 1991, Nouvelles observations CCD astrométriques : application au mouvement du satellite Thébé de Jupiter, Thèse, Observatoire de Paris.

Dourneau, G. : 1993, Observations et études du mouvement des huit premiers satellites de Saturne, Astron. Astrophys. 267, 292

Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, Astron. Astrophys. (à paraître)

ORGANISATION DE LA CAMPAGNE PHESAT95 D'OBSERVATION DES PHÉNOMÈNES DES SATELLITES DE SATURNE

J.-E. Arlot

Introduction

En 1995 et 1996, le Soleil et la Terre vont passer dans le plan des anneaux de Saturne. Le plan est également celui des orbites des 7 premiers satellites de Saturne et ainsi, des occultations et éclipses mutuels entre les satellites eux-mêmes vont se produire, en plus des phénomènes classiques engendrés par la planète elle-même. Si les éclipses par Saturne s'étalent de 1992 à 1998, les phénomènes mutuels, eux, ne se produisent qu'en 1995 et 1996. La figure 1 donne la répartition des phénomènes mutuels sur cette période en regard des déclinaisons planétocentriques de la Terre et du Soleil.

1. Les phénomènes et leur observation

Tous les phénomènes qui vont se produire ne présentent ni le même intérêt, ni la même difficulté à observer et il est important d'effectuer un tri et de répartir les observations selon les sites et les instruments disponibles. Il est à noter que, par définition, un phénomène a lieu à une date précise et que, pour l'observer, il faut que Saturne et ses satellites soient au-dessus de l'horizon et que le Soleil ne soit pas gênant (c'est à dire suffisamment bas sous l'horizon). Un phénomène donné n'est donc observable que depuis quelques sites et, pour les phénomènes les plus intéressants, le maximum de sites doit être prêt à observer, principalement pour limiter les aléas de la météorologie et aussi pour lever d'éventuelles ambiguités apparaissant dans telle ou telle observation.

On peut distinguer trois types de phénomènes :

— les éclipses par la planète Saturne, assez difficiles à observer du fait de la proximité de Saturne et de ses anneaux : pour observer ces phénomènes, il faudra privilégier l'emploi du CCD dans de très bons sites car le photomètre photo électrique habituellement utilisé pour ces phénomènes serait ébloui par Saturne.

— les passages des satellites et de leur ombre devant Saturne et les occultations par Saturne ; ces phénomènes présentent un intérêt de curiosité plutôt que scientifique. Les passages de l'ombre de Titan sur le disque de Saturne pourraient peut-être être surveillé en imagerie afin de détecter un effet de refroidissement sur l'atmosphère de Saturne. Toujours est-il qu'un tel passage sera spectaculaire à observer et cette observation est particulièrement destinée aux astronomes amateurs et aux curieux du ciel.

— les phénomènes mutuels ; ils sont plus rares mais plus intéressants car les satellites sont dépourvus d'atmosphère (sauf Titan). Il y en a de deux types : les occultations et les éclipses mutuelles. La table 1 répartit ces phénomènes selon leur difficulté d'observation et la figure 1 donne leur répartition dans le temps. Ces phénomènes peuvent être enregistrés à l'aide d'un photomètre photo électrique pour ceux qui sont rapides (d'une durée inférieure à 2 minutes) et loin de Saturne, mais l'observation CCD sera souvent préférable comme pour les éclipses par Saturne, principalement pour les phénomènes longs. La cible du CCD permettra d'enregistrer simultanément un autre satellite comme référence. En effet, si le petit champ du système de Saturne est peu favorable à l'utilisation du photomètre photo électrique (il faut isoler un satellite dans un diaphragme de 5 à 10 secondes de degré), il est par contre favorable à l'utilisation du CCD qui a au moins un champ de 2 minutes d'arc, ce qui permet d'observer plusieurs satellites simultanément. Il est cependant conseillé d'enregistrer seulement les zones intéressantes du champ afin de limiter le volume des données à stocker et d'accélérer le processus (on augmentera ainsi la résolution temporelle).

Table 1. Répartition des phénomènes mutuels selon la difficulté d'observation

	Grandeur		
Distance à Saturne	$< 15\%$	de 15% à 50%	de 50% à 100%
$< 5''$	27	9	9
de 5 à $10''$	27	31	5
de 10 à $25''$	69	44	44
+de $25''$	29	30	5

2. La préparation des observateurs

Du fait de la nécessité d'un grand nombre de sites prêts à observer simultanément, il faut disposer d'observateurs en nombre suffisant. Ainsi, la majorité de ceux-ci ne sera pas vraiment habituée à effectuer ce type d'observation. Afin de les sensibiliser aux difficultés et aussi aux résultats que l'on pourra en déduire, nous avons organisé une réunion à Bucarest (Roumanie) en septembre dernier afin de mobiliser des observateurs sur tous les continents. Nous envisageons également la distribution de notes techniques durant le déroulement de la campagne. Cette campagne a d'ailleurs déjà commencé mais la période la plus chargée est la période allant de mai 1995 à février 1996. Il est à noter que la magnitude des objets observés limite le nombre de sites potentiels par rapport à ceux utilisés lors des campagnes d'observation des phénomènes des satellites de Jupiter. La table 2 donne les sites qui devraient être disponibles pour la campagne. On y indique le nombre de phénomènes mutuels suivi du nombre d'éclipses. On a considéré seulement les phénomènes observables facilement (chute en flux supérieure à 15% ; bord de Saturne à plus de $5''$; Saturne à plus de 15° au-dessus de l'horizon, Soleil à plus de 5° sous l'horizon).

Table 2. Nombre de phénomènes facilement observables

	Phénomènes mutuels	Éclipses
Pic du Midi	43	20
Barcelona	42	21
Teneriffe	42	26
Kavalur	40	29
Bucarest	38	23
Catania	37	24
Berlin	36	16
Kiev	36	20
Siding Spring	31	35
Pulkovo	30	15
Rio de Janeiro	29	30
ESO, La Silla	28	34
Mitaka, Tokyo	27	33
Flagstaff	25	28
Hawaï	24	45

Les observateurs disposent d'une documentation en ligne accessible via FTP anonyme : on y trouve les fichiers contenant des listes de phénomènes, des notes techniques, les comptes rendus de la réunion de Bucarest et des logiciels pour PC permettant le choix des phénomènes et le calcul des conditions locales.

3. La collecte des données

Les observateurs doivent être particulièrement bien informés sur les données qu'ils doivent recueillir, en particulier pour pouvoir effectuer calibration, réduction et exploitation dans les meilleures conditions. Certaines informations ne pourront pas être obtenues après le moment du phénomène. En particulier, la datation en Temps Universel doit se faire à 0.1 seconde pour pouvoir utiliser ces données pour l'amélioration des éphémérides des satellites. Toutes les données seront, dans la mesure du possible, transférées via Internet mais l'usage des disquettes sera cependant possible. La réduction pourra éventuellement être faite par les observateurs eux-mêmes s'ils disposent des moyens nécessaires.

Conclusion

La période de 1995-1996 est particulièrement favorable à l'observation des phénomènes des satellites de Saturne : c'est durant l'opposition de Saturne et du Soleil que les meilleurs phénomènes vont se produire. En 1980, lors du précédent passage de la Terre dans le plan équatorial de Saturne, seuls 8 phénomènes mutuels ont été observés mais l'intérêt de ces observations justifie l'effort entrepris en 1995 ; les progrès réalisés en 15 ans tant sur l'amélioration des récepteurs que sur la préparation des observations nous permettent d'envisager une moisson de données.

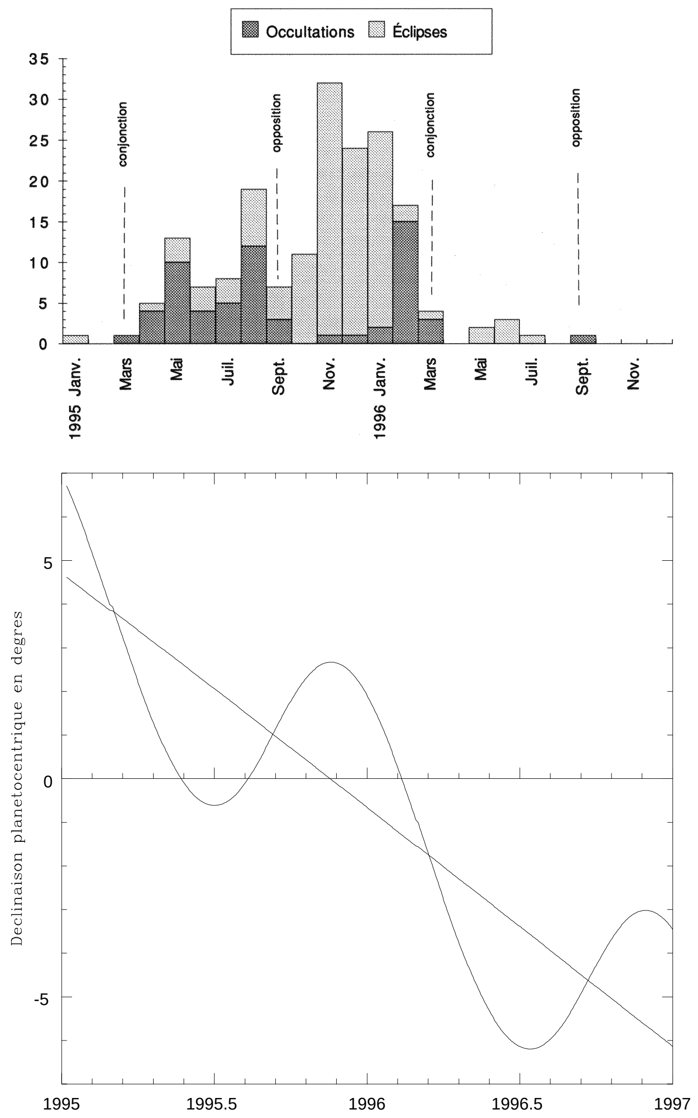
Occultations
Éclipses
35
30
25
20
15
10
5
0
conjonction
opposition
conjonction
opposition
1995 Janv.
Mars
Mai
Juil.
Sept.
Nov.
1996 Janv.
Mars
Mai
Juil.
Sept.
Nov.
Declinaison planetocentrique en degres
5
0
-5
1995
1995.5
1996
1996.5
1997

Figure 1.