

# Observations et exploitations de phénomènes mutuels

Benoît NOYELLES

2 mai 2003

## 1 Introduction

Tous les 15 ans, la Terre et le Soleil traversent le plan des orbites des satellites de Saturne, ce qui permet l'apparition de phénomènes mutuels. La campagne PHESAT95 (cf. [9]) a permis l'acquisition de 65 courbes de lumière représentant 41 phénomènes observés en 17 sites un peu partout dans le monde, impliquant les satellites Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa et Titan. La précision de ces observations les rend intéressantes pour affiner les éphémérides notamment en vue de la mission CASSINI, c'est pourquoi je me suis intéressé à faire une réduction astrométrique de cette campagne.

## 2 Modélisation des phénomènes

Les 2 aspects importants de la modélisation de phénomènes mutuels sont d'une part la modélisation géométrique de l'éclipse ou de l'occultation, et d'autre part la modélisation de la diffusion de la lumière par la surface du ou des satellites impliqués.

Pour la modélisation géométrique du phénomène, j'ai utilisé l'interpolation en polynômes de Tchebychev SLP96 de la théorie VSOP87 [2] pour les mouvements du Soleil, de la Terre et de Saturne, et TASS1.7 [10] pour les mouvements des satellites de Saturne. J'ai considéré que le mouvement relatif des satellites était rectiligne uniforme, comme si, dans le cas d'une occultation, le satellite occulteur (respectivement éclipsé) se déplaçait à vitesse constante sur un rail pendant que l'autre reste immobile (cf. figure 2). Cette modélisation permet d'introduire 2 quantités géométriques : l'instant du minimum de distance et le paramètre d'impact (la distance entre les deux satellites, projetée sur la sphère céleste, au minimum de distance, cf. figure 1).

La photométrie des satellites de Saturne étant moins bien connue que celle des galiléens, le choix de la loi de diffusion à utiliser est restreint si on ne veut pas avoir à ajuster les paramètres photométriques. Le choix d'une loi de Lambert pour Titan s'est imposé car cette loi est connue pour convenir aux corps à atmosphère ; j'ai utilisé une loi de type Buratti-Verka pour représenter la diffusion de la lumière par les autres satellites, les paramètres associés à cette loi étant connus depuis les sondes Voyager pour les satellites S-1 à S-5 (cf. [3] et équation 1) ; une réduction astrométrique de phénomènes mutuels concernant ces satellites avait d'ailleurs déjà effectuée par Devyatkin & Miroshnichenko [4] à l'aide de cette formule.

$$\frac{I}{F} = A \frac{\cos(i)}{\cos(i) + \cos(e)} (f_0 + B\alpha + C\alpha^2) + (1 - A) \cos(i) \quad (1)$$

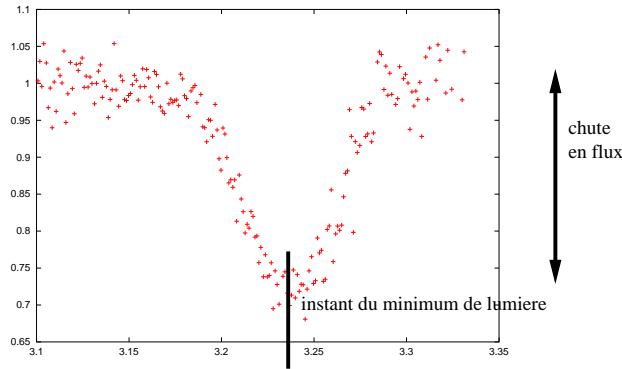


FIG. 1 – exemple de courbe de lumière

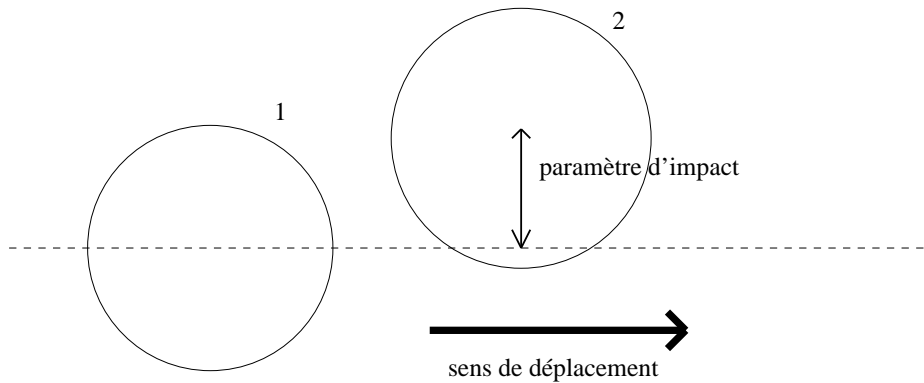


FIG. 2 – représentation du mouvement relatif des 2 satellites lors d'un phénomène mutuel

$$\text{avec : } \left\{ \begin{array}{ll} I & \text{flux réfléchi} \\ \pi F & \text{flux solaire incident} \\ i & \text{angle d'incidence de la lumière sur la surface du satellite} \\ e & \text{angle d'émergence} \\ \alpha & \text{angle de phase} \\ A, B, C, f_0 & \text{constantes photométriques} \end{array} \right.$$

J'ai également tenu compte de l'assombrissement de limbe du Soleil en utilisant une loi empirique de Hestroffer & Magnan [6].

### 3 Ajustement du modèle

Cette modélisation m'a permis d'obtenir une courbe de lumière théorique d'aspect similaire aux meilleures courbes effectivement observées, sur lesquelles on peut noter 3 quantités : l'instant du minimum de distance, la chute en flux et la durée du phénomène, quantités que l'on peut plus ou moins rattacher à l'instant du minimum de distance, au paramètre d'impact et à la vitesse relative des 2 satellites. D'autre part, des paramètres photométriques interviennent dans le modèle. Le problème est : quels paramètres ajuster ?

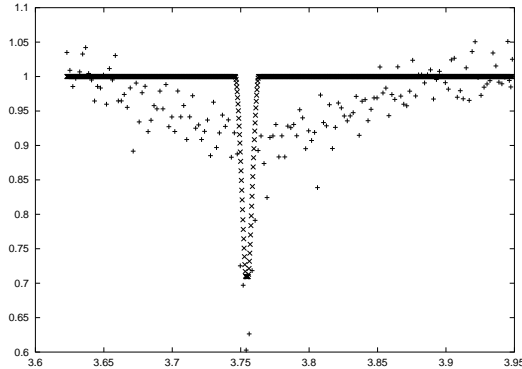


FIG. 3 – Occultation de Mimas par Encelade observée à l’OHP le 16 août 1995. Cette courbe est un bon exemple où un ajustement de la vitesse peut ajuster autre chose que le phénomène.

La nécessité d’ajuster l’instant du minimum de distance et le paramètre d’impact vient du fait que ce sont ces 2 quantités qui sont des résultats astrométriques. L’ajustement d’autres quantités peut servir à améliorer la similitude entre l’observation et le modèle.

J’ai choisi de ne pas ajuster les paramètres photométriques. Ces paramètres peuvent dépendre de l’angle de phase, c’est par exemple clairement le cas du paramètre d’assombrissement de limbe de la loi de Minnaert. Néanmoins, dans le cas de la loi de Buratti-Vererka, la phase apparaît explicitement dans l’expression du flux lumineux réfléchi, ce qui nous a permis de tenir compte de l’angle de phase sans ajuster les paramètres photométriques.

Faut-il ajuster la vitesse ? Dans notre modèle, la vitesse est décorrélée des 2 autres paramètres que nous ajustons, pour les bonnes courbes le bruit la corrèle au maximum à 5%, néanmoins nous avons quelques cas, impliquant Mimas et/ou Encelade, où le halo de Saturne laisse une trace parabolique sur la courbe de lumière (cf. figure 3) ; un ajustement de la vitesse sur une telle courbe assimilerait le problème du halo au phénomène mutuel et ainsi fausserait le résultat. Comme une théorie dynamique même approximative est assez fiable pour la vitesse, j’ai choisi de ne pas ajuster ce paramètre.

## 4 Résultats et critiques

À partir de 65 ajustements, j’ai classé les résultats en 3 groupes, il y a 16 résultats jugés très fiables, 32 jugés utilisables, les autres étant rejetés ; cette classification résulte d’une comparaison visuelle entre l’ajustement et la courbe observée. Les résidus obtenus sont de l’ordre de 25 mas pour les résultats jugés les plus fiables ; ces résultats impliquent essentiellement Téthys, Dioné et Rhéa. Mimas et Encelade sont plus délicats à observer du fait du halo, quant à Titan, le fait qu’il soit bien plus brillant que les autres rend les chutes en flux assez faibles, augmentant ainsi l’influence du bruit.

Une comparaison de ces résultats avec ceux d’Emelianov [5] et d’Aksnes [1] (sur des courbes obtenues par Soma en 1980, cf. [8]) met en lumière une source d’erreur pouvant se chiffrer à 200 mas : lorsque le paramètre d’impact théorique lors d’un phénomène est faible, les écarts entre les différentes théories peuvent conduire à un écart de  $180^\circ$  sur l’angle de position. Si l’observation indique un paramètre d’impact plus important, l’écart obtenu entre 2 ajustements sera de l’ordre du double de ce paramètre d’impact si on utilise des angles de

position différents venant de théories différentes. Par conséquent, l'utilisation de théories de différentes peut dans certains cas entraîner une erreur de 200 mas, alors que l'on s'attend à des observations précises à moins de 30 mas.

## 5 Conclusion

Cette étude est à considérer comme une étape dans l'élaboration d'une méthode de réduction astrométrique des phénomènes mutuels des satellites saturniens. Actuellement je participe à la campagne PHEMU03 essentiellement à Lille avec une lunette de 32.5cm de diamètre et de 6m de focale. Le site de Lille n'a malheureusement pas été utilisable dès le début de la campagne pour des raisons techniques, néanmoins une douzaine de phénomènes y ont été observés.

La précision astrométrique des phénomènes mutuels ouvre des perspectives quant à leur utilisation, on peut par exemple espérer les utiliser pour détecter une accélération séculaire de la longitude des satellites, et ainsi une estimation des effets de marée.

## Références

- [1] Aksnes K. et al., 1984, *AJ*, 89, 280
- [2] Bretagnon P. & Francou G., 1988, *A&A*, 202, 309
- [3] Buratti B. & Veverka J., 1984, *Icarus*, 58, 254
- [4] Devyatkin A.V. & Miroshnichenko A.S., 2001, *Astron. Lett.*, 27, 193
- [5] Emelianov N.V., Irmambetova T.R. & Tejfel V.G., 1997, *Sol. Syst. Res.*, 31, 436
- [6] Hestroffer D. & Magnan C., 1998, *A&A*, 333, 338
- [7] Noyelles B., Vienne A. & Descamps P., 2003, *A&A*, 401, 1159
- [8] Soma M. & Nakamura T., 1982, *Tokyo Astron. Bull. Second Ser.*, 267, 3039
- [9] Thuillot W. et al., 2001, *A&A*, 371, 343
- [10] Vienne A. & Duriez L., 1995, *A&A*, 297, 588