



HAL
open science

Amélioration des éphémérides des satellites galiléens de Jupiter par l'analyse des observations

Jean-Eudes Arlot

► **To cite this version:**

Jean-Eudes Arlot. Amélioration des éphémérides des satellites galiléens de Jupiter par l'analyse des observations. Astrophysique [astro-ph]. Observatoire de Paris, 1982. Français. NNT : 1982OBSP0001 . tel-01958588

HAL Id: tel-01958588

<https://theses.hal.science/tel-01958588>

Submitted on 18 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT D ' ETAT

ès Sciences Physiques

présentée

à l'Observatoire de Paris



par Monsieur Jean-Eudes ARLOT

pour obtenir le grade de DOCTEUR ES SCIENCES

Sujet de la thèse :

Amélioration des éphémérides des satellites galiléens
de Jupiter par l'analyse des observations

soutenue le 24 mai 1982 devant le jury composé de :

Monsieur Jean DELHAYE	Président
Monsieur André BRAHIC	Examineur
Monsieur Jean KOVALEVSKY	"
Monsieur Bruno MORANDO	"
Monsieur Jean ROSCH	"
Monsieur Yves THIRY	"

THESE DE DOCTORAT D ' ETAT
ès Sciences Physiques

présentée
à l'Observatoire de Paris



par Monsieur Jean-Eudes ARLOT
pour obtenir le grade de DOCTEUR ES SCIENCES

Sujet de la thèse :

Amélioration des éphémérides des satellites galiléens
de Jupiter par l'analyse des observations

soutenue le 24 mai 1982 devant le jury composé de :

Monsieur Jean DELHAYE	Président
Monsieur André BRAHIC	Examineur
Monsieur Jean KOVALEVSKY	"
Monsieur Bruno MORANDO	"
Monsieur Jean ROSCH	"
Monsieur Yves THIRY	"



AMELIORATION DES EPHEMERIDES
DES SATELLITES GALILEENS DE JUPITER
PAR L'ANALYSE DES OBSERVATIONS

J. - E. ARLOT
Bureau des Longitudes
1982

SOMMAIRE



ENGLISH ABSTRACT.....	1
INTRODUCTION.....	5
But du travail, Comment améliorer les éphémérides.	
HISTORIQUE.....	11
Historique des tables des satellites galiléens. Les éclipses et les observations photographiques.	
CHAPITRES 1 A 7.....	21
<u>CHAPITRE 1 : Les différents types d'observations des satellites galiléens de Jupiter.</u>	23
La différence entre l'observation simple et l'observation de phénomènes.	
<u>I-Les observations de phénomènes</u>	
a) <u>Les phénomènes classiques</u> (planète/satellite).....	24
Eclipses, occultations, passages, ombres. Observation visuelle. Observation photométrique des éclipses.	
b) <u>Les phénomènes mutuels</u> (satellite/satellite).....	24
Phénomènes rares mais précis. Occultations et éclipses.	
<u>II-Les observations de positions</u>	
a) <u>Les observations visuelles</u>	25
Observations au micromètre ou à l'héliomètre.	
b) <u>Les observations photographiques</u>	26
Des réfracteurs "Carte du Ciel" au "long-foyer". La réduction. La compensation en magnitude.	
<u>III-Autres types d'observations</u>	28
Les observations méridiennes. Les observations radar. Les observations spatiales.	
<u>CHAPITRE 2 : Recherche et étude d'observations photographiques...</u>	31
<u>I-Les observations les plus anciennes effectuées à Helsingfors et Pulkovo de 1891 à 1910.</u>	32
Utilisation des astrographes "Carte du Ciel". Séries d'observations faites avec soin.	
<u>II-Les observations dites "de De Sitter" effectuées de 1913 à 1928.</u>	33
Augmentation des distances focales des instruments utilisés. Données non brutes. Problème des composantes X et Y isolées.	
<u>III-Autres observations photographiques de la première moitié du XXème siècle.</u>	34
a) <u>Observations faites à l'observatoire de Zô-Sé (Chine) en 1917 et 1918.</u>	35
Problème de la surexposition de la planète: emploi de caches. Mesure ou réduction défectueuse des plaques.	
b) <u>Observations faites par Petrescu à Bucarest en 1934 et à Paris en 1936.</u>	35
Emploi également d'un cache pour la planète. Observations de qualité moyenne.	
<u>IV-Les observations faites avec une courte focale dans la seconde moitié du XXème siècle.</u>	37
Les observations des satellites galiléens sont tombées dans l'oubli. Les observations ne sont alors que marginales et occasionnelles, faites dans un autre but.	

a) <u>Les observations de Van Biesbroek à Yerkes</u>	37
Utilisation d'un réflecteur non adapté aux observations ayant un but astrométrique.	
b) <u>Les observations de Gorel à Nicolaiev</u>	37
Utilisation d'un astrographe à courte focale.	
c) <u>Les observations de Soulié à Bordeaux</u>	38
Utilisation d'un astrographe du type "Carte du Ciel". Qualité de la réduction variable selon les années.	
d) <u>Les observations effectuées par Debehogne sur divers instruments</u>	38
Utilisation d'instruments dont la focale va de 1m à 4m environ. Observations de faible qualité.	
<u>V- Les observations modernes effectuées avec un réfracteur à longue focale</u>	39
Relance des observations dans les années 1970. Recherche d'une très bonne précision. Technique nouvelle de Pascu. Utilisation possible des positions de la planète Jupiter.	
<u>CHAPITRE 3 : Amélioration de la réduction des observations photographiques</u>	47
<u>I- Utilisation de la position de la planète Jupiter</u>	47
Les données présentes sur une plaque photographique. Intérêt de disposer de la position de la planète. Pour éviter les erreurs systématiques sur cette position, existence de 2 méthodes:	
a) <u>La méthode empirique</u>	48
Modélisation de l'effet de phase photographique au cours d'une opposition de Jupiter. Nécessité de disposer d'un grand nombre d'observations bien réparties.	
b) <u>La méthode microdensitométrique</u>	50
Etude particulière de quelques plaques. Utilisation de machines à mesurer automatiques pilotées par ordinateur.	
1) <u>Le microphotomètre utilisé</u>	50
Description succincte de la machine.	
2) <u>Les premiers essais de mesure</u>	50
Les satellites. Les étoiles de champ. La planète Jupiter. La traînée d'une étoile ou d'un satellite.	
3) <u>Choix techniques</u>	58
Pas de l'analyse. Vitesse d'analyse. Filtrage des données. Répétitivité des mesures.	
4) <u>Le problème particulier de la détermination de la position de la planète</u>	63
Détermination du centre de l'image. Intégration photométrique ou géométrique de la surface. Elimination de l'effet de phase. Méthodes des gradients de densité.	
5) <u>Application à quelques plaques: résultats et discussion</u>	69
Comparaison des divers (O-C) (Observation-Calcul) obtenus. Plaques surexposées. Plaques sous-exposées. Plaques long-foyer. Plaques court-foyer.	
6) <u>L'avenir des mesures microdensitométriques des plaques</u>	72
Intérêt de la méthode. Problème du temps de calcul nécessaire sur ordinateur. Application à d'autres planètes.	

<u>II-L'élaboration d'un catalogue d'étoiles secondaire.....</u>	75
Absence d'étoiles cataloguées en nombre suffisant dans le champ des plaques long-foyer. Réduction classique donnant des positions absolues impossible. Nécessité de cataloguer les étoiles à l'aide de plaques d'astrogaphe à grand champ.	
<u>CHAPITRE 4 : Autres types d'observations précises.....</u>	79
Intérêt d'avoir de nombreux types d'observations pour limiter les erreurs systématiques.	
<u>I-Les phénomènes mutuels.....</u>	79
Phénomènes rares mais d'un grand intérêt. Organisation indispensable de campagnes d'observations. Problème pour la réduction de la chute en magnitude.	
<u>II-Utilisation de récepteurs modernes.....</u>	80
Observation de "pseudo-phénomènes mutuels".	
a) <u>Le matériel utilisé.....</u>	81
Utilisation d'un tube SIT-Vidicon. Stockage des données sous forme analogique ou numérique.	
b) <u>Les résultats obtenus.....</u>	82
Traitement des images conservées. Détermination du minimum de distance entre les satellites.	
c) <u>Conclusion.....</u>	84
<u>CHAPITRE 5 : Ephémérides et théories actuelles.....</u>	85
Les différents travaux effectués au cours du XXème siècle. La théorie de Sampson. Son amélioration par Lieske. Les différentes éphémérides existantes.	
<u>CHAPITRE 6 : Détermination de nouvelles constantes d'intégration</u>	
<u>I-Le problème de la correction des constantes du mouvement....</u>	87
a) <u>Les erreurs de l'échelle de temps</u>	
1) <u>Causes internes.....</u>	88
Les conséquences de la mauvaise connaissance de l'échelle de temps à l'époque de la construction de la théorie et des tables de Sampson.	
2) <u>Causes externes.....</u>	88
L'échelle de temps non uniforme UT utilisée pour repérer les observations actuelles.	
b) <u>Les erreurs sur les constantes du mouvement.....</u>	89
Relation entre les (O-C) et les erreurs sur les constantes du mouvement.	
<u>II-Correction des tables de Sampson.....</u>	90
Accès aux seuls termes en longitude par la théorie originale de Sampson. Calcul des corrections à apporter à ces termes.	
<u>III-Correction des tables de Lieske.....</u>	94
Accès à toutes les constantes du mouvement par la théorie de Sampson revue par Lieske.	
a) <u>La mise en équations.....</u>	97
Utilisation des dérivées partielles. Ecriture et pondération des des équations de condition.	
b) <u>La résolution des équations.....</u>	98
Choix des constantes à corriger. Problème de la corrélation	

entre les variables. Linéarité des équations et itération du processus de calcul.	
c) <u>Les résultats</u>	101
Valeurs corrigées obtenues pour les constantes du mouvement. Diverses solutions effectuées. Comparaisons avec des résultats obtenus par d'autres auteurs avec d'autres observations. Ecartstype 'après solution'.	
<u>CHAPITRE 7 : Construction de nouvelles éphémérides</u>	107
Les constantes modifiées déterminées dans le chapitre 6 vont servir à construire de nouvelles éphémérides.	
<u>I-Comparaison des éphémérides aux observations</u>	
a) <u>Comparaison aux observations photographiques</u>	107
Présentation graphique des (O-C) pour plusieurs éphémérides et diverses séries d'observations. Calcul des écarts en longitude entre les observations et ces éphémérides.	
b) <u>Comparaison aux observations de phénomènes mutuels</u>	120
Présentation graphique des dates observées et calculées de plusieurs phénomènes observés en 1973 et en 1979. Calculs des écarts en longitude pour ces 2 époques.	
<u>II-Recherche des causes de la non-coïncidence entre les observations et les éphémérides</u>	125
Non-coïncidence entre observations et éphémérides malgré la correction des constantes du mouvement. Comparaison des (O-C) de 2 séries d'observations de type différents effectuées à la même époque. Essai de détermination de la cause de cette non-coïncidence.	
<u>III-Comparaison directe entre les diverses éphémérides disponibles</u>	127
Comparaison des écarts-type obtenus avec des éphémérides différentes sur les mêmes séries d'observations. Représentation graphique de l'évolution des différences entre éphémérides, à court terme et à long terme.	
<u>IV-Conclusion</u>	130
Choix d'une éphéméride pour les prédictions futures.	
CONCLUSION.	137
Bilan des résultats obtenus. Perspective d'avenir.	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	143
REMERCIEMENTS.	149
ANNEXES.	153
<u>Annexe A : Théorie des erreurs</u>	A1 à A11
Théorie des erreurs: les erreurs systématiques, les erreurs accidentelles. Application aux observations photographiques des satellites galiléens. Problème du centre de référence. Elimination et calcul des erreurs systématiques. Corrélations. Ecartstype.	
<u>Annexe B : Les observations</u>	B1 à B32
Les observations photographiques utilisées. On donne ici chaque observation individuelle, ainsi que les (O-C) correspondants.	

Annexe C : Histogrammes des (O-C) des séries de l'annexe B. C1 à C10
Histogrammes donnés avec ou sans référence à la planète
pour certaines séries.

Annexe D : **D1 à D20**
Les résultats de la campagne d'observations "PHEMU79"
des phénomènes mutuels des satellites galiléens de Jupiter
(article paru dans "Astronomy and Astrophysics")

ENGLISH ABSTRACT

Until now, the ephemerides of the Galilean Satellites of Jupiter were constructed mainly on the observations of eclipses. The aim of the present work is to show the value and precision of other kinds of observations, and photographic observations in particular.

In Chapter 2, we analyze the great majority of available photographic observations. Qualities and defects of each series are brought to light so that in the future these series can be used with maximum gain. A large body of information is made available for that purpose : standard errors (in apparent coordinates) for each series (see tables 1 to 5 in chapter 2), histograms (in annex C) and plots (chapter 7) of the residuals, and the calculated mean errors in longitude for several epochs around the dates of the series (chapter 7).

In Chapter 3 our goal is to improve the reduction of some series of photographic plates. In paragraph I, we will see that it is possible to use the position of the planet Jupiter although this has not yet been done. Two methods are proposed : the first one requires large sets of observations. The second requires that the plates be measured using a microphotometer driven by a computer. We avoid the manual measurements, so the precision of the data is improved. In paragraph II, we make a catalogue of secondary stars appearing on long-focus plates. That permits us to reduce some plates which would be useless otherwise.

Until now, only observations of eclipses and photographic observations existed or were made regularly. In Chapter 4, we explore the possibility of making very different observations, at least as precise

as the previous ones. The purpose of this is to detect and minimize the systematic errors occurring when only one type of observations is available. The observations of mutual phenomena fulfill this aim, and so in 1979, we organized the first French campaign of observations of such phenomena. The results are presented in annex D. However, such observations are possible only every 6 years. So, to fill the observational gap in the interim, we made similar observations (observations of the minimum distance between satellites) using modern recorders. The new technique appeared profitable.

Finally, we determine new constants of the motions of the Galilean Satellites (chapter 6) and we construct new ephemerides (chapter 7) to show that our choice concerning the photographic observations is justified. The comparison (chapter 7) of our ephemerides with observations and with other ephemerides demonstrates their great accuracy.

INTRODUCTION

Dès les premières observations des satellites galiléens, le but des astronomes fut de pouvoir déterminer à l'avance la position de ces satellites et effectuer la prédiction de leurs phénomènes grâce à des éphémérides précises. Pour cela, il était nécessaire de construire une théorie reposant sur les principes de la mécanique céleste, c'est-à-dire de poser les équations du mouvement en tenant compte de toutes les contraintes extérieures, et de résoudre ces équations pour obtenir les paramètres de position en fonction du temps et des constantes physiques du système. Ce problème a occupé et occupe encore de nombreux astronomes. Les progrès des mathématiques et du calcul numérique permettent sans cesse une augmentation de la précision et de la durée de validité des théories construites.

Une théorie des satellites galiléens, par destination, doit autoriser la construction d'éphémérides. Pour cela il est nécessaire de disposer d'observations, puis d'ajuster la théorie sur ces observations afin d'obtenir des éphémérides. Ainsi, si l'on possède une théorie, l'amélioration de la précision avec laquelle sont effectuées ou réduites les observations entraîne une augmentation de précision des éphémérides. Le choix des observations et la manière dont la théorie sera ajustée sur ces observations, auront également une influence importante sur la qualité des éphémérides.

Cette recherche d'une amélioration des éphémérides des satellites galiléens est tout-à-fait justifiée par le fait que si les éphémérides des siècles précédents, fondées sur les observations d'éclipses, étaient suffisantes pour les déterminations de longitude (ce qui était leur but principal), les missions spatiales modernes nécessitent, pour leur préparation, des éphémérides bien plus précises. C'est dans ce contexte que se situe ce travail.

Jusqu'à maintenant, les éphémérides des satellites galiléens de Jupiter reposaient essentiellement sur des observations d'éclipses. Les brèves études consacrées aux observations photographiques n'ont jamais vraiment contribué à une amélioration effective des éphémérides et, bien que les quelques résultats obtenus fussent encourageants, aucun travail de grande envergure n'avait jamais été entrepris sur ce sujet et c'est ce but qui a été ici poursuivi.

Nous allons tout d'abord (chapitre 2) faire une étude critique d'un vaste ensemble de séries d'observations photographiques. Les techniques de réduction et d'observation utilisées sont de nature très diverses. Les meilleures d'entre elles, à utiliser à l'avenir, seront révélées grâce aux résultats obtenus.

Ensuite (chapitre 3, paragraphe I), nous verrons dans quelle mesure la réduction des plaques photographiques peut être améliorée. En effet, la mesure de ces plaques ne s'est effectuée jusqu'à présent qu'au moyen de machines à mesurer visuelles. L'utilisation de machines pilotées par ordinateur nous a permis d'obtenir informations et précisions supplémentaires. Nous avons ainsi mis au point une méthode entièrement nouvelle pour le traitement des plaques.

D'autre part, certaines observations photographiques se sont avérées inutilisables avec les méthodes de réduction utilisées jusqu'à maintenant. Nous avons mis au point une méthode qui met en œuvre un catalogue d'étoiles secondaire, méthode inemployée jusqu'à ce jour pour les satellites galiléens. Ainsi nous pouvons augmenter les données disponibles (chapitre 3, paragraphe II).

Par ailleurs, jusqu'ici, seules les observations d'éclipses et les observations photographiques sont utilisées et, pour certaines, effectuées régulièrement. En France, aucune campagne coordonnée d'observations des phénomènes mutuels des satellites galiléens n'avaient encore eu lieu et nous avons saisi l'opportunité de 1979 pour lancer une telle campagne qui

a d'ailleurs été couronnée de succès (chapitre 4 , paragraphe I,et annexe D). Ces phénomènes n'étant observables que tous les 6 ans, nous avons d'autre part voulu tenter des observations similaires, mais en permanence, en utilisant des récepteurs modernes. On verra que cette technique nouvelle s'est avérée fructueuse (chapitre 4, paragraphe II).

Enfin, pour prouver la justesse de nos méthodes concernant les observations photographiques, nous déterminerons de nouvelles constantes du mouvement des satellites galiléens (chapitre 6) et calculerons de nouvelles éphémérides. Des comparaisons aux observations et aux diverses éphémérides disponibles (chapitre 7) montreront la supériorité de nos nouvelles éphémérides sur celles dont nous disposions jusqu'à présent, donc le parti que l'on peut tirer des observations en les traitant et en les utilisant comme nous l'avons fait.

HISTORIQUE

Les premières observations. -

Peu après la découverte des lunettes d'approche, Galilée, en observant Jupiter le 7 janvier 1610, aperçut trois petites étoiles dont le mouvement ne pouvait être expliqué par celui de la planète (Galilée 1610). Il comprit dès le 11 janvier que ces trois petits astres tournaient autour de Jupiter . Ce ne fut que le 13 janvier qu'il en vit quatre. Au cours de l'année 1610, il y eut d'autres observateurs de ces corps : S. Mayer (qui dit les avoir vus dès novembre 1609 , cf. S. Marius 1614), Kepler (Keplerus 1610) , Harriot , Peiresc, L'identification des satellites, et donc la détermination de leurs périodes, ne se fit qu'au début de 1611. Une observation d'éclipse (l'émersion de J2) fut faite par Galilée le 12 janvier 1610, mais il n'en comprit la signification qu'en 1612. Il fallut attendre 1643 pour une observation de l'ombre d'un des satellites sur Jupiter par Fontana et 1693 pour une observation de phénomènes mutuels par Arnoldt (occultation de J2 par J3).

L'usage veut depuis longtemps que l'on désigne les satellites par les chiffres romains I, II, III et IV en commençant par celui qui est le plus proche de la planète . On les note également J1, J2, J3 et J4. Leurs noms "Io, Europe, Ganymède et Callisto" apparaissent dans le "Mundus Jovialis" de S. Mayer ou Marius (1614). D'autres noms leur avaient été donnés par Hodierna : "Principharus, Victripharus, Cosmipharus et Ferdinandipharus". Galilée les appelait "Medicea Sidera" (c'est-à-dire Astres de Médicis) , Hévélius : "Circulatores Jovis" ou "Jovis Comites" et Ozanam : "Gardes" ou "Satellites"⁽¹⁾.

Les premières tables. -

L'étude du mouvement des satellites galiléens commença dès les premières observations. Galilée établit leur mouvement circulaire autour de Jupiter dès mars 1610. En 1612, une observation d'éclipse est faite en

(1): *satellite*, du latin *satelles*, *satellit* : escorte.

vue d'une détermination de longitude (d'après Peiresc) . Les premières tables du mouvement des satellites (il fallait pour cela connaître leurs périodes et fixer une origine des longitudes) furent faites par Galilée en 1612 et par S. Mayer en 1614 . Dans ses tables publiées en 1656, Hodierna reconnaît les latitudes des satellites et effectue des prédictions d'éclipses. En 1668, J. D. Cassini publie ses "tables du mouvement et de calcul des éclipses " . Etant fondées sur un nombre important d'éclipses, ces tables furent nettement meilleures que celles qui avaient été publiées auparavant. Elles furent encore améliorées en 1693 (c'est en 1675 que Rømer met en évidence la vitesse de propagation de la lumière grâce à des observations d' éclipses du satellite J1) . En 1719, Pound publie des tables comparables à celles de Cassini pour le calcul des éclipses mais abrégées. En 1749 sont publiées les tables (existant en fait depuis 1718) de Bradley faites à partir de ses propres observations . Bradley remarque l'inégalité de 437 jours de période dans le temps des éclipses des 3 premiers satellites. C'est l'époque où Maraldi signale l'action mutuelle des satellites et où l'on commence à soupçonner les excentricités et la nature des inégalités. En 1741, Wargentin publie des tables qu'il améliorera encore de 1746 à 1757 au moyen d'observations d'éclipses . Chaque satellite a alors une équation empirique et Lalande remarque, dans la Connaissance des Temps (1763) que "les inclinaisons et les nœuds des orbites éprouvent des variations qui sont encore peu connues " .

C'est alors que ces tables empiriques vont laisser la place à des tables déduites de véritables théories mathématiques du mouvement des satellites. Les premières théories sont dues à Bailly (en 1766), à Lagrange (en 1766 également) et surtout à Laplace (en 1788) qui fit une théorie très complète du mouvement des satellites galiléens. Delambre (en 1791) construisit alors des tables fondées sur la théorie de Laplace et sur 6000 observations d'éclipses. Damoiseau fit une démarche identique et publia ses tables en 1836. La théorie de Laplace fut améliorée par Souillart en 1880 et servit à construire les tables publiées dans la Connaissance des Temps. En 1891, d'autres tables furent publiées par Marth. Ce fut enfin la publication des tables de Sampson en 1910

fondées sur une théorie nouvelle du mouvement des satellites qu'il ne publiera qu'en 1921 et qui est la base des éphémérides publiées de nos jours dans la *Connaissance des Temps*.

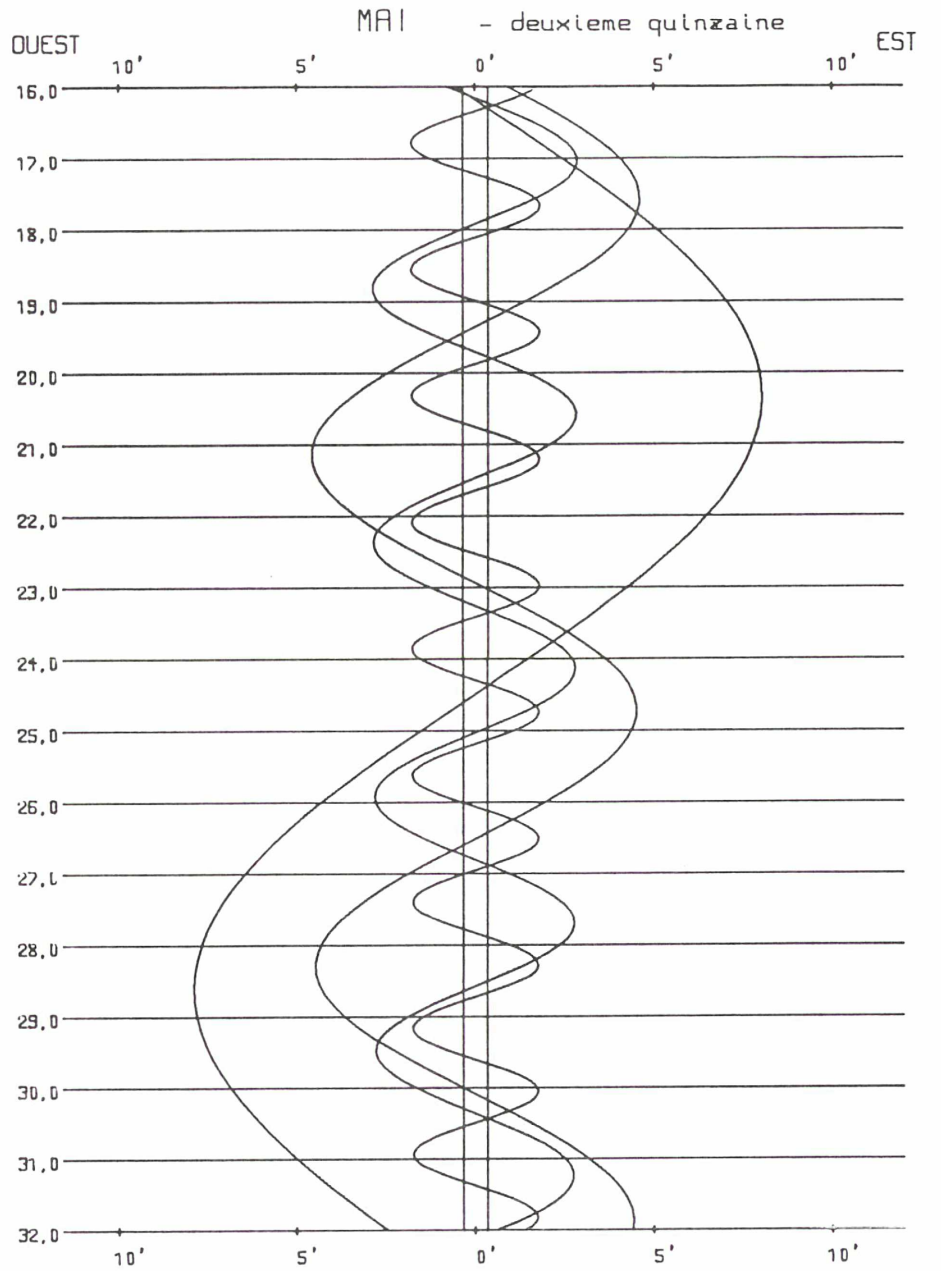
Pourquoi une telle densité de travaux, souvent de grande envergure, sur le problème des éphémérides des satellites galiléens ? Dès les premières observations du système de Jupiter, l'importance de la connaissance du mouvement des satellites n'échappa à personne; on était en présence d'une horloge beaucoup plus fiable que toutes celles existant alors . Les éclipses étaient très facilement observables . Citons Lalande qui écrivait en 1792 dans son "*Astronomie*" : "ils (les satellites galiléens) servent continuellement aux astronomes pour déterminer les différences de longitude entre les différens pays de la terre (...) ; il importoit donc beaucoup d'avoir "une théorie sûre et exacte de leurs mouvemens...". Cassini, en 1688 , publiait une méthode de détermination des longitudes des lieux par l'observation des satellites de Jupiter.

Tout cela montre l'intérêt des prédictions des éclipses et des tables . Mais l'usage des tables des satellites galiléens a toujours été malaisé : la rapidité des mouvements empêche la fabrication d'éphémérides facilement interpolables . On a donc publié jusqu'à ces dernières années des tables d'éléments des orbites servant à calculer des positions avec une précision souvent en deçà des possibilités de la théorie. Depuis 1980, la *Connaissance des Temps* publie des tables de coefficients de Tchébycheff permettant d'obtenir les positions avec une précision meilleure. Pour obtenir les configurations des satellites à un instant donné (afin de les identifier et surtout de savoir où se produira une éclipse , par exemple) , une faible précision suffit et pour éviter le calcul long et fastidieux imposé par les tables , on a eu l'idée d'utiliser un procédé analogique (usage d'un instrument appelé jovilabe) ou de représenter graphiquement ces configurations. On trouvera en hors-texte , tout d'abord un dessin du jovilabe de Cassini (fait de cercles mobiles de cartons et d'une alidade en corne transparente) puis la représentation graphique publiée actuellement dans un supplément à la *Connaissance des Temps* .

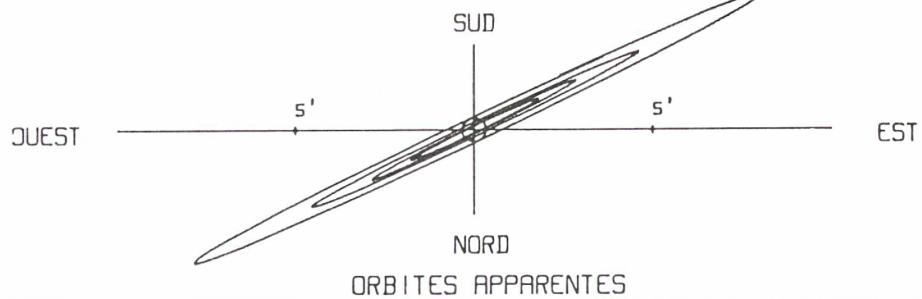
Le fonctionnement du jovilabe a été expliqué par Weidler (1727, en latin) et par Lalande (1792). L'idée d'une représentation graphique est de Peiresc . Cette représentation évoluera au cours du temps jusqu'à la présentation actuelle reproduite en hors-texte. Cette présentation nouvelle (due à l'auteur) permet d'obtenir la position des satellites avec une précision de 5 à 10 secondes de degrés . La manière d'utiliser cette représentation est donnée dans les suppléments à la Connaissance des Temps (cf. Connaissance des Temps, supplément pour l'année 1981).

Toutes les tables dont nous venons de parler, soit empiriques (avant 1766), soit construites à partir de théories (après 1766), sont fondées sur les observations d'éclipses . Cela n'a pas empêché , qu'en leur temps , ces tables soient de bonne qualité . Il est cependant très probable que le type d'observation utilisée introduit des erreurs systematiques inconnues dues à la nature même des phénomènes observés . L'introduction d'observations d'un autre type pour la construction des éphémérides peut aider à l'élimination de ces erreurs systematiques . Cependant, il faut être très prudent : les nouvelles observations introduites doivent être globalement équivalentes en qualité (sinon meilleures) et en quantité aux observations déjà existantes . Ainsi, ces nouvelles observations doivent permettre à elles seules la construction d'éphémérides de bonne qualité . C'est ce que nous essaierons de faire dans la deuxième partie de ce travail avec des observations photographiques tandis que , dans la première partie , nous étudierons ces observations ainsi que les nouveaux types d'observations possibles .

1981.-CONFIGURATIONS DES SATELLITES GALILEENS DE JUPITER.



Dans le sens OUEST-EST, les satellites passent au-delà de Jupiter



CHAPITRES 1 A 7

CHAPITRE 1

LES DIFFERENTS TYPES D'OBSERVATIONS DES SATELLITES GALILEENS

L'observation d'un corps céleste consiste à mesurer, à un instant donné, une quantité physique. On distingue deux catégories d'observations qui se caractérisent ainsi :

- l'observation d'un "phénomène" où l'on détermine l'instant pour lequel une quantité physique a une valeur remarquable (en général un maximum ou un minimum pour une quantité variable dans le temps);

- l'observation simple qui consiste en la mesure d'une quantité physique, par exemple une distance angulaire ou un flux de lumière à un instant choisi par l'observateur (par rapport à un étalon fiable).

On remarque que ces deux types d'observation nécessitent une horloge pour le rattachement à une origine des temps. Cependant, l'observation simple nécessite en plus un matériel relativement sophistiqué : il faut mesurer une quantité physique par rapport à un étalon fixe dans le temps. Une observation de position absolue est de ce type. L'observation d'un phénomène ne demande que d'apprécier l'instant "où il se passe quelque chose". On verra cependant qu'il existe certaines observations combinant ces deux catégories. Voyons maintenant les différents types d'observations possibles.

I - Les observations de phénomènes

a) Les phénomènes dits "classiques"

Les satellites galiléens présentent des phénomènes particuliers dus aux positions que prennent le Soleil, Jupiter et la Terre: les éclipses (lorsqu'un satellite passe dans l'ombre de Jupiter); les occultations (lorsqu'un satellite passe derrière Jupiter par rapport à la Terre); les passages (lorsqu'un satellite passe devant Jupiter par rapport à la Terre) et les passages d'ombre (lorsque l'ombre d'un satellite passe sur le disque de Jupiter) (voir Sampson 1921, chapitre XXI). Les phénomènes les plus célèbres sont les éclipses car ils sont les plus faciles à observer : il s'agit de l'extinction ou de l'apparition d'un satellite isolé. Les autres phénomènes nécessitent l'observation simultanée de Jupiter ce qui dégrade beaucoup le rapport signal sur bruit. Tous ces phénomènes ont été observés visuellement pendant des dizaines d'années et le grand nombre d'éclipses observées a constitué la base des premières éphémérides. Dès la fin du XIXe siècle, les techniques d'observation des éclipses se sont améliorées et les premières courbes photométriques ont permis d'améliorer la précision de la datation de ces phénomènes (voir Pickering 1907). Ensuite, les enregistreurs photoélectriques sont apparus mais, malgré le progrès qu'ils apportaient, ils ont été très peu utilisés : ils arrivaient à une époque où les éphémérides, construites sur des éclipses visuelles de très bonne qualité, donnaient satisfaction et où les autres types d'observation étaient alors plus précis. Seule une amélioration de la réduction des courbes d'éclipses (nécessitant une bonne connaissance de l'atmosphère de Jupiter) pourra relancer ce type d'observation.

b) Les phénomènes "mutuels"

Ces phénomènes sont dus aux positions relatives que prennent le Soleil, la Terre et 2 satellites. Les éclipses mutuelles ont lieu quand un satellite passe dans l'ombre d'un autre satellite et les occultations mutuelles quand un satellite passe devant ou derrière un autre satellite par rapport

à la Terre (voir Aksnes 1974). Ces phénomènes, contrairement aux phénomènes "classiques" qui ont lieu en permanence, ne peuvent se produire que lorsque la déclinaison jovicentrique de la Terre (pour les occultations) ou du Soleil (pour les éclipses) est proche de zéro. Cela se passe tous les six ans. L'absence d'atmosphère sur les satellites galiléens permet une observation précise, et, outre l'instant du phénomène, une durée et une amplitude peuvent être mesurées si l'on dispose du matériel adéquat.

II - Les observations de position

a) Les observations visuelles

L'intérêt des observations de position est de n'avoir point à attendre un éventuel phénomène, mais de choisir l'instant de l'observation. Ainsi, on n'est plus limité pour le nombre d'observations possibles, comme c'est le cas pour les phénomènes (surtout ceux du 4e satellite qui sont rares). Dès que l'instrumentation l'a permis, des mesures visuelles de distances entre 2 satellites et d'angles de position ont été effectuées (voir fig. 4, au début du chapitre 3). Pour cela, on utilisait des micromètres de différents types. On trouvera une présentation et une étude des erreurs de divers instruments de ce type dans Hammond 1911. On notera que le micromètre à double image a également été utilisé pour l'observation des phénomènes classiques (consulter P. Muller 1951 et 1952). L'observatoire où des mesures visuelles de distances et d'angles de position ont été faites avec succès est l'Observatoire du Cap (Afrique du Sud). Là, on utilisait un instrument appelé "héliomètre" dont on trouvera la description dans Gill 1896, et qui était bien adapté à ce type d'observations. L'héliomètre ou micromètre objectif fut introduit par Bouguer vers 1748 et fut appelé héliomètre du fait qu'il servit d'abord à mesurer exactement le diamètre du Soleil. Ce n'est que vers le milieu du XIXe siècle qu'il fut utilisé pour l'observation des satellites galiléens. Ce type d'observations a été supplanté au début du XXe siècle par les observations photographiques dès que ces dernières sont devenues précises, ce qui n'a pas été immédiat. Elles avaient, de plus, l'avantage de permettre de conserver les observations.

b) Les observations photographiques.

Les daguerréotypes, inventés en 1837, ne servirent jamais à l'observation des satellites galiléens du fait de leur sensibilité trop faible. Seuls la Lune et le Soleil furent observés de la sorte. Les plaques au collodion, puis celles au gélatino-bromure, permirent la photographie d'astres plus faibles. Cependant de nombreux problèmes limitèrent la photographie à ses débuts. Des observations de position exigeaient une précision importante. Il fallut donc améliorer le suivage des instruments du fait du temps de pose nécessaire à la photographie ; de plus les objectifs durent être achromatisés. Ensuite, il fallut construire des micromètres spéciaux pour la mesure des plaques. La photographie astronomique de position fut véritablement lancée lorsque les frères Henry proposèrent un réfracteur dit "équatorial photographique de la Carte du Ciel" de 33 cm d'ouverture et de 3,43 m de distance focale. Les mesures des plaques (sur une machine appelée "macromicromètre") avaient une précision qui dépassait celle des pointés effectués au micromètre sur un équatorial ordinaire. La réduction des clichés faisait appel aux constantes instrumentales déduites des positions des étoiles bien connues se trouvant sur le cliché lui-même.

L'observation photographique des satellites galiléens put donc débiter dans les années 1880-1890. Notons que seuls les instruments à courte focale furent envisagés à l'origine pour de telles observations, la longue focale exigeait une suivie beaucoup plus fiable et des temps de pose plus longs, de plus la réduction des plaques était beaucoup moins satisfaisante. Ce fut donc sur des astrographes type "Carte du Ciel" que les premières observations photographiques des satellites galiléens furent effectuées, notamment à Helsingfors et Pulkovo. Des instruments à focale plus longue (6-7 m) furent utilisés entre 1910 & 1930 aux observatoires du Cap, de Johannesburg, de Greenwich et de Leyde. Peu après, les observations de ce type furent quasiment abandonnées. L'astronomie de position - surtout pour les satellites galiléens - n'eut plus les faveurs des astronomes qui se tournaient vers l'observation astrophysique, alors en pleine expansion. De plus, les travaux de De Sitter et de Sampson - ce dernier publiant des tables très précises

des positions des satellites galiléens - semblaient signifier que les progrès dans ce domaine étaient désormais très difficiles à obtenir.

Les travaux théoriques étant pratiquement interrompus, les observations des satellites galiléens ne se firent plus que sporadiquement, toujours comme retombées d'autres campagnes d'observation (Jupiter, astéroïdes ...). Les instruments utilisés et les réductions effectuées n'étaient plus adaptés et la précision s'est dégradée par rapport aux premières observations de 1890-1930. Ce n'est qu'en 1967 qu'une tentative fut faite par Pascu au Leander Mc Cormick Observatory (Charlottesville, Virginia, USA) afin d'obtenir des clichés des satellites de Mars, de Jupiter et de Saturne dont la précision serait **meilleure** que celle des observations antérieures. Pour cela, il utilisa **un réfracteur à longue focale (10 m) et obtint** effectivement de très bons résultats, en particulier pour ses clichés des satellites galiléens. La méthode de réduction utilisée, du fait du faible champ, est celle dite "trail-scale method" qui rappelle les techniques visuelles (défilement d'une étoile et étude de l'échelle des clichés indépendamment des clichés eux-mêmes : voir Pascu 1977, pour plus de détails). Ces observations sont poursuivies maintenant régulièrement sur le réfracteur de 66 cm d'ouverture et de 10 m de focale de l'Observatoire Naval de Washington (il est identique à l'instrument du Leander Mc Cormick et est décrit dans Hammond 1911). Leur bonne qualité vient du fait que la précision des observations augmente avec la distance focale : la grandeur de la quantité physique mesurée (une distance en microns sur la plaque) augmente alors que la précision de mesure est la même. Le problème de la réduction a été résolu de façon satisfaisante malgré le faible champ par la "trail-scale method". Cela peut d'ailleurs surprendre du fait de la grande simplicité de la méthode.

Signalons pour terminer le problème des compensations en magnitude entre la planète Jupiter, les satellites galiléens et les étoiles du champ. La planète Jupiter peut être éliminée par un cache si l'on ne désire utiliser que des positions relatives entre les satellites. Un filtre neutre de densités différentes pour la planète et pour les satellites permet d'obtenir des images astrométriquement utilisables. La figure n°1 montre les images obtenues avec et sans filtre. D'autres techniques (obturateurs variables, par exemple)

permettent d'obtenir le même résultat avec cependant plus de difficultés (consulter Pascu, 1977).

III - Autres types d'observation

Il ne s'agit pas en fait d'observations autres que celles de phénomènes ou de positions mais plutôt de combinaisons de ces 2 types ou d'observations non optiques.

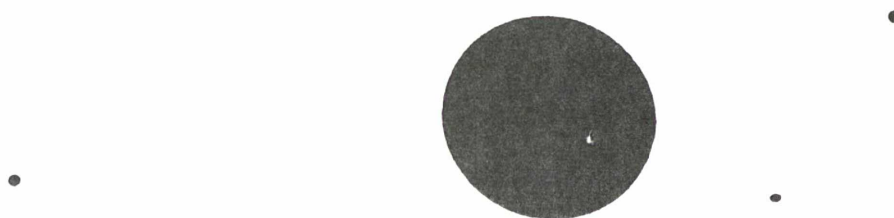
Les observations méridiennes enregistrent l'instant d'un phénomène : le passage d'un astre au méridien du lieu. Les satellites galiléens ont été observés de cette manière mais aucune exploitation importante des résultats n'a été effectuée.

Les observations radar ont été tentées mais sans but astrométrique bien que la mesure de la distance Terre-satellite galiléen à un instant donné puisse être intéressante.

Signalons pour terminer les observations des sondes spatiales très précises mais trop ponctuelles. Il est cependant encore trop tôt pour envisager leur utilisation.



Cliché effectué avec un instrument dit "de la carte du ciel" , $f=3,43$ m
(il n'y a pas de différence de filtrage entre la planète et les
satellites)



Cliché effectué avec un réfracteur à longue focale , $f=10$ m
(un filtre neutre plus dense pour la planète que pour les
satellites a été utilisé).

Figure n° 1

CHAPITRE 2

RECHERCHE ET ETUDE D 'OBSERVATIONS PHOTOGRAPHIQUES

La qualité et la précision de ce type d'observations n'ont été qu'entrevues dans certains travaux. Nous avons effectué une recherche systématique de ces observations, leur mise en fichier pour une utilisation globale en vue de construire de nouvelles éphémérides et une étude critique complète de ces observations . Nous allons étudier les différentes séries trouvées. Ces séries ne représentent pas toutes les observations photographiques faites à ce jour, mais la plus grande partie et la presque totalité des meilleures. De plus, on a un bon échantillonnage des différentes possibilités de l'observation photographique astrométrique. On donnera pour chaque série d'observations des erreurs moyennes en distance calculée au moyen de l'éphéméride E-1 (cf 2e partie, chapitre 5). L'erreur moyenne (ou écart-type) en distance intersatellite sera calculée au moyen de la formule (7') de l'annexe A. On donnera également une erreur théorique attendue pour chaque série dont la définition est également dans l'annexe A. Ces renseignements seront fournis pour chaque série dans les tables 1 à 5 en fin de chapitre. Les observations elles-mêmes et les (O-C) calculés avec l'éphéméride de Sampson SV2 et avec l'éphéméride améliorée G-5 (voir les définitions en 2e partie) seront données dans l'annexe B. Les(O-C) seront présentés graphiquement dans le chapitre 7 et des comparaisons observations-éphémérides en longitude y seront effectuées. Outre la qualité des différentes éphémérides, ces comparaisons permettront également d'apprécier la qualité des séries d'observations elles-mêmes. Des histogrammes des (O-C) des différentes séries constitueront l'annexe C .

I - Les observations les plus anciennes effectuées à
Helsingfors et Pulkovo de 1891 à 1910

Ces observations ont été faites, comme nous l'avons vu précédemment, à l'aide d'un astrographe du type "Carte du Ciel". Les données publiées donnent des points moyens pour chaque jour d'observation, correspondant à une moyenne entre 3 et 6 clichés. Les observations ont été faites d'abord par Donner, mesurées et réduites par Renz de 1891 à 1897 à Helsingfors et de 1895 à 1898 à Pulkovo. Elles ont été continuées par Kostinsky pour l'observation et Balanovsky pour la mesure et la réduction de 1904 à 1910 à Pulkovo. On trouvera les données brutes ainsi que les méthodes de réduction utilisées en consultant Renz 1898 et 1903 et Balanovsky 1916. Ces observations sont reprises dans l'annexe B. Les caractéristiques des séries sont données dans la table n° 1 en fin de chapitre. On remarquera que le nombre d'observations utilisées est inférieur au nombre des observations effectuées : en effet, si on a pu corriger certaines erreurs (échange de deux satellites ou erreurs d'impression flagrantes), certaines observations aberrantes ont dû être éliminées. Notons que l'erreur attendue sur chaque cliché n'est pas toujours proche de l'erreur obtenue réellement. Cela provient probablement des difficultés de réduction propres à chaque série (ces difficultés sont d'ailleurs mentionnées dans la publication des données de la série de 1891 par Renz).

Les positions observées des satellites galiléens sont données par rapport à la planète Jupiter. Une discussion a été faite par Renz au sujet de l'effet de phase dont la valeur réelle est supposée être différente de la valeur théorique (plus petite dans le cas présent). L'image surexposée de la planète et l'inaccessibilité des plaques pour une étude approfondie nous ont conduit à ne considérer par la suite que les positions relatives des satellites entre eux. (voir cet effet de phase sur la figure 20, chapitre 7).

Les observations sont réparties sur 13 oppositions de la planète. De 1899 à 1904, l'opposition de Jupiter avait lieu lors de l'été qui, à Helsingfors et à Poulkovo, est caractérisé par des "nuits blanches" qui ne facilitent pas les travaux des astronomes.

Ces séries d'observations, effectuées régulièrement avec un grand soin, sont du plus haut intérêt . Même si leur précision est limitée (mais acceptable) du fait du type d'instrument utilisé, leur nombre (282 points moyens , déduits d'environ 1500 clichés) justifie leur utilisation lors de l'ajustement de constantes.

II - Les observations dites "de De Sitter" (1913-1928) .

Les observations dont il a été question dans le paragraphe précédent n'ont pas été les seules de ce type à être effectuées à cette époque. A l'Observatoire du Cap (Afrique du Sud), des observations de ce type ont été faites vers 1902, en même temps que des observations à l'héliomètre. Une discussion et une comparaison des résultats obtenus par ces 2 types d'observations ont été faites (voir Cookson 1915). De Sitter fit également des comparaisons entre ces 2 types d'observation et il en conclut une légère supériorité pour les observations d'héliomètre (voir De Sitter 1931). Ce fut la raison pour laquelle il encouragea à faire des observations photographiques avec des instruments à distance focale plus grande que celle des astrographes du type "Carte du Ciel". De telles observations furent faites à l'Observatoire du Cap (focale de 6,9 m), à l'Observatoire de Greenwich (focale de 6,8 m), à l'Observatoire de Leyde (focale de 5,2 m) et à l'Observatoire Yale de Johannesburg (focale de 10,9 m) . De Sitter fit une étude de ces observations dans de Sitter 1916, 1924a, 1924b, 1924c, de Sitter et Pels, 1926a, 1926b et Alden et al. , 1929a, 1929b . C'est dans ces publications que nous avons trouvé les données qui, malheureusement, n'étaient pas des données brutes. Cela est très gênant pour la raison suivante : de Sitter a utilisé ces observations dans un but théorique bien précis et n'a publié comme données qu'une seule composante X ou Y (voir figure 4 au début du chapitre 3) dans le repère équatorial de Jupiter, sans donner la correction d'orientation nécessaire pour revenir au repère équatorial terrestre. De Sitter ne donne en général que la composante X dans ce repère sauf pour les séries de 1918-19 et de 1924 où les 2 composantes

sont données indépendamment. Cependant la difficulté due à ce repère peut être surmontée. La valeur de la correction d'orientation est connue avec une précision telle que l'erreur commise sur la position d'un satellite est inférieure à $0''{,}01$. Pour les observations dont on n'a que la composante X, il a fallu changer de repère pour calculer les éléments théoriques. Les caractéristiques de ces séries sont données dans la table n° 2 en fin de chapitre et les observations elles-mêmes dans l'annexe B. Ayant déjà été étudiées par de Sitter, ces séries d'observations sont expurgées des observations aberrantes. Les positions sont repérées au centre de gravité des positions des satellites observés, ce qui oblige à ne considérer que des positions relatives entre satellites. On verra sur la table 2 que l'écart-type de chacune de ces séries est souvent meilleur que pour les séries anciennes du paragraphe I de ce chapitre. Cela provient évidemment de l'augmentation de la distance focale des instruments utilisés qui introduit cependant une gêne pour la réduction : on n'atteint pas toujours la précision théorique attendue.

On a ainsi un deuxième ensemble important d'observations (207 points moyens en X seulement et 83 points moyens en X et Y ce qui fait respectivement 1242 et 258 clichés) utilisable malgré une publication incomplète des données.

III - Autres observations photographiques de la première moitié du XXe siècle

Les principales observations photographiques de cette époque sont décrites dans les paragraphes I et II du présent chapitre. Nous allons voir cependant quelques autres séries effectuées par des observateurs non directement intéressés par l'exploitation théorique de ces données.

a) Observations faites à l'Observatoire de Zô-Sé (Chine)
en 1917-18.

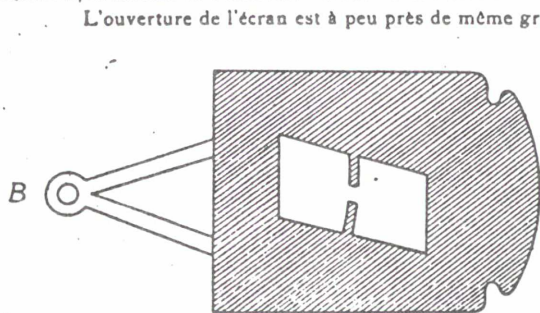
Jusqu'alors, les plaques photographiques des satellites galiléens présentaient des images de Jupiter surexposées, aucune compensation en magnitude entre Jupiter et ses satellites n'étant effectuée. La série de Zô-Sé, réalisée par Chevalier en 1917 et 1918, est la première où un effort fut fait afin d'obtenir une image correcte de la planète Jupiter. Pour cela, un écran mobile se déplaçait devant la plaque pendant l'exposition de façon que la planète Jupiter soit moins longtemps exposée que les satellites (figure n°2).

Cette technique associée à un instrument dont la focale est de 7m aurait dû donner de bons résultats, mais Chevalier signale avoir eu des difficultés lors de la mesure des clichés avec une machine à mesurer non adaptée. Cela l'a sans doute conduit à une réduction déficiente et explique le grand nombre d'observations que nous avons dû rejeter. Malgré cela, l'écart-type de la série n'est pas très satisfaisant (cf table n° 3 en fin de chapitre). Ces observations ont été publiées dans Chevalier 1920 et sont reprises dans l'annexe B (on en a conservé 21). Notons qu'une observation est, ici aussi, un point moyen correspondant à 1 à 7 clichés effectués sur une même plaque.

b) Observations faites par Petrescu à Bucarest en 1934
et à Paris en 1936.

Comme Chevalier, Petrescu voulut faire une compensation en magnitude entre Jupiter et ses satellites afin d'obtenir une bonne image de la planète et des satellites (la figure n°2 montre son dispositif). En 1934, il utilisa le réfracteur de 6m de focale de l'observatoire de Bucarest (Petrescu 1938) et en 1936, la lunette "Carte du Ciel" de l'observatoire de Paris (Petrescu 1939). Etant donné les distances focales utilisées, la série faite à Bucarest est meilleure que celle de

Lorsqu'on photographie Jupiter en donnant le temps de pose requis pour obtenir un disque complet, mais non surexposé, aucun des 4 satellites ne paraît sur le cliché. Si on augmente le temps de pose, de manière à obtenir les 4 satellites, le disque de la planète est fortement surexposé. Pour obtenir, sur un même cliché, la planète et ses satellites également bien imprimés, nous avons employé un écran, de la forme ci jointe, placé devant la plaque sensible, et mobile de l'extérieur autour du bouton B.

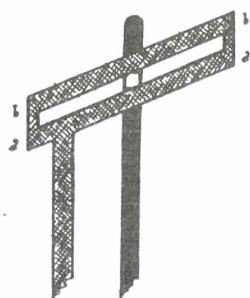


L'ouverture de l'écran est à peu près de même grandeur que la plaque (4,5 X 6 cm) et les bords, Nord et Sud, sont orientés, à peu près, suivant l'équateur de la planète, de manière à découvrir et recouvrir, à peu près en même temps, les 4 satellites. Une bande circulaire, dont le centre est en B, rétrécit 4 fois environ l'ouverture de l'écran. La largeur de cette bande est un peu plus grande que le diamètre de la planète. A l'aide du micromètre, on place Jupiter sur la plaque photographique, de manière qu'il se trouve précisément sous cette bande. L'écran étant à une quelconque des extrémités de sa course, toute la plaque est couverte. Si l'observateur, l'œil à l'oculaire pour choisir l'instant favorable, tourne le bouton, les

satellites se trouvent découverts pendant tout le trajet de l'ouverture de l'écran, tandis que Jupiter n'est découvert qu'à la coupure de la bande. La course totale de l'écran se fait en moins d'une seconde, sans être constante. L'observateur donnant le top vers le milieu de la course, on peut assurer la seconde de temps correspondant à la photographie.

Méthode utilisée par Chevalier (J. des O. 1920, p.108)

Pour obtenir, sur un même cliché, la planète et ses satellites, également bien imprimés, nous avons employé deux caches, dont le dessin ci-joint indique la forme. placées devant la plaque sensible.



La cache qui couvrait Jupiter, prévue d'une ouverture de 3 millimètres, ne permettait l'impression de la plaque que pendant le passage de l'ouverture devant la planète. La durée du passage était inscrite au chronographe.

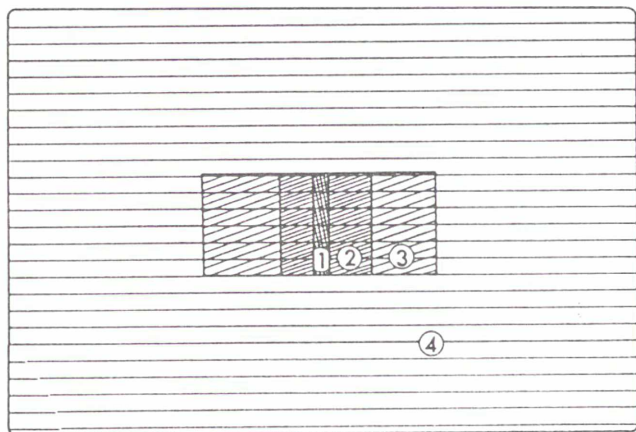
La cache des satellites, plus approchée de la plaque, était formée de deux barres de 3 millimètres, distantes aussi de 3 millimètres, ayant comme inclinaison celle de l'équateur jovien. La largeur des barres et de l'intervalle était suffisante pour couvrir et découvrir en même temps tous les satellites.

Par exemple, au début de l'opération les satellites et la planète se trouvaient couverts par la barre aa, Jupiter étant couvert au plus par sa cache.

On commence la photographie par l'exposition des satellites, en donnant un mouvement à leur cache de sorte qu'ils restent découverts dans l'intervalle de celle-ci. Au milieu de leur pose, une commande donnée à la cache de Jupiter la met en mouvement et permet l'impression de la plaque pendant que l'ouverture passe devant la planète. Puis, par un deuxième mouvement donné à leur cache, les satellites sont recouverts par la barre bb.

C'est ainsi que nous avons obtenu des images faciles à mesurer.

Méthode utilisée par Pétrescu (J. des O. 1935, p.179)



Filtres

Ces filtres sont constitués de 2 plaques de verre : l'une est le support des filtres n°1, n°2 et n°3. Le n°1 est le plus dense pour filtrer Jupiter ; les n°2 et 3 servent pour les satellites ; disposés asymétriquement autour du filtre n°1 et de densités différentes, ils permettent de choisir des filtrages différents selon les satellites, par un choix judicieux de leur position. Le filtre uniforme n°4, pour toute la plaque, permet la sélection des longueurs d'ondes de la lumière visible.

Méthode utilisée par Pascu

Diverses méthodes employées pour effectuer une compensation en magnitude entre Jupiter et ses satellites

Paris (on a les écarts-type dans la table n° 3). Ces observations (54 clichés à Bucarest et 25 clichés à Paris) sont incluses dans l'annexe B.

IV - Les observations faites avec une courte focale dans la seconde moitié du XXe siècle.

Après 1936, l'observation photographique des satellites galiléens est restée longtemps dans l'oubli. Lorsque ces observations ont repris, il semble que les observateurs aient oublié les leçons du passé. Il faut cependant remarquer que ces observateurs n'étaient pas particulièrement motivés pour observer les satellites galiléens. Aucun travail théorique de grande envergure n'attendait ces observations. Celles-ci ne furent d'ailleurs que les retombées de programmes d'observation tournés vers d'autres objets, ce qui explique sans doute le mauvais choix des instruments utilisés. Nous avons cependant étudié quelques-unes de ces séries d'observations, tout d'abord pour en apprécier la précision, et aussi pour pouvoir combler de grandes périodes durant lesquelles le manque d'observations se faisait ressentir.

a) Les observations de Van Biesbroek à Yerkes (Williams bay, USA)

Réparties sur 1961, 1962 et 1963, ces observations ont été effectuées avec un télescope réflecteur : c'est probablement la raison pour laquelle on obtient un écart-type très mauvais pour ces 3 oppositions de Jupiter (cf table n°4 en fin de chapitre) On se reportera à Van Biesbroek 1963 pour les données brutes et à l'annexe B pour les observations utilisées dans la suite.

b) Les observations de Gorel à Nicolaiev (URSS)

Ici encore, c'est un astrographe à courte focale qui a été utilisé

mais la précision est cependant acceptable : elle est même meilleure que ce à quoi on s'attendait (table n° 4) pour autant que chaque cliché ne soit pas un point moyen, ce qui n'est pas précisé dans la publication. Les données brutes proviennent de Gorel (1974) et les observations utilisées (76 clichés répartis sur 6 oppositions de Jupiter entre 1962 et 1974) sont dans l'annexe B.

c) Les observations de Soulié à Bordeaux (France)

Ces observations, effectuées sur un astrographe "Carte du Ciel " (voir Soulié, 1968, 1972, 1978) ont été faites en même temps que des observations de Jupiter. Les étoiles du fond du champ ont été utilisées pour la réduction. Les précisions obtenues (voir table n° 4) sont très variables, sans doute à cause du champ devant lequel Jupiter se déplaçait. La courte focale affecte également la précision. Les observations utilisées (165 clichés répartis sur 8 oppositions de 1966 à 1974) sont données dans l'annexe B.

d) Les observations effectuées par Debehogne sur divers instruments.

Ces observations ont également été effectuées dans le même temps que des observations de Jupiter et sur des instruments pas toujours adaptés (voir Debehogne et al. , 1979a, 1979b, 1980a, 1980b, 1980c). La précision n'est en général pas satisfaisante (voir table n° 4) sauf pour les observations de La Silla (faites avec l'instrument ayant la plus longue focale de tous ceux utilisés). La colonne de la table n° 4 indiquant la valeur de l'erreur attendue montre la grande dispersion des précisions obtenues. Ces observations, faites en 1977-78, sont ainsi réparties : 15 clichés (14 conservés) ont été faits avec la caméra astrographique de 25 cm de l'Observatoire de Rio de Janeiro (distance focale de l'ordre de 1m) en septembre 1977 ; 41 clichés (40 conservés) ont été faits avec l'astrographe double de 40 cm de l'Observatoire de Uccle (distance focale de l'ordre de 2 m) en octobre,

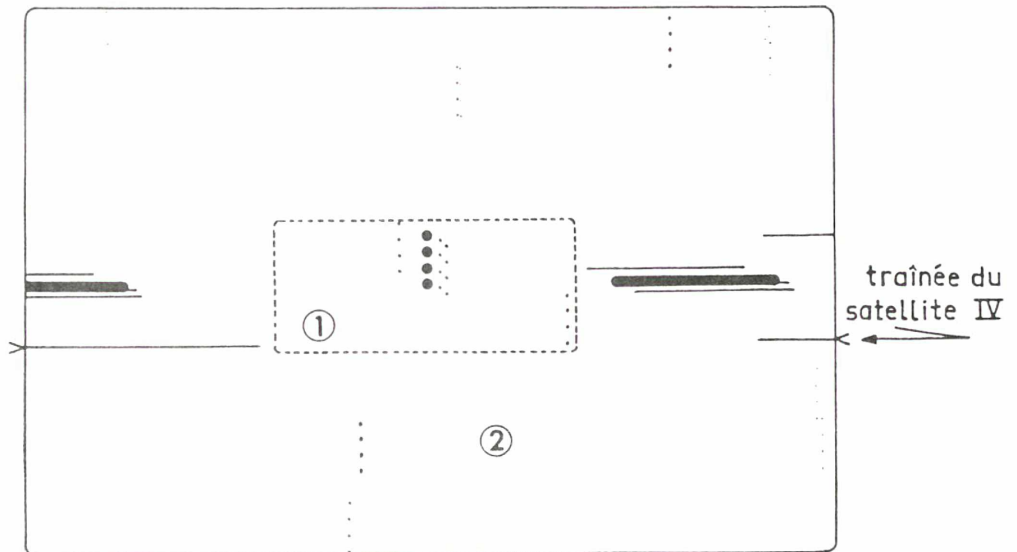
décembre 1977, janvier et février 1978 ; 28 clichés (24 conservés) ont été faits avec le grand **prisme** objectif de l'ESO à La Silla (ouverture 40 cm , distance focale 4 m) en avril 1978. Ces instruments ne sont manifestement pas adaptés à l'observation des satellites galiléens du fait de leur courte focale et le grand **prisme** objectif construit pour la spectroscopie, n'est pas destiné à priori à l'astronomie de position (curieusement, c'est lui qui donne les meilleurs résultats).

Comme nous venons de le voir, les observations effectuées avec des instruments à courte focale ne seront pas très utiles pour l'amélioration des constantes de la théorie (leur utilisation sera subordonnée à une pondération diminuant leur influence). Il nous a semblé cependant utile de les étudier : l'erreur standard , selon qu'elle se place **en-dessous** ou au-dessus de l'erreur attendue, donne aux observateurs une indication sur la qualité de leur technique et de leur réduction. Notons cependant que, pour des séries contenant un faible nombre de clichés, l'erreur standard n'est pas toujours très significative.

V - Les observations modernes effectuées avec un réfracteur à longue focale.

Un regain d'intérêt pour l'amélioration des éphémérides des satellites galiléens apparut dans les années 1970, en liaison avec les projets de lancement de sondes spatiales vers Jupiter. Vers la même époque , D. Pascu, à l'Observatoire Leander-Mc Cormick de Charlottesville (Virginia, USA), **construisit** une chambre photographique pour observer les satellites des planètes avec un instrument à longue focale (un réfracteur de 10 m de focale et de 66 cm d'ouverture). Le but était d'obtenir une image correcte de la planète, des satellites et des étoiles du champ (les magnitudes de ces corps allant de -1 à 12). La compensation en magnitude fut faite par l'emploi de filtres neutres. Cette technique fut appliquée avec succès aux satellites galiléens (voir les figures n°1, 2&3). Les étoiles du champ n'y sont pas cataloguées

mais servent à se ramener à l'orientation donnée par la traînée d'une étoile ou d'un satellite effectuée après la dernière exposition. L'échelle est déterminée par des expositions de groupes d'étoiles connus et est supposée stable. C'est la technique dite "trail-scale" dont nous avons déjà dit quelques mots et qui est décrite en détails dans Pascu 1977.



Plaque photographique

La zone ① est la partie la moins exposée du fait des filtres denses. On y voit les 4 expositions de Jupiter et, de gauche à droite, les satellites III, II, I et IV. La zone ②, plus exposée, montre les 4 expositions d'étoiles de faible brillance, ainsi que les traînées dues au défilement des satellites et de la planète.

Figure n° 3

Les premières observations ont déjà été étudiées (Arlot 1972) et cela a montré leur intérêt. Une autre série a été faite par Pascu en 1973 à l'Observatoire Naval de Washington (USA) (voir Pascu 1974) où se trouve un instrument identique à celui de Charlottesville (voir la description dans Hammond 1911). La technique d'observation était la même. Depuis 1973, une série est faite à chaque opposition de Jupiter. Nous avons utilisé chaque série jusqu'en 1978 (Pascu 1978 et voir table 5 en fin de chapitre et annexe B).

Notons que tous les clichés de 1967-68 n'ont pu être utilisés car sur certains, manquait la traînée donnant l'orientation. Nous verrons dans le chapitre suivant au paragraphe II, comment on peut espérer réduire ces

plaques.

En 1977-78, une tentative a été effectuée à l'Observatoire de Leander-Mc Cormick de Charlottesville, de faire une série d'observations en utilisant la technique de Pascu (Ianna & Seitzer 1979). On verra dans la table n°5 que l'écart-type est moins bon. Cela vient probablement du fait que ce n'est pas la même méthode de réduction qui a été utilisée. Ces observations sont données dans l'annexe B.

Cette technique photographique permet d'obtenir une image de Jupiter astrométriquement utilisable. Ce supplément d'information a pu être exploité : il a fallu cependant bien étudier l'effet de phase. Cela a été rendu possible par le fait que les plaques étaient disponibles. On verra dans le chapitre suivant les différentes méthodes permettant l'élimination de l'effet de phase.

Les observations modernes à long foyer sont la base de toute amélioration des éphémérides : elles sont les plus précises (l'erreur moyenne des séries de Pascu est toujours inférieure ou égale à l'erreur théorique attendue) et nombreuses (577 clichés répartis sur 6 oppositions entre 1967 et 1978). Nous ne manquerons pas de les utiliser en veillant à ce que la pondération leur donne une influence importante.

année de l'opposition	lieu	observateurs	époque de la série	n° code série	durée de la série en jours	nombre de points moyens conservés	nombre de points moyens éliminés	nombre de clichés correspondants aux points moyens conservés	erreur moyenne en (")		
									en distance d'un point moyen	intersatellite d'un cliché	théorique attendue pour un cliché
1891	Helsingfors	Renz/Donner	1891,825	42	90	14	4	64	0,30	0,64	0,27
1892-93	"	"	1892,814	39	202	29	0	144	0,12	0,27	"
1893-94	"	"	1893,974	"	175	21	0	105	0,17	0,38	"
1894-95	"	"	1895,079	41	106	13	0	65	0,12	0,27	"
1895-96	"	"	1896,107	"	132	21	0	105	0,13	0,29	"
1897	"	"	1897,313	"	59	16	0	80	0,13	0,29	"
1895-96	Pulkovo	"	1896,171	40	114	51	2	204	0,12	0,24	"
1897	"	"	1897,237	"	77	18	16	108	0,17	0,42	"
1898	"	"	1898,301	"	64	15	0	90	0,10	0,24	"
1904-05	"	Kostinsky/Balanovsky	1904,932	44	110	15	0	90	0,19	0,47	"
1905-06	"	"	1906,003	"	136	19	0	114	0,14	0,34	"
1906-07	"	"	1907,158	"	31	6	0	36	0,15	0,37	"
1907-08	"	"	1908,220	"	124	27	0	161	0,14	0,34	"
1909	"	"	1909,279	"	39	5	0	30	0,08	0,20	"
1910	"	"	1910,281	"	25	12	0	70	0,14	0,34	"

Observations anciennes, effectuées à Pulkovo et Helsingfors avec un réfracteur "Carte du Ciel" (f = 3m43)

Table n° 1

année de l'opposition	lieu	distance focale de l'instrument	époque de la série	n° code série	durée de la série en jours	nombre de points moyens conservés	nombre de clichés correspondants aux points moyens conservés	composantes disponibles	erreur moyenne en (") en distance intersatellite		
									d'un point moyen	d'un cliché	théorique attendue pour un cliché
1913	Le Cap	6,9m	1913,527	28	156	31	186	X seulement	0,13	0,31	0,16
1914	Le Cap	6,9m	1914,574	31	151	40	240	"	0,06	0,14	0,16
1915	Le Cap	6,9m	1915,719	"	147	36	216	"	0,07	0,17	0,16
1916-17	Greenwich	6,9m	1916,755	26	172	44	264	"	0,14	0,35	0,16
1918-19	Greenwich	6,9m	1919,016	46	152	42	252	X et Y	0,15	0,37	0,16
1922	Leyde	5,2m	1922,324	37	74	18	108	X seulement	0,08	0,21	0,20
1924	Le Cap	6,9m	1924,566	45	18	41	246	X et Y	0,11	0,27	0,16
1927	Johannesburg	10,9m	1927,530	29	21	18	129	X seulement	0,09	0,25	0,12
1928	Johannesburg	10,9m	1928,694	30	49	20	120	"	0,13	0,31	0,12

Séries d'observations dites " de De Sitter" (les observations aberrantes ont déjà été éliminées)

Table n° 2

année de l'opposition	lieu	distance focale de l'instrument	observateurs	époque de la série	n° code série	durée de la série en jours	nombre de points moyens conservés	nombre de points moyens éliminés	nombre de clichés correspondants aux points moyens conservés	erreur moyenne en (") en distance intersatellite		
										d'un point moyen	d'un cliché	théorique attendue pour un cliché
1917-18	Zô-Sé (Chine)	7,1m	Chevalier	1918,025	43	156	21	43	110	0,35	0,80	0,16
1934	Bucarest	6,1m	Petrescu	1934,339	12/1	52	54	0	54	-	0,22	0,19
1936	Paris	3,4m	Petrescu	1936,514	12/2	52	25	0	25	-	0,46	0,27

Observations effectuées par Chevalier et Petrescu

Table n° 3

année de l'opposition	lieu	distance focale de l'instrument	observateurs	époque de la série	n° code série	durée de la série en jours	nombre de points moyens conservés	nombre de points moyens éliminés	nombre de clichés correspondants aux points moyens conservés	erreur moyenne en (")		
										en distance d'un point moyen	intersatellite d'un cliché	théorique attendue pour un cliché
1961	Yerkes	2,3m	Van Biesbroek	1961,775	12/3	38	11	3	33	0,56	0,97	0,35
1962	"	"	"	1962,632	"	195	22	6	66	0,51	0,88	"
1963	"	"	"	1963,471	"	14	5	2	15	0,76	1,32	"
1962	Nicolaiev	2,5m	Gorel	1962,716	24	56	4	0	4	-	0,32	0,34
1963	"	"	"	1963,766	"	39	12	0	12	-	0,25	"
1964-65	"	"	"	1964,793	"	110	5	2	5	-	-	"
1965-66	"	"	"	1965,741	"	83	10	0	10	-	0,17	"
1973	"	"	"	1973,708	25	107	19	0	19	-	0,20	"
1974	"	"	"	1974,700	"	135	26	1	26	-	0,29	"
1966-67	Bordeaux	3,4m	Soulié	1967,192	12/4	101	36	3	36	-	0,36	0,29
1967-68	"	"	"	1968,144	"	100	22	0	22	-	0,43	"
1969	"	"	"	1969,258	"	74	15	0	15	-	0,53	"
1970	"	"	"	1970,388	15	57	27	0	27	-	0,49	"
1971	"	"	"	1971,521	"	29	12	0	12	-	0,36	"
1972	"	"	"	1972,588	16	103	26	4	26	-	0,49	"
1973	"	"	"	1973,680	"	84	20	3	20	-	0,66	"
1974	"	"	"	1974,678	"	71	7	0	7	-	-	"
1977-78	Rio de Janeiro	1,0m	Debehogne	1977,700	20	5	14	1	14	-	0,40	0,61
"	Uccle	2,0m	"	1977,872	19	62	21	0	21	-	0,52	0,38
"	"	"	"	1978,003	18	52	19	1	19	-	0,66	"
"	La Silla (Chili)	4,0m	"	1978,262	17	8	16	4	16	-	0,17	0,24
"	"	"	"	1978,280	38	2	8	0	8	-	0,17	"

Observations de la seconde moitié du XXème siècle

année de l'opposition	lieu	observateurs	époque de la série	n° code série	durée de la série en jours	nombre de clichés considérés	erreur moyenne d'un cliché en distance			
							à Jupiter		intersatellite	
							sans correction de phase	avec correction de phase	théorique attendue	
1967-68	Charlottesville	Pascu	1968,197	3	186	95	0,30	0,16	0,11	0,13
1973	Washington	"	1973,684	4	94	72	0,24	0,16	0,13	"
1974	"	"	1974,761	13	138	123	0,22	0,13	0,10	"
1975	"	"	1975,837	14	88	84	0,22	0,14	0,12	"
1976-77	"	"	1976,891	21	163	35	0,36	0,14	0,12	"
1977-78	"	"	1978,005	22	139	59	0,25	0,11	0,11	"
1977-78	Charlottesville	Ianna/Seitzer	1978,005	23	88	109	-	-	0,16	"

Observations modernes effectuées avec un réfracteur à long-foyer (9,9m)

Table n° 5

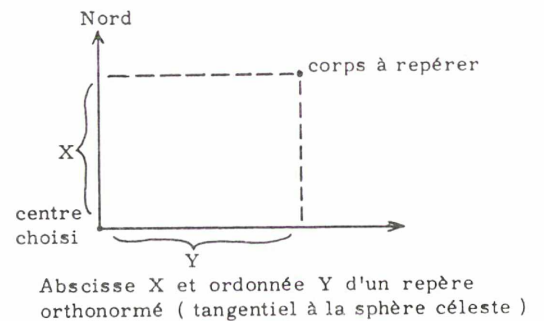
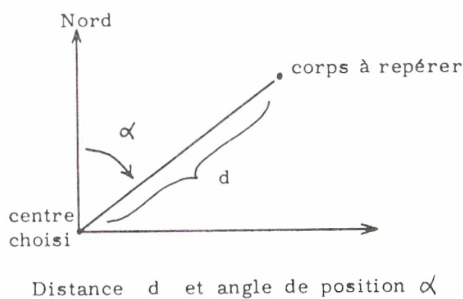
CHAPITRE 3

AMELIORATION DE LA REDUCTION DES OBSERVATIONS PHOTOGRAPHIQUES

Ayant vu les qualités et les défauts de diverses séries d'observations photographiques, nous allons voir maintenant comment procéder pour améliorer les données que l'on déduit de ce type d'observation. Nous proposons ici diverses méthodes originales.

I - Utilisation de la position de la planète Jupiter.

Les données d'observation tirées d'une plaque photographique sont, pour chaque satellite, 2 coordonnées mesurées dans un certain repère, par rapport à une origine arbitraire ou non. Ces 2 coordonnées sont : soit une distance et un angle de position, soit une abscisse X et une ordonnée Y dans un repère orthonormé tangentiel à la sphère céleste (voir figure 4). Dans le dernier cas, si l'axe dirigé vers le Nord est dirigé vers le pôle terrestre, on a $X = \Delta\alpha \cos \delta$ et $Y = \Delta\delta$ ($\Delta\alpha$ est la différence des ascensions droites entre le corps repéré et le centre choisi et $\Delta\delta$ la différence des déclinaisons ; δ est la déclinaison du centre choisi).



Repérage d'un astre sur une plaque photographique

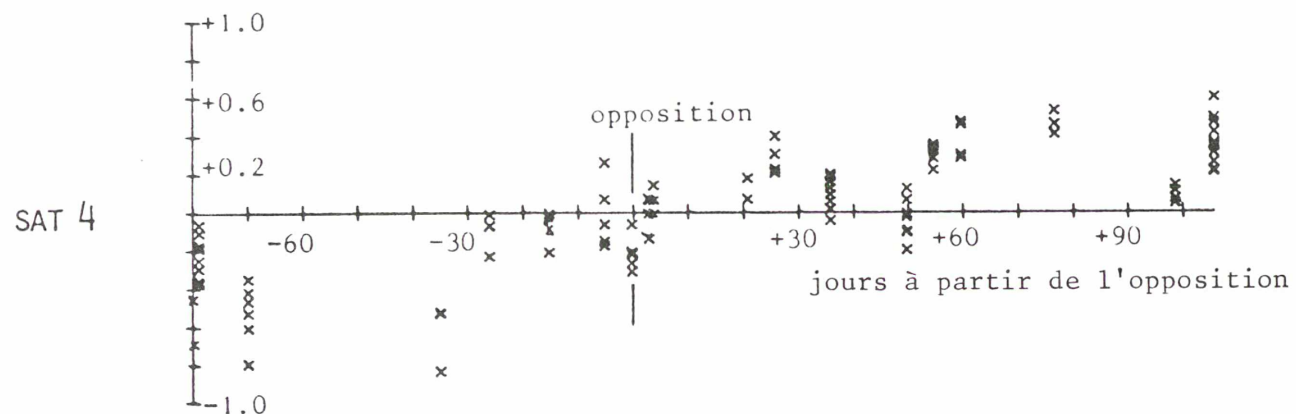
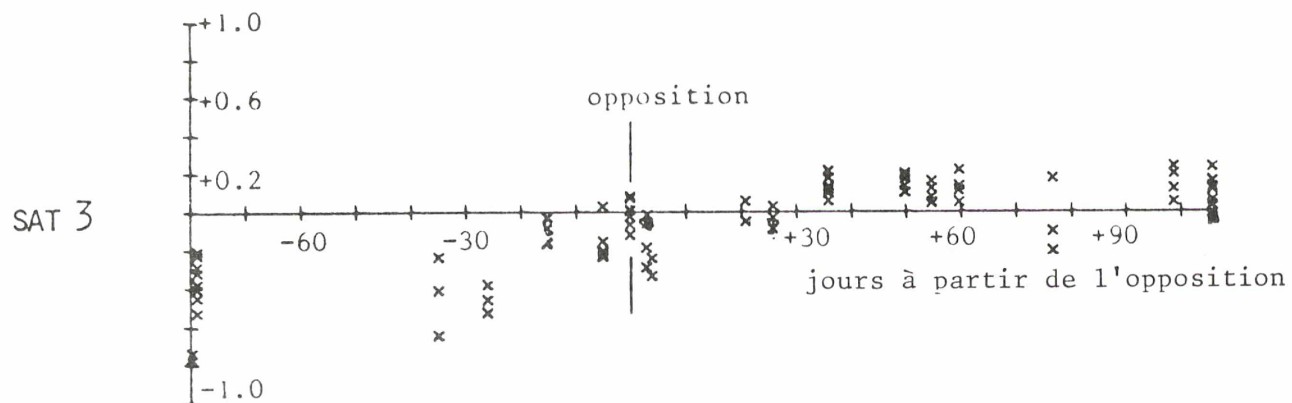
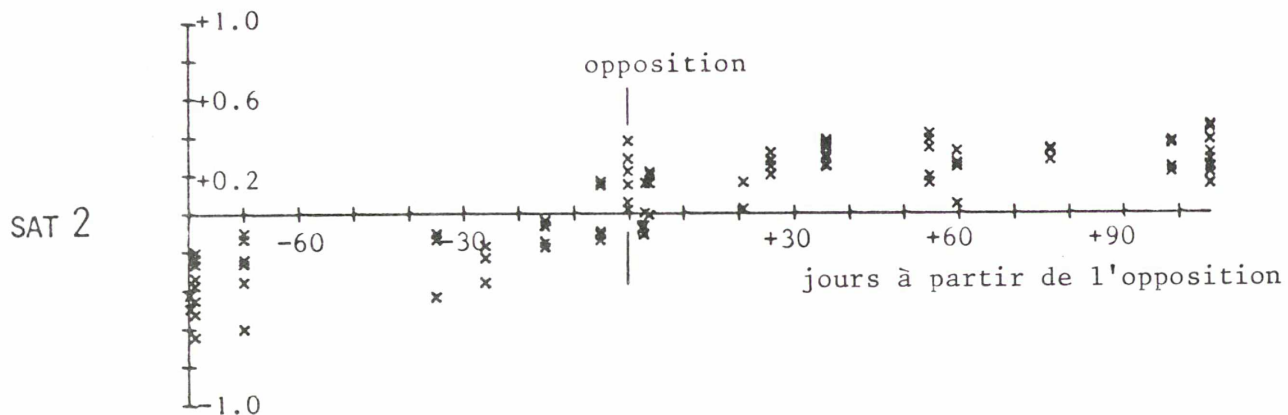
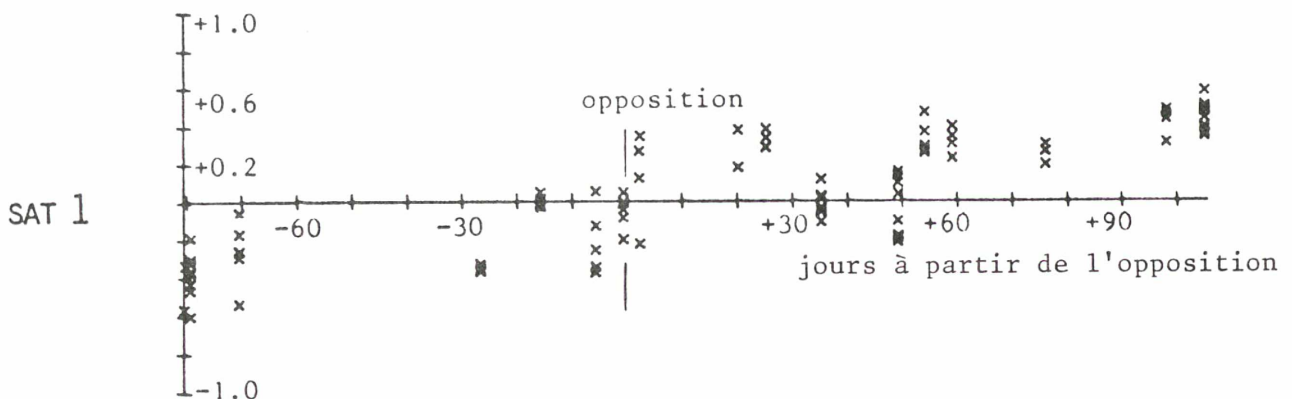
Notons que le Nord peut également être le pôle jovien pour faciliter la mesure : un changement de repère ramènera aisément au repère équatorial terrestre. Le centre de référence choisi peut être arbitraire. Il peut également être l'un des satellites à repérer. Cependant si on choisit pour centre de référence le centre de la planète Jupiter, on augmentera l'information tirée de la plaque.

Jusqu'à maintenant, l'erreur importante commise lors de la mesure de la position de la planète a empêché l'utilisation de cette position. Afin de pallier cet inconvénient, deux méthodes ont été mises au point.

a) La méthode empirique

Cette méthode a déjà été exposée (Arlot 1975). Rappelons-en le principe.

Lorsque l'on dispose d'une série d'observations photographiques bien réparties durant une opposition de Jupiter, il est intéressant de se rendre compte de l'évolution des (O-C) durant cette période. La figure 5 montre des (O-C) (composante selon les ascensions droites). Notons que ces (O-C) ont déjà été corrigés de l'effet de phase théorique de Jupiter. On constate cependant une erreur systématique (la même, quel que soit le satellite considéré) provenant du fait que la phase photographique - pour la série considérée - est beaucoup plus importante que la phase théorique (3 à 4 fois plus grande). Ceci est valable seulement pour les séries effectuées sur un réfracteur à longue focale avec la technique de Pasqu. Il est alors aisé de modéliser cet effet de phase. Tout d'abord, il faut veiller à ne pas absorber d'erreurs de la théorie dans la phase : les erreurs théoriques dont l'amplitude peut rivaliser avec l'erreur due à la phase sont les erreurs en longitude (qui ne sont cependant que très peu corrélées avec la phase). Lors d'une solution visant à extraire les erreurs en longitude, on introduit en même temps des inconnues qui donneront l'amplitude de l'erreur de phase modélisée. On obtient de très bons résultats qui permettent l'utilisation de la position de la planète. La figure n°20 du chapitre 7 montre cet effet pour un autre type d'observations photographiques, mais nous n'avons pas cherché à le corriger dans ce cas-là.



(O-C) en secondes d'arc (composante X)

Figure n° 5

b) La méthode microdensitométrique

La méthode précédente exige une longue série d'observations afin de moyenniser les erreurs de mesure (la mesure se fait visuellement). Si l'on ne dispose que de quelques observations mal réparties, la méthode précédente ne s'applique pas. Nous allons donc étudier les plaques individuellement et essayer de mettre en évidence l'effet de phase. La mise au point récente de machines à mesurer automatiques liées à un ordinateur va nous y aider.

1) Le microphotomètre utilisé.

Le microphotomètre utilisé est celui du CDCA : c'est un PDS 1010 A de Boller et Chivens via Perkin-Elmer conçu pour être piloté par un PDP 11/40 de Digital dont la programmation a été effectuée par l'équipe du CDCA (Auvergne et al. 1975, Bijaoui et al. 1978). Le microphotomètre analyse les clichés photographiques en déterminant pour chaque point choisi sa densité photométrique et sa position sur la plaque (2 coordonnées X et Y dans un repère initialisé au début du travail). Le PDP 11/40 pilote le microphotomètre et peut calculer des positions directement lors du travail du microphotomètre ou stocker les mesures sans les traiter, ce traitement se faisant ultérieurement. C'est cette dernière méthode qui a été appliquée ici, d'une part afin de pouvoir tester les diverses possibilités de traitement, et d'autre part du fait du temps machine trop important nécessaire aux programmes de traitement très élaborés.

2) Les premiers essais de mesures

Afin de tester les différentes possibilités de traitement, nous avons sélectionné une plaque photographique de "bonne qualité", c'est-à-dire n'ayant pas posé de problèmes particuliers lors de la mesure manuelle. Puis, une fois les programmes de traitement au point, nous sommes passés à l'étude des plaques plus délicates. Sans entrer dans les détails de la technique photographique astrométrique à long foyer, décrivons succinctement ce

type de plaques (voir également la figure n°3 dans le chapitre précédent) faites aux U.S.A. (Pascu 1974).

Quatre types d'objets y sont à mesurer : - les satellites galiléens, objets non ponctuels d'un diamètre, sur la plaque, de l'ordre de 200 μm et se présentant sous forme circulaire assez régulière, - les étoiles du champ sources ponctuelles, en général faibles du fait du champ restreint (environ 40 minutes d'arc), - la planète Jupiter d'un diamètre de l'ordre de 2 000 à 2500 μm ayant ses bords bien définis grâce à une légère surexposition, à l'exception du côté affecté par la phase, - une traînée laissée par une étoile ou un satellite pour la détermination de l'équateur de la date. Voyons maintenant les problèmes posés par chaque catégorie d'objets.

Les satellites. — Comment déterminer la position du centre de gravité d'un satellite à partir de son image photographique ou photométrique ? La méthode manuelle consiste à superposer un réticule en croix au satellite et à le centrer. Cela revient donc : - soit à rechercher un centre de symétrie à l'image du satellite (étant donnée la petite taille des satellites, on peut effectivement considérer qu'ils sont symétriques et pratiquement non affectés par l'effet de phase ; - soit à rechercher le centre de lumière ou barycentre photométrique. Cette dernière méthode est souvent la plus facile, surtout lorsque l'image du satellite n'est pas très régulière du fait de l'agitation de l'atmosphère ou bien d'un léger défaut de suivie de l'instrument. Cependant, l'existence de zones sombres et claires sur les satellites galiléens peut aussi éloigner le photocentre du centre de gravité. A partir de l'enregistrement photométrique, on peut reproduire - sans effet personnel cependant - les méthodes manuelles. Le programme de symétrisation que nous avons essayé (programme XYSY) n'a pas toujours donné des résultats satisfaisants : dans certains cas, le centre calculé restait aléatoire, probablement du fait des zones sombres ou claires du satellite. Pour rechercher le photocentre, nous avons utilisé un programme de calcul du barycentre d'un domaine intérieur à une isophote. Ce programme offre deux possibilités : considérer chaque point affecté de sa densité (programme DOMP) - on calcule ainsi le photocentre -, ou chaque point intérieur à l'isophote choisie affecté

d'une valeur fictive identique pour tous les points (programme DOMG) - dans ce cas on calcule un barycentre géométrique insensible aux taches ou au déplacement du centre de lumière -. Si cette dernière technique semble la mieux adaptée au problème, signalons cependant la faible différence existant entre photocentre et barycentre géométrique de l'image d'un satellite. La table n° 6 donne les mesures comparées de ces centres. La présence de

Comp.		programmes utilisés					
		XYSY	XYSY filtré	DOMP	DOMG brut	DOMG filtré	
satellites	I	X	40503	40504	40507	40507	40506
		Y	150714	150713	150709	150711	150707
	II	X	-- (1)	-- (1)	32486	32486	32486
		Y	-- (1)	-- (1)	154021	154020	154021
	III	X	31262	31263	31265	31266	31267
		Y	155236	155236	155236	155237	155238
	IV	X	7875	7876	7875	7875	7874
		Y	165180	165181	165187	165186	165189

(1): le programme XYSY ne fonctionne pas dans ce cas

Plaque n°26, USNO 1974 - Exposition n°1

Coordonnées mesurées en μm

Table n° 6

la planète peut engendrer un gradient de densité du fond du ciel qui remet - trait en cause le bien fondé de l'utilisation des isophotes pour déterminer le centre de gravité du satellite lorsque la planète est proche. Cependant, du fait de l'utilisation de filtres neutres bien adaptés et de l'éloignement relatif des satellites par rapport à la planète, cet inconvénient n'existe pas pour les plaques considérées ici.

Pour les satellites on ne rencontre donc pas de problème majeur. La table n°7 permet d'apprécier la valeur des mesures automatiques, en donnant les distances inter-satellites obtenues par les mesures manuelles et automatiques, ainsi que les distances calculées.

Distances inter-satellites : (O-C) en μm

Plaque n° 26 (1974 , USNO)

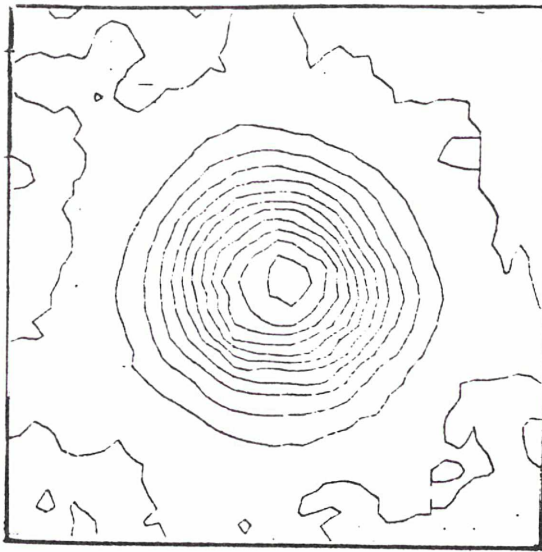
exposition :		n°1	n°2	n°3	n°4	écart-type	
couples de satellites	I - II	(1)	5	-1	-6	-3	4,0
		(2)	3	0	-7	-2	3,6
		(3)	0	-2	-8	-1	3,1
	I - III	(1)	12	5	5	5	3,0
		(2)	12	7	3	5	3,3
		(3)	8	5	3	9	2,4
	I - IV	(1)	-9	-20	-15	-15	3,9
		(2)	-11	-16	-17	-14	2,3
		(3)	-11	-17	-18	-11	3,3
	II - III	(1)	10	8	12	11	1,5
		(2)	12	10	13	10	1,3
		(3)	11	9	16	13	2,6
	II - IV	(1)	-13	-18	-9	-11	3,3
		(2)	-13	-16	-10	-11	2,3
		(3)	-10	-15	-9	-8	2,7
	III- IV	(1)	-21	-25	-21	-20	1,9
		(2)	-22	-24	-20	-19	1,9
		(3)	-18	-22	-21	-19	1,6

(1) : mesures manuelles

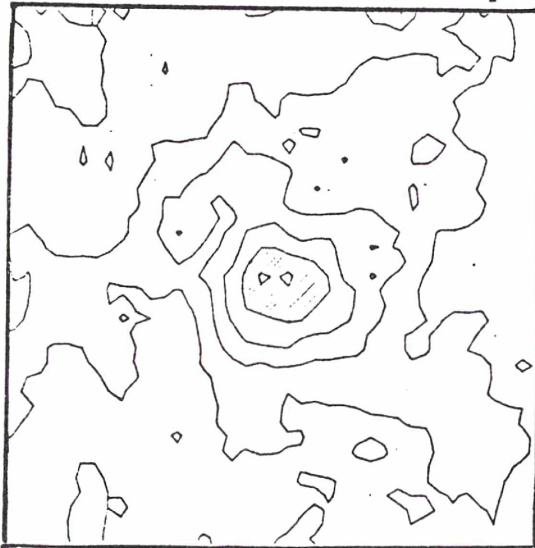
(2) : mesures microphotométriques (pas de 10 μm)

(3) : mesures microphotométriques (pas de 20 μm)

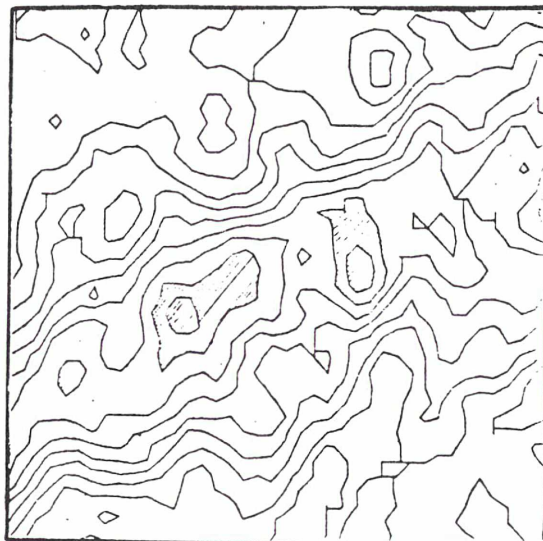
Table n° 7



a.- Satellite n° 1 , exposition n° 1
 La partie hachurée a une densité variant de 1,20 à 1,30; un écart en densité de 0,10 sépare deux isophotes.



b.- Etoile faible du champ
 La partie hachurée a une densité variant de 0,35 à 0,49 ; un écart en densité de 0,07 sépare deux isophotes.



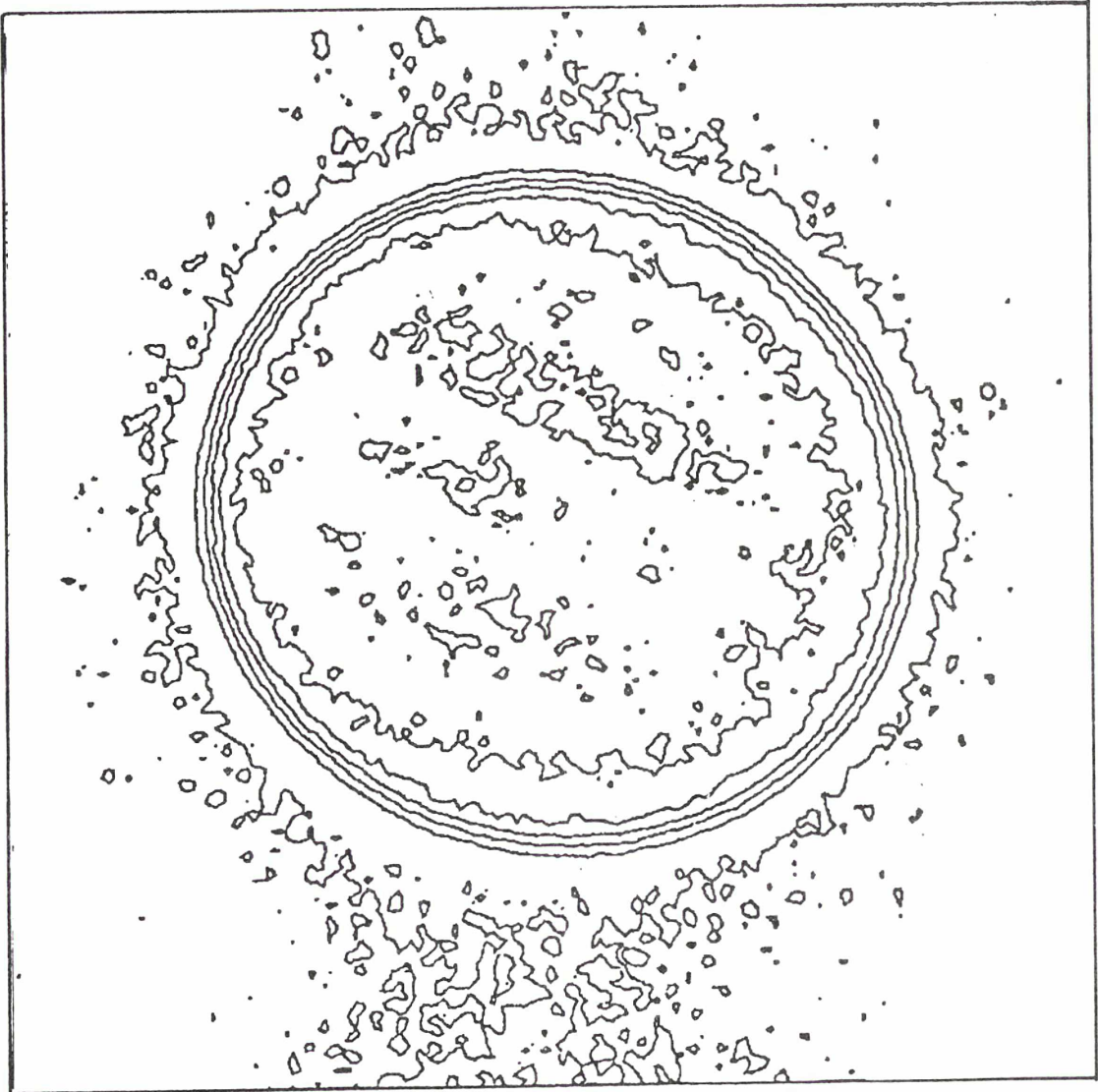
c.-Traînée d'un satellite
 Les parties hachurées ont les plus fortes densités ;
 (de l'ordre de 0,30 à 0,40) .

On remarque ainsi que les (O-C) sont du même ordre de grandeur dans les deux cas. La table n°7 donne également les écarts à la moyenne des (O-C) pour quatre expositions successives. Ces écarts sont d'autant plus faibles que les observations sont bonnes, étant donné que les (O-C) ne varient pas durant les quelques minutes séparant les quatre expositions. On peut constater une légère amélioration de cet écart pour le cas des mesures automatiques. La figure n°6(a) montre des isophotes correspondant à une image de satellite.

Les étoiles du champ.—Le problème de la mesure des étoiles sur plaque photographique a déjà été très étudié (Van Altena et al. 1975, Chiu 1977, Heudier 1977, Auer et al. 1978). On peut utiliser des programmes de calcul de barycentre géométrique ou photométrique ou des programmes de symétrisation. Comme les étoiles sont des sources ponctuelles, on peut aussi chercher à ajuster une gaussienne, ce que l'on ne peut faire pour les satellites. Dans le cas des plaques étudiées ici, malgré des images photométriques très diverses (dues aux magnitudes, au fond du ciel, aux temps de pose et à la qualité des plaques) on trouve des résultats sensiblement identiques à ceux des mesures manuelles quel que soit le programme utilisé. La figure n° 6 b montre les isophotes d'une image photométrique d'étoile.

La planète Jupiter.—La planète Jupiter est présente sur les plaques sous forme d'image de grande dimension présentant des détails qui sont cependant atténués du fait d'une légère surexposition systématique (surexposition non exagérée pour éviter la diffusion autour de la planète). La mesure manuelle ne peut donc prétendre ni symétriser, ni trouver le photocentre. On détermine alors les tangentes au "bord" de l'image pour obtenir ainsi le centre de gravité supposé être à mi-distance. Cependant, le choix d'une tangente - surtout pour le côté affecté par la phase - est très subjectif et fait intervenir un choix personnel. Cette méthode ne tient pas compte de tout l'effet de phase. Par minimisation des résidus sur un grand nombre de plaques, étalées sur une longue période (une opposition) on a pu mettre en

NORD



Plaque n° 26 (USNO , 1974) Planète Jupiter
Lignes d'égales densités (isophotes)
La partie affectée par la phase est à droite

Figure n° 7

évidence une sous-estimation systématique de l'effet de phase [voir a) de ce chapitre et Arlot 1975b]. Bien que la détermination empirique de la phase ait donné des résultats intéressants, il faut remarquer que l'on a besoin d'une longue série d'observations et que la valeur de la phase est déterminée à partir d'une minimisation d'(O-C), ce qui engendre une perte d'information due à la corrélation, même faible, existant entre les inconnues. Cela justifie la recherche d'une meilleure détermination du centre de gravité de la planète à partir de l'image photométrique (figure n° 7). L'utilisation des programmes de calcul du barycentre d'un domaine délimité par une isophote détermine soit le photocentre de la planète (cas où chaque point est affecté de sa densité photométrique) , soit le barycentre géométrique proche de celui calculé à mi-chemin des tangentes dans la mesure manuelle. Cependant, le problème du bord n'est pas résolu par ces méthodes, applicables avec succès aux satellites. Ce problème exige une étude plus poussée sur laquelle nous reviendrons.

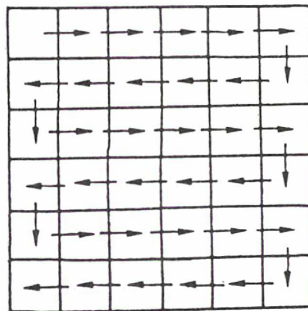
La traînée d'une étoile ou d'un satellite. Sur chaque plaque, en fin de clichés, une traînée d'étoile ou de satellite est obtenue par interruption du suivage du télescope. Cette traînée indique l'équateur de la date et donne ainsi l'orientation des clichés. Dans le cas de la mesure manuelle, on commence par orienter la platine de la machine à mesurer de façon que l' "axe X" de celle-ci coïncide avec l' "axe X" de la plaque, donné par la traînée. Cette approche peut aussi être faite sur la machine automatique mais on peut également effectuer des mesures photométriques de portions bien choisies de la traînée pour obtenir l'équateur de la date avec une meilleure précision. On peut déterminer soit des barycentres géométriques soit des photocentres pour les portions de traînée (figure n° 6c). L'orientation finale ne dépend pas du programme utilisé. La table n° 8 donne les résultats comparés des angles obtenus par ces différents programmes avec ou sans l'approche manuelle décrite ci-dessus entre l'équateur de la date (traînée) et une direction fixe quelconque. La figure n° 6c montre les isophotes d'une image photométrique d'une portion de traînée dont on prend le photocentre.

plaque	n° 26 (1974 , USNO)			n° 8 (1973,USNO)	
traînée	qcq	qcq	bonne qualité	bonne qualité	mauvaise qualité
angle traînée- axe X	21,7994°	21,8077°	21,8060°	0,0003°	0,0053°
direction X	approximativement celle de l'équateur de Jupiter			celle de la traînée déterminée avec soin	

Table n° 8

3) Choix techniques.

Pas d'analyse. Comment découper l'image à analyser ? L'analyse est faite avec une fente carrée de 40 μm (pour intégrer une surface suffisante) et pour la précision que l'on souhaite, le choix du pas se situe de 10 à 20 μm . La table n°7 donne les (O-C) en distance inter-satellites selon le pas choisi ainsi que les écarts-type pour quatre clichés consécutifs. Une image obtenue avec un pas de 20 μm est altérée par la trop grande valeur de ce pas et bien que les résultats en position obtenus avec les pas de 10 μm ou 20 μm soient assez proches, on a choisi en définitive un pas de 10 μm pour améliorer la précision.



Découpage d'une image et
sens de balayage

Figure n° 8

Vitesse d'analyse.—A quelle vitesse peut-on explorer les images ? Etant donné le temps de réponse non nul de l'amplificateur du photomètre, une vitesse trop grande peut déplacer l'image globalement. Une vitesse trop faible engendre des durées de travail de la machine trop longues. La solution se trouve dans un balayage alternatif ou mode "raster" (figure n°8). Le déplacement de l'image est aussi fonction de la densité de cette image.

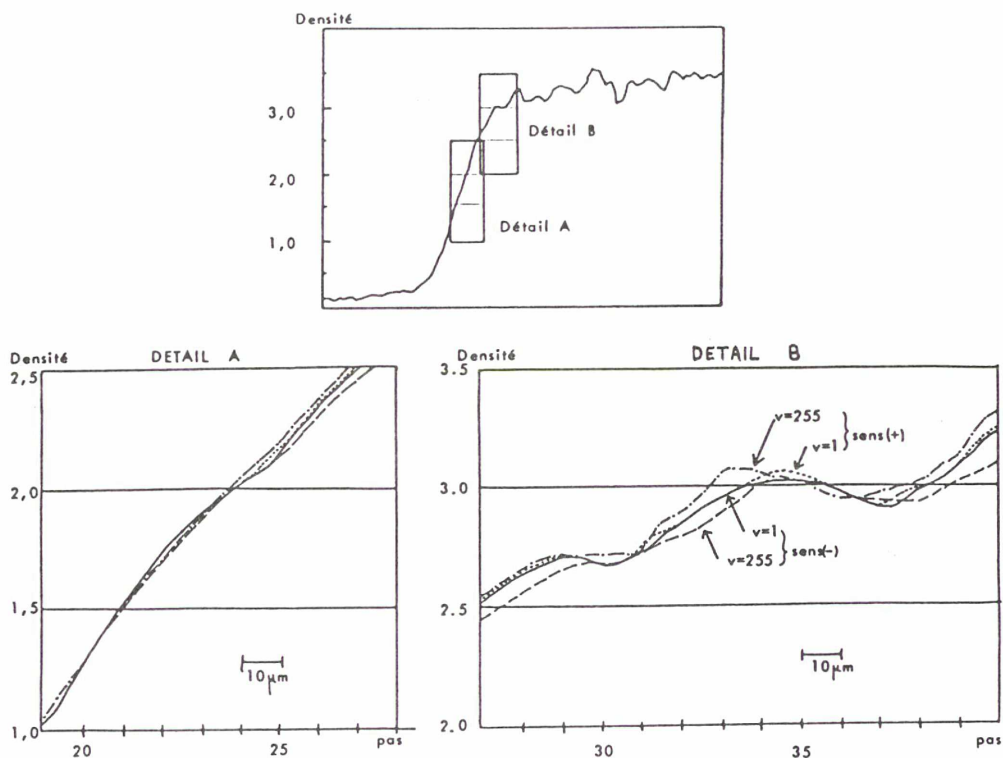


Figure n° 9

En-dessous de la densité 1, les profils obtenus sont indépendants de la vitesse d'enregistrement. La figure n°9 donne des profils en fonction de la vitesse et du sens de balayage. Vers la densité 2, un décalage de l'ordre de 4 μm se produit. Vers la densité 3, non seulement un décalage se produit (de l'ordre de 10 à 15 μm) mais la densité enregistrée diffère. La figure n°10 donne les abscisses où la densité 3 est atteinte selon les vitesses et le sens de balayage. On voit ainsi qu'avec une vitesse $v < 60$ et un balayage alternatif, on obtient une bonne précision (pour la densité 2, on obtient $v < 180$).

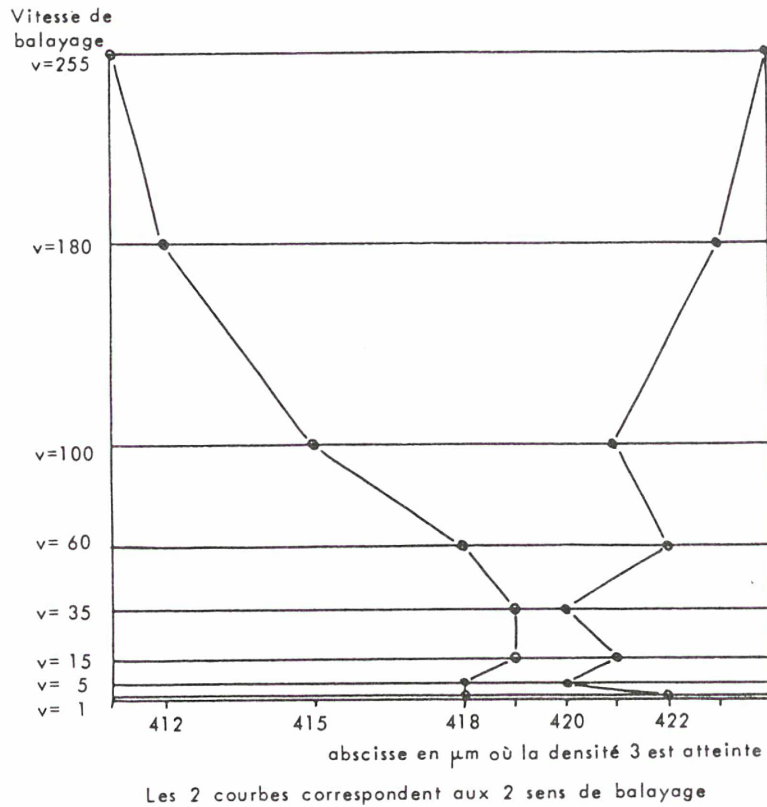


Figure n° 10

Filtrage des données. Est-il nécessaire de filtrer les enregistrements avant les calculs de position ? Nous avons essayé un programme de moyenne glissante à 2 dimensions (programme MG2) où l'on peut choisir la taille de l'échantillon traité (nombres de points et de lignes considérés). Ceci est très important, car pour certains choix le filtrage déplace l'image et interdit donc la détermination ultérieure d'une position. La figure n° 11 montre ce déplacement selon le nombre de points choisis. Si on choisit convenablement ce nombre de points et de lignes, on obtient alors un enregistrement filtré à partir duquel on peut calculer une position, comme pour l'enregistrement brut. La table n°6 donne la comparaison, pour les satellites, des positions obtenues par le programme DOMG à partir des enregistrements bruts ou filtrés. On voit ainsi que le résultat est pratiquement le même, ce qui montre l'inutilité du filtrage ; le choix de la fente et du pas d'analyse remplaçant le filtrage ultérieur.

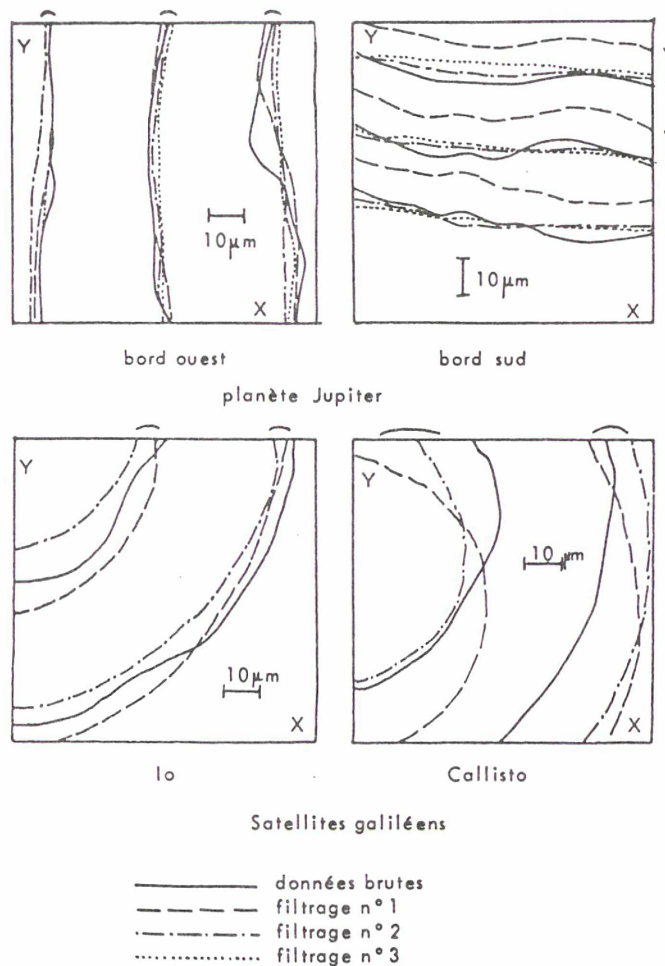


Figure n° 11

Répétitivité des mesures.—Pour en terminer avec les problèmes techniques liés au microphotomètre, examinons maintenant la reproductibilité des analyses d'image. En effet, si on recommence l'analyse d'une image sur une même plaque après un certain temps, on peut avoir des résultats différents en ce qui concerne les densités trouvées ainsi que les coordonnées pour ces densités. Deux types de dérive apparaissent donc : en densité et en position. La figure n°12 montre les essais effectués. On constate que la dérive en position est proportionnelle à l'intervalle de temps qui sépare les tests et surtout à la quantité de déplacements subis par la platine entre les tests ; par exemple, dans le deuxième tracé de la figure n°12, le déplacement est plus important entre les courbes (1) et (2) bien qu'une durée plus grande sépare les courbes (2) et (3) : la platine a effectué plus de déplacement entre

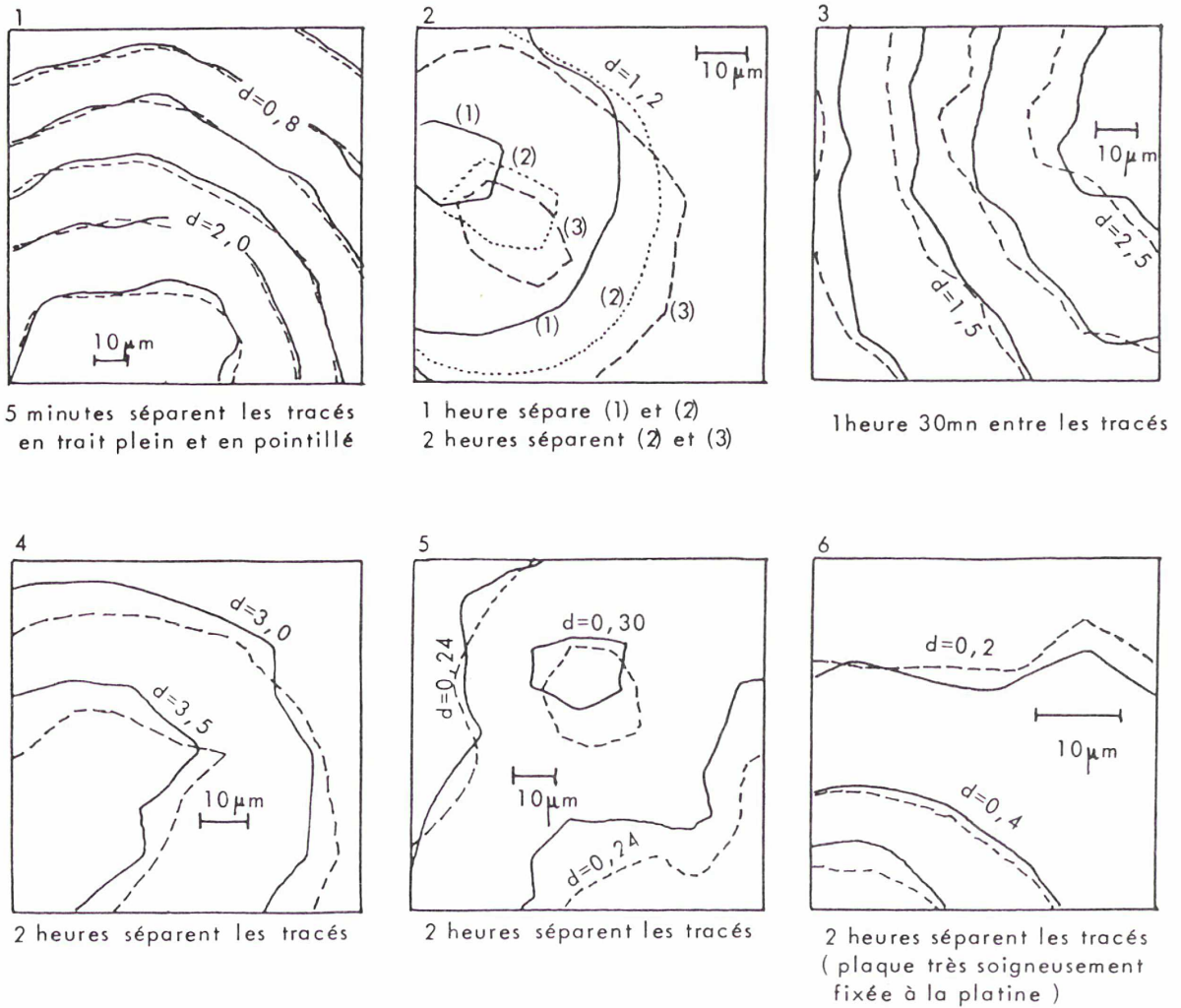
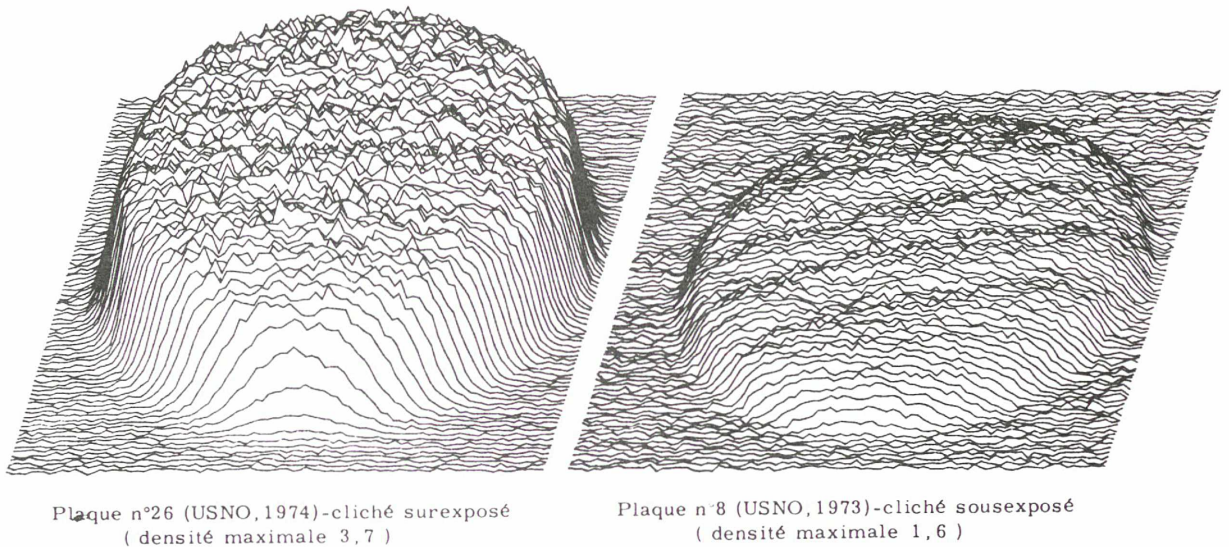


Figure n° 12

(1) et (2) qu'entre (2) et (3). Une fixation "très soignée" de la plaque permet de limiter ces inconvénients sans pour autant les supprimer complètement. Quant à la dérive en densité, elle n'a pas une importance primordiale étant donné le but astrométrique du travail. Nous veillerons à ce que les défauts de répétitivité soient inférieurs aux quantités que l'on cherche à mettre en évidence.

4) Le problème particulier de la détermination
de la position de la planète.

Comme nous l'avons vu dans 2), le problème le plus important et le plus intéressant à résoudre grâce au microphotomètre est le problème de la détermination du centre de gravité de la planète Jupiter. L'effet de phase sur une image photographique est très mal connu et déplace considérablement le centre apparent de la planète par rapport à son centre de gravité malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, en particulier les corrections de phase théoriques que l'on peut faire. Afin d'avoir une meilleure précision sur la position de la planète, nous avons étudié la formation de l'image de cette dernière sur la plaque photographique. Tout au long de cette étude, nous avons supposé que Jupiter était un ellipsoïde homogène et sans détail de surface, ce qui n'est pas totalement exact malgré la surexposition (figures n° 7 et n° 13).



Représentation en relief des densités photographiques de la planète Jupiter

Figure n° 13

Déterminer un centre à l'image de la planète revient à déterminer un bord. La méthode manuelle de recherche de deux tangentes revient à effectuer une coupe du profil par une isophote et calculer le centre géométrique correspondant. La dissymétrie des profils du fait de la phase (figure n° 14) entraîne des résultats sensiblement différents selon le niveau de densité choisi pour la coupe.

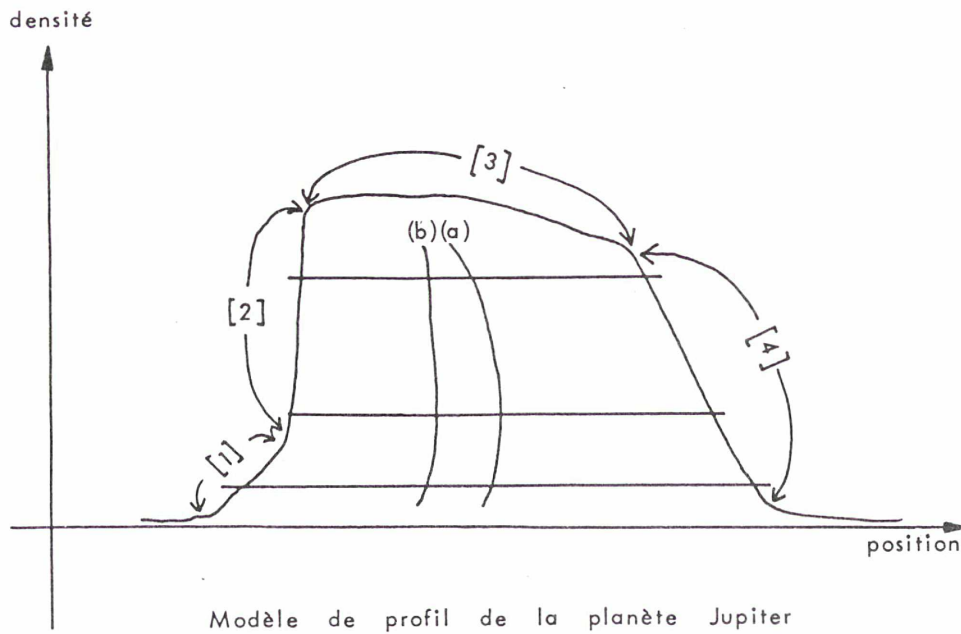


Figure n° 14

A partir d'une origine représentant la position théorique du centre de gravité (calculée en minimisant les (O-C) des satellites galiléens, comme décrit dans 2), la figure n°15 montre les valeurs obtenues pour le centre selon la coupe en densité choisie et le calcul du centre, photométrique ou géométrique. La figure n° 14 montre l'allure générale des profils, expliquant ainsi les courbes (a) et (b) de la figure n° 15. Dans le cas géométrique (courbe (a)), pour une densité faible, le centre est déplacé vers le côté non affecté par la phase, du fait de l'étalement dans l'émulsion, dû à la

surexposition (partie [1] du profil) ; pour une densité élevée, le centre est aussi déplacé dans ce sens, mais du fait de la phase (partie [4] du profil) Dans le cas photométrique (courbe (b)) le centre est systématiquement déplacé vers le côté non affecté par la phase, tout d'abord pour les mêmes raisons que dans le cas géométrique, mais aussi du fait du plateau (partie [3] du profil) dont les densités les plus fortes se trouvent du côté opposé à la phase. Ainsi les différences entre les courbes (a) et (b) peuvent être importantes.

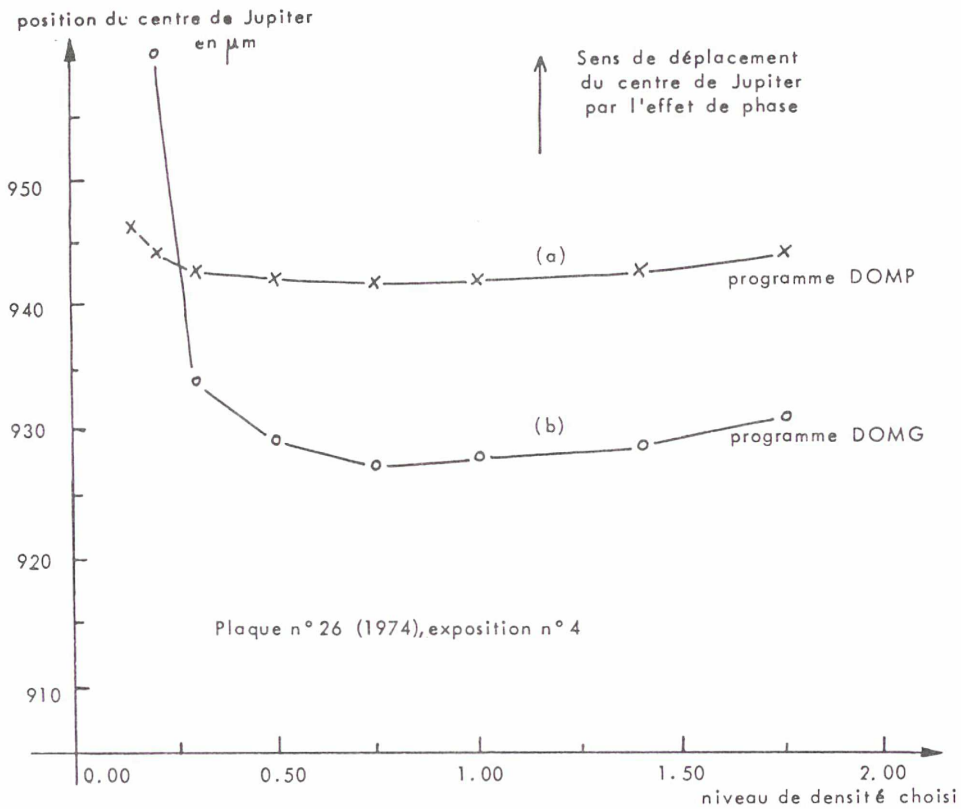


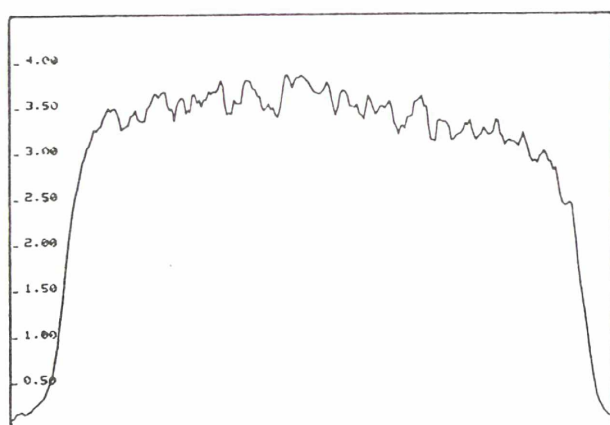
Figure n° 15

La correction théorique pour la phase ne peut corriger que la détermination géométrique (courbe (a)) si elle ne tient pas compte des effets de la fonction du bord (partie [3] du profil). Remarquons cependant que pour un cliché très surexposé la partie [3] du profil sera plate et non affectée par la phase et les courbes (a) et (b) tendront à se confondre mais l'étalement du profil dans l'émulsion sera plus important du fait de la diffusion de la lumière.

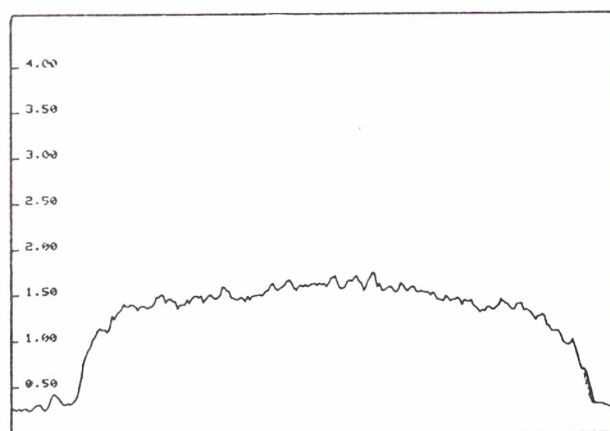
Ainsi, pour une image non diffuse de la planète, le photocentre et le centre géométrique sont éloignés. Ceci, qui est valable pour des observations photographiques, doit l'être aussi pour d'autres types d'observations utilisant le photocentre de la planète Jupiter ou d'un astre semblable.

Donc, le minimum de la courbe (a) où se trouvent éliminés l'effet de surexposition et ~~-partiellement-~~ la phase, est une première approche du centre de gravité, une fois corrigé de la phase géométrique théorique calculable. On retrouve ainsi, à peu de chose près, le centre obtenu dans la mesure manuelle, par la méthode des tangentes. Le calcul ne faisant cependant pas intervenir d'effet personnel, les mesures en sont donc plus homogènes.

Si on examine le profil de la planète obtenu, on constate l'existence d'un point d'inflexion sur chacune des deux parties ascendantes du profil. Peut-on considérer l'ensemble des points d'inflexion des profils comme le "bord" de la planète ? Pour calculer ces points, nous avons essayé le programme BOR qui cherche le maximum de gradient de densité. Les résultats obtenus ne sont pas bons, probablement du fait du nombre restreint de points permettant d'effectuer le calcul. De toutes façons, le bord formé des maximums de gradient de densité correspond-il vraiment à ce que l'on cherche ? Les profils de Jupiter, surexposés dans la plupart des cas (figures n°13 et 16) présentent leurs points d'inflexion pour une valeur de la densité assez grande, en général correspondant au minimum de la courbe (a) (figure n° 15) qui, on l'a vu, donne une valeur du centre similaire à celle obtenue par mesure manuelle et donc encore affecté de l'effet de phase "photographique". Pour obtenir un modèle de profil de Jupiter débarrassé des problèmes de grain d'émulsion, de surexposition ou de sousexposition, nous avons choisi des clichés de caméra électronique effectués dans le jaune (Lecacheux et al. 1979). On remarque que le maximum de gradient de densité (point d'inflexion) correspond à des densités très faibles (fig. n°17). Cela explique ainsi l'effet de phase "photographique" sur une plaque classique : le bord étant toujours choisi à un niveau de densité relativement élevé pour éviter l'étalement du côté surexposé, dans l'émulsion, on élimine ainsi un morceau de planète plus important du côté de la phase que du côté opposé.



Plaque n°26 (1974,USNO);cliché surexposé

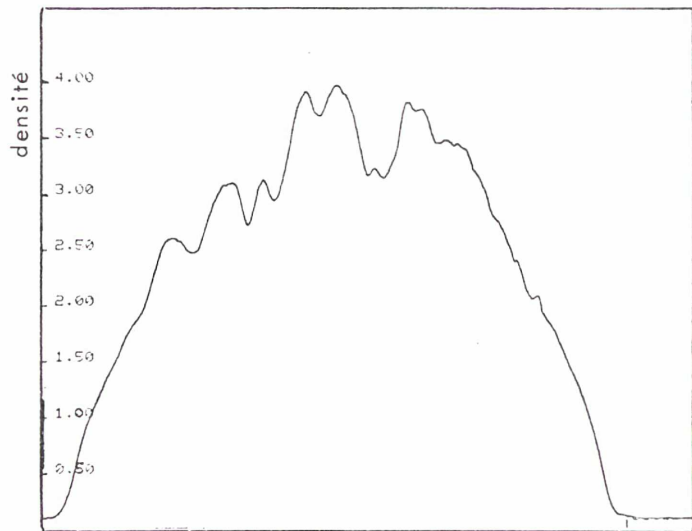
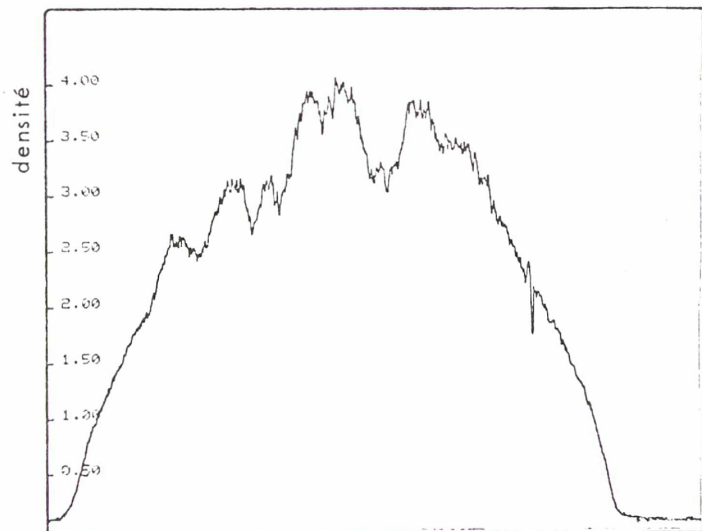


Plaque n°8 (1973 , USNO) ;cliché sous-exposé

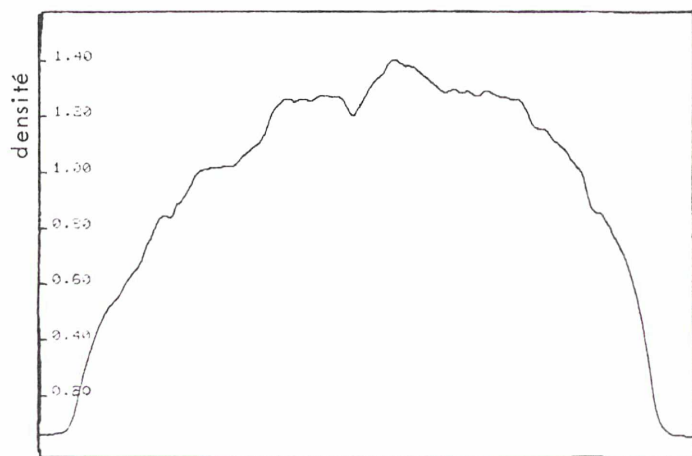
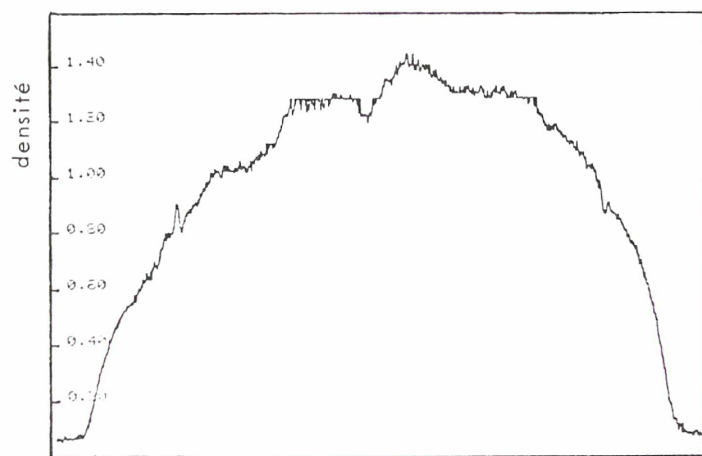
Profil densitométrique de clichés de la planète Jupiter

Figure n° 16

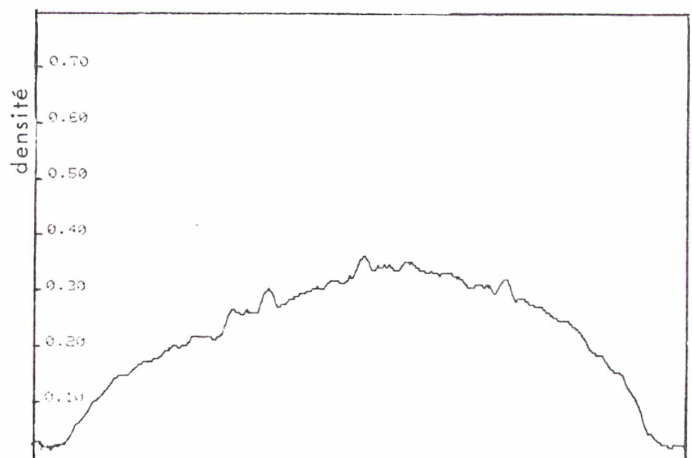
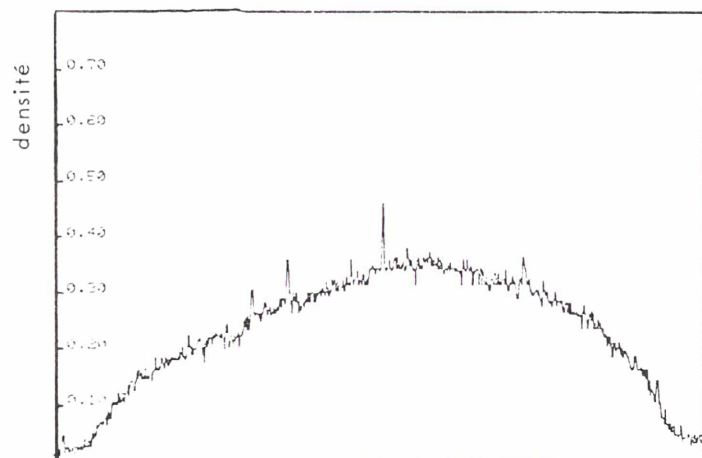
La solution consiste donc à choisir un bord correspondant à un niveau de densité très faible(juste au-dessus du fond de ciel) mais en éliminant l'étalement dans l'émulsion. Pour cela, nous avons sélectionné des profils pour déterminer le gradient de densité maximal (pente de la dérivée) afin d'extrapoler deux abscisses pour la densité 0. Du côté de la phase, seule la phase géométrique (partie de Jupiter dans l'ombre) n'est pas prise en compte mais peut être corrigée par un calcul théorique. Dans le cas où il y aurait étalement dans l'émulsion du côté de la phase, la méthode élimine aussi cet effet. Tout cela amène à penser que des plaques sousexposées, plus difficile à mesurer manuellement seraient plus adaptées au traitement automatique, le maximum de gradient de densité étant au niveau des faibles densités et l'étalement dans l'émulsion diminué. Cependant (figure n° 16), la qualité des profils est moins bonne sur une plaque classique que sur une plaque de caméra électronique. La mauvaise sensibilité des plaques classi-



coupe NORD - SUD



coupe EST - OUEST



autre coupe EST - OUEST

Profils photométriques , bruts à gauche, filtrés à droite, de clichés de Jupiter faits dans le jaune à la caméra électronique

Figure n° 17

ques se fait sentir pour reproduire la fonction de bord, côté phase. Pour des plaques sous-exposées le rapport signal sur bruit est faible. Les résultats montreront cependant que les plaques sous-exposées ne donnent pas de résultats trop mauvais. On obtient ainsi deux valeurs de bord permettant une bonne approximation de la planète. Les résultats vont montrer l'ordre de grandeur de l'amélioration.

Comment mettre en œuvre cette méthode ? La détermination des gradients de densité maximum n'est pas simple, on l'a vu avec le programme BOR. Cela nécessite donc un choix pour chaque cliché. Au vu de quelques profils, on choisit des points permettant l'extrapolation à la densité zéro. Ce choix est relativement évident, les points d'inflexion des profils étant bien marqués sur des plaques bien exposées. Entre deux choix indépendants les résultats varient peu.

Signalons pour terminer que l'exploration photométrique de la plaque est faite selon la direction Est-Ouest pour chaque ligne, donc parallèlement à l'équateur terrestre. Cela implique la présence de l'effet de phase dans les profils Est-Ouest aussi bien que dans les profils Nord-Sud. Pour éviter cela on peut prendre pour chaque ligne d'analyse photométrique la direction déterminée par l'angle de position de la phase (en général proche de celle de l'équateur de Jupiter). Le problème de l'effet de phase ne se retrouve ainsi que dans l'axe des X.

5) Application à quelques plaques : résultats et discussion.

L'appréciation de la qualité des résultats et des améliorations peut se faire grâce à la connaissance du mouvement des satellites galiléens : la table n°9 donne les (O-C) des positions des satellites relativement entre eux et la table n° 10 relativement à Jupiter pour une plaque long foyer. On peut constater ainsi la mauvaise qualité des positions de Jupiter sur une plaque mesurée manuellement : (O-C) des mesures (1). Comme nous l'avons dit précédemment dans 2), cette erreur de position de la planète, non corrélée avec les erreurs de la théorie du mouvement des satellites galiléens, peut être introduite dans des équations de condition. On détermine ainsi une

Coordonnées tangentielles équatoriales satellite/satellite

(O-C) en secondes d'arc
Plaque n° 26 (USNO , 1974)

		(O-C) en X					(O-C) en Y				
exposition :		n°1	n°2	n°3	n°4	écart-type	n°1	n°2	n°3	n°4	écart-type
couples de satellites	I - II (a)	-0,08	-0,06	0,00	-0,02	0,033	-0,08	0,15	0,23	0,17	0,118
	(b)	-0,04	-0,10	0,02	-0,04	0,044	-0,10	0,17	0,25	0,17	0,133
	I - III (a)	-0,17	-0,10	-0,19	-0,12	0,033	-0,29	-0,06	0,08	-0,06	0,133
	(b)	-0,12	-0,17	-0,08	-0,12	0,029	-0,33	-0,06	-0,04	-0,04	0,122
	I - IV (a)	0,19	0,27	0,21	0,21	0,031	-0,15	0,19	0,17	0,06	0,131
	(b)	0,19	0,15	0,17	0,15	0,017	-0,10	0,27	0,29	0,19	0,158
	II - III (a)	-0,08	-0,04	-0,19	-0,10	0,052	-0,21	-0,21	-0,15	-0,23	0,031
	(b)	-0,08	-0,06	-0,10	-0,08	0,015	-0,23	-0,23	-0,29	-0,21	0,031
	II - IV (a)	0,27	0,33	0,21	0,23	0,048	-0,06	0,04	-0,06	-0,10	0,054
	(b)	0,23	0,25	0,15	0,19	0,039	0,00	0,10	0,04	0,02	0,039
	III- IV (a)	0,35	0,37	0,39	0,33	0,023	0,15	0,25	0,08	0,12	0,060
	(b)	0,31	0,31	0,25	0,27	0,027	0,23	0,33	0,33	0,23	0,052

(a) : mesures manuelles
(b) : mesures microphotométriques

sur la plaque : 1 μm = 0,02 secondes d'arc

Table n° 9

Coordonnées tangentielles équatoriales rapportées à Jupiter

(O-C) en secondes d'arc

Plaque n° 26 (USNO , 1974)

		(O-C) en X					(O-C) en Y				
exposition :		n°1	n°2	n°3	n°4	écart-type	n°1	n°2	n°3	n°4	écart-type
satellite I	(1)	0,27	0,27	0,37	0,33	0,044	-0,15	0,15	0,25	0,10	0,145
	(2)	0,10	0,10	0,21	0,17	0,044	-0,21	0,08	0,19	0,04	0,145
	(3)	0,73	0,66	0,66	0,68	0,025	0,08	0,42	0,52	0,44	0,166
	(4)	0,39	0,37	0,48	0,46	0,044	-0,23	0,15	0,17	0,19	0,172
	(5)	0,23	0,17	0,21	0,12	0,039	-0,21	0,06	0,19	0,08	0,145
	(6)	0,06	0,10	0,21	0,23	0,068	-0,06	0,10	0,19	0,19	0,102
satellite II	(1)	0,35	0,33	0,37	0,35	0,015	-0,06	0,00	0,02	-0,06	0,037
	(2)	0,19	0,17	0,21	0,19	0,015	-0,12	-0,06	-0,04	-0,12	0,037
	(3)	0,73	0,75	0,64	0,66	0,044	0,15	0,19	0,17	0,27	0,048
	(4)	0,44	0,48	0,46	0,50	0,023	-0,12	-0,02	-0,08	0,02	0,056
	(5)	0,27	0,27	0,19	0,17	0,048	-0,10	-0,10	-0,06	-0,08	0,017
	(6)	0,10	0,17	0,19	0,25	0,052	0,00	-0,06	-0,06	0,00	0,031
satellite III	(1)	0,44	0,37	0,56	0,46	0,066	0,15	0,21	0,17	0,17	0,023
	(2)	0,27	0,21	0,39	0,29	0,066	0,08	0,15	0,10	0,10	0,023
	(3)	0,77	0,79	0,77	0,81	0,017	0,39	0,44	0,52	0,52	0,054
	(4)	0,52	0,54	0,56	0,58	0,023	0,12	0,21	0,21	0,23	0,039
	(5)	0,35	0,33	0,29	0,25	0,039	0,12	0,12	0,23	0,12	0,046
	(6)	0,17	0,23	0,25	0,35	0,066	0,19	0,17	0,21	0,19	0,015
satellite IV	(1)	0,08	0,00	0,17	0,12	0,062	0,00	-0,04	0,08	0,04	0,046
	(2)	-0,08	-0,17	0,00	-0,04	0,062	-0,06	-0,10	0,02	-0,02	0,046
	(3)	0,52	0,46	0,46	0,50	0,027	0,25	0,23	0,27	0,35	0,048
	(4)	0,21	0,23	0,31	0,31	0,048	-0,12	-0,12	-0,12	0,00	0,054
	(5)	0,04	0,02	0,04	-0,02	0,025	-0,10	-0,21	-0,10	-0,10	0,046
	(6)	-0,17	-0,08	0,00	0,04	0,079	0,04	-0,10	-0,02	0,06	0,064

(1) : mesures manuelles
(2) : mesures manuelles corrigées de la phase réelle obtenue par minimisation des résidus
(3) : mesures microphotométriques utilisant le programme DOMP
(4) : mesures microphotométriques utilisant le programme DOMG
(5) : mesures microphotométriques (axe X parallèle à l'équateur terrestre); méthode des gradients
(6) : mesures microphotométriques (axe X parallèle à l'équateur jovien); méthode des gradients

Table n° 10

correction de phase photographique empirique et des (O-C) meilleurs -
table n° 10 : mesures (2) - mais on dégrade les autres valeurs des inconnues
introduites simultanément dans les équations de condition. Nous allons
maintenant examiner les nouveaux (O-C) obtenus après le traitement
automatique par le microphotomètre PDS , de quelques plaques.

La table n° 10 présente les résultats obtenus pour une plaque type
"long foyer" (échelle environ 21 secondes d'arc par millimètre) prise à
l'observatoire Naval de Washington (Pascu 1974). Comme prévu, les
mesures (3) résultant du programme DOMP (photocentre de Jupiter) donnent
des (O-C) trop grands. Les mesures (4), programme DOMG, donnent des
(O-C) semblables à ceux obtenus par les mesures manuelles (1) encadrant
la planète par 2 tangentes aux bords. La méthode des gradients de densité
- extrapolation au niveau zéro, expliqué dans le paragraphe 4) - améliore
les mesures manuelles (1) en donnant des (O-C) proches des mesures manuel-
les corrigées (2) . La méthode des gradients de densité a été appliquée de
deux manières différentes sur la plaque n° 26 : dans le cas (5), l'axe des X
de la platine du microphotomètre est parallèle à l'équateur terrestre, et
dans le cas (6), cet axe est approximativement parallèle à l'équateur de Jupiter
ou plutôt à la direction du maximum de phase. Ainsi, dans le cas (5) l'effet
de phase se retrouve dans les deux directions X et Y tandis que dans le cas
(6) il n'affecte que la direction X. De toutes façons, la mesure en Y n'est pas
plus aisée, même si la phase est absente. En effet, deux causes entraînent
la grande dispersion des (O-C) en Y : la nature des bords aux pôles de Jupiter,
moins marqués qu'à l'équateur et aussi les défauts d'orientation des clichés
d'origine instrumentale dus au déplacement de la plaque entre deux expositions.
Cela explique les grands écarts-types obtenus entre les clichés pour les
(O-C) en Y. La table n° 9 confirme cela, ce qui montre l'importance des
défauts d'orientation , les (O-C) de la table n°9 étant relatifs aux satellites
entre eux, la planète étant éliminée. Remarquons que les écarts-type, qui
attestent en partie de la qualité des mesures (les (O-C) sont théoriquement
les mêmes pour les quatre expositions), sont en général un peu meilleurs
dans le cas des mesures photométriques, aussi bien avec (table n° 10) que
sans Jupiter (table n° 9). Pour les mesures satellite/satellite (table n° 9),

mesures microphotométriques et mesures manuelles sont pratiquement équivalentes. La table n° 11 concerne une autre plaque du type "long foyer" de moins bonne qualité (plus grande variation des (O-C) entre les expositions dues à une mesure plus délicate du fait d'un rapport signal sur bruit plus défavorable). Pour les deux plaques "long foyer", la méthode des gradients de densité améliore les (O-C) d'une manière significative : en général une diminution d'un facteur 2 ou 3 (selon l'angle de phase) est constatée entre la mesure manuelle (1) et les mesures (5) ou (6). On se ramène ainsi à des quantités de l'ordre de 0,2 seconde d'arc tout à fait acceptables pour des erreurs dans la théorie des satellites galiléens, ce qui est confirmé par les résultats (2) des mesures manuelles corrigées. Les tables n° 12 et 13 donnent des résultats concernant une plaque du type "court foyer" prise à l'observatoire de Bordeaux (Soulié 1978) et dont l'échelle est de l'ordre de 60 secondes d'arc par millimètre. Ce type de plaques donne toujours après réduction, des (O-C) satellite/planète (table n° 12, résultats (1)) beaucoup plus importants que dans le cas des plaques "long foyer" alors que les (O-C) satellite/satellite (table n° 13) sont plus proches. L'amélioration des (O-C) par le traitement microphotométrique est spectaculaire : la table n° 12 donne les (O-C) en distance satellite/planète. Toutes les mesures microphotométriques améliorent les (O-C) ; il est cependant important de noter que la méthode du photocentre de Jupiter, très mauvaise pour les plaques "long foyer" précédentes, est bonne dans ce cas, cela vient de la surexposition très prononcée de la planète qui fait disparaître les problèmes de phase ; cependant les (O-C) n'atteignent pas la qualité de ceux des plaques "long foyer".

6) L'avenir des mesures microphotométriques des plaques.

L'intérêt des résultats satisfaisants obtenus réside dans la possibilité de la mesure précise de la planète Jupiter et corrélativement dans la séparation des (O-C) des différents satellites. Cependant des problèmes techniques demeurent : la durée d'analyse d'une plaque est longue étant donné la taille des objets à mesurer (planète Jupiter) et surtout les programmes de calcul

Coordonnées tangentielles équatoriales rapportées à Jupiter
(O-C) en seconde d'arc
Plaque n° 8 (USNO , 1973)

(O-C) en X					(O-C) en Y				
exposition :	n°1	n°2	n°3	écart-type	n°1	n°2	n°3	écart-type	
satellite I	(1)	0,12	0,31	0,15	0,083	0,21	0,27	0,12	0,060
	(2)	0,02	0,21	0,04	0,083	0,21	0,27	0,12	0,060
	(4)	0,17	0,17	0,21	0,019	0,08	0,19	0,29	0,085
	(5)	-0,10	-0,12	-0,08	0,017	-0,02	-0,02	-0,12	0,050
	(3)								
satellite II	(1)	0,56	0,56	0,48	0,039	0,23	0,31	0,17	0,060
	(2)	0,46	0,46	0,37	0,039	0,23	0,31	0,17	0,060
	(4)	0,48	0,50	0,42	0,035	0,17	0,23	0,27	0,044
	(5)	0,21	0,21	0,12	0,039	0,06	0,00	-0,12	0,077
	(3)								
satellite III	(1)	0,50	0,64	0,48	0,075	0,17	0,35	0,21	0,081
	(2)	0,39	0,54	0,37	0,075	0,17	0,35	0,21	0,081
	(4)	0,39	0,58	0,48	0,077	0,25	0,29	0,35	0,044
	(5)	0,12	0,29	0,19	0,068	0,15	0,08	-0,04	0,077
	(3)								
satellite IV	(1)	0,27	0,48	0,33	0,087	0,23	0,39	0,27	0,071
	(2)	0,17	0,37	0,23	0,087	0,23	0,39	0,27	0,071
	(4)	0,31	0,44	0,33	0,054	0,23	0,33	0,46	0,093
	(5)	0,04	0,15	0,04	0,050	0,12	0,10	0,10	0,010
	(3)								

- (1) : mesures manuelles
(2) : mesures manuelles corrigées de la phase réelle obtenue par minimisation des résidus
(4) : mesures microphotométriques utilisant le programme DOMG
(5) : mesures microphotométriques utilisant la méthode des gradients de densité

Table n° 11

Distances à Jupiter : (O-C) en seconde d'arc
Plaque n°9572 (1976 , Bordeaux)

exposition :	n°1	n°2	n°3	écart-type	
satellite I	(1)	0,76	0,47	0,75	0,134
	(3)	0,26	0,10	0,11	0,073
	(4)	0,39	0,26	0,35	0,054
	(5)	0,18	-0,03	-0,20	0,155
	(2)				
satellite II	(1)	1,11	0,68	1,07	0,194
	(3)	0,51	0,06	0,40	0,192
	(4)	0,64	0,20	0,64	0,207
	(5)	0,43	-0,12	0,05	0,230
	(2)				
satellite III	(1)	1,27	1,07	1,15	0,082
	(3)	0,72	0,54	0,58	0,077
	(4)	0,85	0,66	0,83	0,085
	(5)	0,80	0,29	0,16	0,276
	(2)				
satellite IV	(1)	-1,11	-0,55	-1,46	0,375
	(3)	-0,31	0,06	-0,18	0,153
	(4)	-0,44	-0,08	-0,43	0,167
	(5)	-0,39	0,01	-0,06	0,174
	(2)				

- (1) : mesures manuelles
(3) : mesures microphotométriques (programme DOMP)
(4) : mesures microphotométriques (programme DOMG)
(5) : mesures microphotométriques (méthode des gradients de densité)

sur la plaque : 1 μm = 0,06 secondes d'arc

Table n° 12

Distances inter-satellites: (O-C) en seconde d'arc
Plaque n°9572 (1976 , Bordeaux)

exposition :	n°1	n°2	n°3	écart-type	
I - II	(a)	0,33	0,19	0,29	0,067
	(b)	0,22	-0,08	0,29	0,143
I - III	(a)	0,47	0,59	0,30	0,080
	(b)	0,47	0,45	0,52	0,019
I - IV	(a)	-0,10	0,15	-0,52	0,175
	(b)	-0,17	0,04	-0,20	0,099
II-III	(a)	-0,02	-0,29	-0,06	0,128
	(b)	-0,09	-0,38	-0,11	0,137
II- IV	(a)	0,27	0,36	-0,18	0,149
	(b)	0,05	-0,03	0,08	0,039
III- IV	(a)	0,36	0,77	-0,04	0,237
	(b)	0,22	0,48	0,27	0,124

- (a) : mesures manuelles
(b) : mesures microphotométriques

sur la plaque, 1 μm = 0,06 secondes d'arc

Table n° 13

menant aux positions finales sont très importants. Cela nous a interdit l'**usage** du PDP 11/40 de Nice pour le traitement. Seul l'IBM 360/65 de Meudon avait une vitesse de calcul adaptée, malheureusement, cet ordinateur ne fonctionne pas en mode conversationnel, ce qui est indispensable car il est nécessaire de visualiser les profils photométriques de chaque objet pour choisir l'algorithme de calcul de position adapté. En particulier la méthode des gradients de densité pour la planète Jupiter nécessite le choix de plusieurs points sur les profils et ces points dépendent du type de profil, du fond de plaque etc. De plus des "accidents" sur les plaques photographiques peuvent mener à des résultats aberrants : une visualisation des données est donc absolument nécessaire. Ainsi, le traitement d'un grand nombre de plaques (nous n'avons analysé complètement ici que quelques plaques) est subordonné à l'existence d'un ordinateur puissant fonctionnant en mode conversationnel. Un enchaînement rapide des différents programmes de traitement pour satellites, traînée, étoiles et planète permettrait alors d'obtenir rapidement les positions des satellites pour toutes les plaques disponibles actuellement. Des positions satellite/planète débarrassées de la plus grande partie des erreurs dues à la planète permettraient de nouvelles améliorations pour la théorie des satellites galiléens. Notons que ces méthodes seraient éventuellement applicables à d'autres satellites et d'autres planètes. Il est cependant intéressant d'appliquer ce type de traitement aux satellites galiléens étant donné que l'ordre de grandeur de leurs (O-C) est très bien connu, ce qui permet de tester aisément la validité des mesures et traitements effectués.

Indépendamment de la recherche des positions des satellites par rapport à la planète, ces méthodes permettent également de déterminer la position absolue de la planète avec plus de précision que par la mesure visuelle (voir Arlot 1982).

II - L'élaboration d'un catalogue d'étoiles secondaire

La réduction classique d'une plaque suppose l'existence d'étoiles cataloguées en nombre suffisant dans le champ disponible. Si les étoiles du champ ne sont pas toutes cataloguées, on peut utiliser des plaques astrographiques à **grand champ** contenant suffisamment d'étoiles pour cataloguer celles qui ne le sont pas.

Pour les plaques long-foyer la méthode dite "trail-scale" donne déjà des résultats satisfaisants mais certaines plaques ont une traînée difficilement exploitable ou pas de traînée du tout. Seules les étoiles du champ peuvent donner l'orientation du cliché. De plus, une telle réduction donnera des positions absolues des satellites et de la planète elle-même. On aura ainsi une position absolue de Jupiter directement ou indirectement par l'intermédiaire des satellites (mesurables avec une plus grande précision) et de la théorie de leur mouvement (plus précise que les mesures directes de la planète elle-même).

Cette méthode n'avait jamais été appliquée aux satellites galiléens; nous l'avons appliqué à des plaques prises par Pasco, en 1967, 1973 et 1974. Nous donnerons des résultats de positions absolues de la planète déduites des mesures directes de celle-ci sur les plaques à titre indicatif, bien que ce ne soit pas le but principal de la méthode. Le programme de réduction utilisé (Milet 1980) catalogue les étoiles non cataloguées (leur mouvement propre peut, le cas échéant, être déterminé si l'on dispose de plaques anciennes) et utilise les étoiles déjà cataloguées présentes sur les plaques. La méthode des constantes de plaques et celle des dépendances sont utilisées en parallèle. On peut choisir le nombre de constantes à déterminer: les équations reliant les coordonnées tangentielles aux coordonnées mesurées peuvent être limitées aux termes linéaires ou bien aller à un ordre plus élevé. Cependant, **pour la réduction des positions des satellites eux-mêmes**, le nombre d'étoiles étant en général au maximum de 6 ou 7, il ne faut pas avoir trop d'inconnues pour que la méthode des moindres carrés reste efficace. Le champ considéré étant alors limité (par la longue focale), les coefficients des termes linéaires suffisent. On obtient ainsi

les positions absolues des satellites et de Jupiter. La table n°14 donne des exemples de positions absolues de Jupiter obtenues, ainsi que des (O-C) afin d'en apprécier la précision. Deux éphémérides différentes ont servi à déterminer les **positions** calculées : l'intégration numérique du J. P. L. DE102 (cf. Lieske, Standish, 1981) et les tables de Le Verrier et Gaillot (cf. Gaillot 1913, Connaissance des Temps 1967 et 1973). On remarque une dérive nette des (O-C) due principalement au catalogue d'étoiles utilisé. De toutes façons, ces positions observées sont très cohérentes entre elles et montrent la précision de ce type d'observations.

En ce qui concerne les satellites galiléens, nous avons pu comparer les (O-C) - relatifs à Jupiter - obtenus avec différentes réductions, dont celle dite "trail-scale". La table n° 15 donne les valeurs obtenues en seconde d'arc. On remarque tout de suite que la réduction à l'ordre 2 donne de mauvais résultats : on a en effet plus d'inconnues à déterminer et c'est inutile étant donné la distance focale utilisée. A l'ordre 1, on obtient des résultats très proches de ceux obtenus avec la méthode dite "trail-scale" sauf pour le satellite 4 pour lequel les (O-C) sont un peu forts. Il ne s'agit cependant pas d'une erreur d'orientation de la plaque car les autres satellites ne sont pas affectés.

Ces résultats montrent cependant que l'on dispose là d'une méthode pouvant permettre la réduction de plaques jusque là inexploitées.

	67# 02	67# 03			73# 16			
	expo 3	expo 1	expo 2	expo 3	expo 1	expo 2	expo 3	expo 4
date UT :	1967-11-08 10 ^h 31 ^m 54 ^s	1967-11-08 10 ^h 53 ^m 14 ^s	10 ^h 55 ^m 04 ^s	10 ^h 56 ^m 54 ^s	1973-09-28 00 ^h 53 ^m 59 ^s	00 ^h 55 ^m 14 ^s	00 ^h 56 ^m 19 ^s	00 ^h 57 ^m 19 ^s
α observées brutes géocentriques 1950,0 } correction } phase réelle }	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,107 -0 ^s ,016	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,550 -0 ^s ,016	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,579 -0 ^s ,016	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,618 -0 ^s ,016	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,435 -0 ^s ,038	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,435 -0 ^s ,038	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,449 -0 ^s ,038	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,437 -0 ^s ,038
δ observées brutes géocentriques 1950,0 } correction } phase réelle }	11°19' 1",09 +0",09	11°18'58",72 +0",09	11°18'58",60 +0",09	11°18'58",60 +0",09	-20°29'15",26 0',00	-20°29'15",15 0',00	-20°29'15",18 0',00	-20°29'15",13 0',00
Le Verrier α calculés géoc. 1950,0 DE 102	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,142 47 ^s ,125	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,570 47 ^s ,553	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,607 47 ^s ,590	10 ^h 19 ^m 47 ^s ,644 47 ^s ,627	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,560 34 ^s ,488	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,559 34 ^s ,488	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,559 34 ^s ,487	20 ^h 17 ^m 34 ^s ,559 34 ^s ,487
Le Verrier δ calculés géoc. 1950,0 DE 102	11°19' 2",00 2",24	11°18'59",78 19'00",01	11°18'59",59 59",82	11°18'59",39 59",63	-20°29'14",74 14",36	-20°29'14",74 14",36	-20°29'14",74 14",36	-20°29'14",74 14",36
Le Verrier (O-C) α DE 102	-0 ^s ,051 -0 ^s ,034	-0 ^s ,036 -0 ^s ,019	-0 ^s ,044 -0 ^s ,027	-0 ^s ,042 -0 ^s ,025	-0 ^s ,163 -0 ^s ,091	-0 ^s ,162 -0 ^s ,091	-0 ^s ,148 -0 ^s ,076	-0 ^s ,160 -0 ^s ,088
Le Verrier (O-C) δ DE 102	-0",82 -1",06	-0",97 -1",20	-0",90 -1",13	-0",69 -0",93	-0",52 -0",90	-0",41 -0",79	-0",44 -0",82	-0",39 -0",77

Table n° 14

Plaque 1973# 16

réduction	EPHEMERIDES : SV2								EPHEMERIDES : G-5								
	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
expo. n°1	(1)	-0,15	0,18	0,09	0,10	-0,01	-0,00	0,17	0,16	-0,00	0,10	0,05	0,19	0,02	-0,00	0,19	0,02
	(2)	-0,14	0,20	0,02	0,07	0,02	0,00	0,26	0,28	0,01	0,12	-0,02	0,16	0,01	0,00	0,28	0,14
	(3)	-0,16	0,18	0,05	0,03	-0,01	0,02	0,23	0,33	-0,01	0,10	0,01	0,12	0,02	0,02	0,25	0,19
	(4)	-0,05	0,40	-0,08	0,86	-0,10	-0,16	0,28	-0,41	-0,10	0,32	-0,12	0,95	0,07	-0,16	0,30	-0,55
expo. n°2	(1)	-0,17	0,05	-0,01	0,0	0,01	-0,05	-0,02	0,23	-0,02	-0,03	-0,06	0,09	0,03	-0,05	-0,00	0,09
	(2)	-0,14	0,08	-0,07	-0,02	-0,01	-0,07	0,11	0,31	0,01	0,00	-0,12	0,07	0,01	-0,07	0,13	0,17
	(3)	-0,17	0,05	-0,05	-0,08	-0,01	-0,05	0,07	0,33	-0,02	-0,03	-0,10	0,01	0,01	-0,05	0,09	0,22
	(4)	-0,04	0,29	-0,18	0,85	-0,07	-0,20	0,12	-0,29	0,15	0,21	-0,23	0,94	-0,05	-0,20	0,14	-0,43
expo. n°3	(1)	-0,20	0,07	-0,11	-0,08	0,06	0,05	0,07	0,26	-0,05	-0,01	-0,16	0,01	0,09	0,05	0,08	0,12
	(2)	-0,20	0,07	-0,18	-0,14	0,04	0,03	0,20	0,35	-0,05	-0,01	-0,23	-0,05	0,07	0,03	0,21	0,22
	(3)	-0,20	0,05	-0,15	-0,18	0,05	0,05	0,18	0,39	-0,05	-0,03	-0,20	-0,09	0,08	0,05	0,19	0,26
	(4)	-0,07	0,33	-0,29	0,84	-0,01	-0,08	0,21	-0,17	0,08	0,25	-0,34	0,93	0,02	-0,08	0,22	-0,31
expo. n°4	(1)	-0,14	-0,01	-0,12	-0,04	0,14	0,05	-0,02	0,26	0,01	-0,09	-0,17	0,04	0,16	0,05	-0,00	0,11
	(2)	-0,15	-0,02	-0,19	-0,10	0,12	0,06	0,09	0,41	0,00	-0,10	-0,24	-0,02	0,14	0,06	0,07	0,27
	(3)	-0,15	-0,03	-0,15	-0,13	0,13	0,07	0,03	0,45	0,00	-0,11	-0,20	-0,05	0,15	0,07	0,05	0,32
	(4)	-0,01	0,26	-0,29	0,87	0,08	-0,05	0,06	-0,07	0,15	0,18	-0,34	0,96	0,10	-0,05	0,08	-0,22

Comparaison des (O-C) en seconde d'arc obtenus avec 2 éphémérides selon la réduction effectuée

- (1): méthode "trail-scale"
- (2): méthode "constantes de plaque"(6 étoiles, ordre 1)
- (3): méthode "constantes de plaque"(7 étoiles, ordre 1)
- (4): méthode "constantes de plaque"(7 étoiles, ordre 2)

Table n° 15

CHAPITRE 4

AUTRES TYPES D'OBSERVATIONS PRECISES

Pour limiter l'influence des erreurs systématiques d'origine observationnelle il serait bon de disposer, à côté des grandes séries d'observations d'éclipses et d'observations photographiques, de séries d'observations d'un autre type, non affectées des erreurs systématiques propres aux 2 catégories précitées. Nous proposons ici 2 techniques d'observations précises: les données qui en résultent sont d'autre part bien différentes de celles déduites des observations d'éclipses ou des observations photographiques.

I - Les phénomènes mutuels

Nous avons vu dans le chapitre 1, parag. I, b) que ces phénomènes rares pouvaient être observés avec précision, surtout récemment du fait des progrès des récepteurs photométriques photoélectriques. Ainsi, plusieurs campagnes d'observations (obligatoirement espacées de 6 ans) pourront donner un ensemble suffisant à lui seul pour être utilisé à l'amélioration des éphémérides. Il pourra ainsi être également utilisé concurremment aux observations de phénomènes classiques et aux observations photographiques. Dès les premières observations modernes effectuées en 1973, l'intérêt et l'importance de ces phénomènes nous sont clairement apparus. Aucune campagne coordonnée n'avait eu lieu alors en France et nous avons voulu remédier à cet état de fait. La période d'observation de 1979 n'était pas très favorable mais il était important de commencer une campagne d'observations concertée dès cette année-là pour rôder les techniques et surtout pour éviter un manque total de telles observations entre 1973 et 1985. On se reportera à l'annexe D pour le compte-rendu de cette campagne d'observations qui a donné de très bon résultats malgré la nouveauté d'une telle entreprise.

Ces observations fournissent a priori 2 données : les instants du phénomène et son amplitude. Si les instants du phénomène sont déterminés avec précision et facilement exploitables du fait d'une réduction sans pro-

blème, il n'en est pas de même avec l'amplitude. La précision est bonne si le matériel est bien au point et si la qualité du ciel est photométrique mais la réduction est délicate du fait de la présence de zones sombres ou claires sur les satellites, ce qui modifie grandement l'influence de l'amplitude observée sur les corrections à apporter aux constantes du mouvement. Ce problème pourra être résolu après avoir exploité les photographies fournies par les sondes "Voyager" dont les résultats ne sont encore que préliminaires (voir Morrison, Samz , 1980).

II - L'utilisation de récepteurs modernes

Nous voulons ici montrer que l'on peut améliorer la précision des observations ou augmenter la quantité d'informations reçues, et pour cela nous avons utilisé des récepteurs modernes. Les observations visuelles des phénomènes ont peu à peu été remplacées par les observations effectuées à l'aide de récepteurs photoélectriques. Les observations visuelles des positions (héliomètre) ont été remplacées par les observations photographiques. Là, l'intérêt était de pouvoir conserver les observations, mais la mesure des plaques étant visuelle le gain en précision n'était pas immédiat. L'utilisation de machines du type de celle décrite au chapitre 3 paragraphe I, b) permet de s'affranchir des effets personnels dus à la mesure visuelle.

L'observation des phénomènes mutuels permet la constitution d'un fichier d'observations intéressant mais limité par la rareté de ces phénomènes. Or un tel phénomène n'est, en fait, que la mesure de l'instant où la distance entre les satellites ou entre un satellite et le cône d'ombre projeté par un autre satellite est minimale. Cette distance minimale peut être observée en dehors des périodes où se produisent les phénomènes mutuels et on augmente ainsi artificiellement le nombre d'observations de ces derniers. Cependant une telle observation est délicate : la méthode visuelle micrométrique n'est pas précise et subit l'influence d'erreurs personnelles ; la méthode photographique (mesure de la distance sur une série de plaques encadrant l'instant de distance minimale) peut être précise grâce à l'emploi

de réflecteurs à long foyer mais est limitée par le nombre restreint de plaques photographiques qu'il est possible de prendre. Notons cependant que ceci est vrai pour les satellites rapides mais, pour des satellites lents (certains satellites de Saturne par exemple), la méthode photographique est tout à fait valable.

a) Le matériel utilisé

L'utilisation d'un tube "télévision" lié à un enregistreur magnétoscopique permet une acquisition des données très souple. L'intérêt de ce tube est dans la présence d'une sortie de l'information sous forme d'un signal électrique dit "signal video" (25 images par seconde pour un modèle standard) que l'on peut stocker sur bande magnétique sous forme analogique ou que l'on peut digitaliser immédiatement (pour un pré-traitement ou pour une compression de l'information par exemple) si l'on dispose d'un ordinateur en ligne. Ainsi le nombre d'images n'est plus limité, une intégration temporelle est possible par la sommation des images. Les informations étant stockées sur bande magnétique, un traitement numérique sophistiqué peut être effectué sur un gros ordinateur bien après l'observation. Une telle observation ne demande pas de calibration photométrique du matériel mais nécessite une étude très précise de la stabilité de la cible et des déformations du champ. Si l'on désire une mesure quantitative de la distance minimale, il faut faire une succession d'étalonnage de la cible à l'aide d'étoiles doubles (ou triples) dont on mesurera la distance angulaire à l'aide d'un réflecteur astrométrique à long foyer.

L'utilisation d'un tube "télévision" pour des observations astronomiques a déjà été tentée. Si, à l'origine, on se contentait de se servir d'un tel tube pour le guidage des grands télescopes, la réception d'images astronomiques et leur traitement ont déjà été étudiés (voir Genin, 1978). Des phénomènes mutuels ont également été observés de la sorte (voir Annexe D et Mosher et al. 1975).

Pour les observations que nous avons effectuées, nous avons utilisé un tube "Nocticon TH 9659 de Thomson-CSF installé sur le télescope de 1m de l'Observatoire de Meudon. Les images ont été stockées sous forme

d'une matrice de 150 points sur 285 lignes à l'aide d'un convertisseur analogique-digital et enfin traitées sur l'ordinateur IBM 370 du CIRCE.

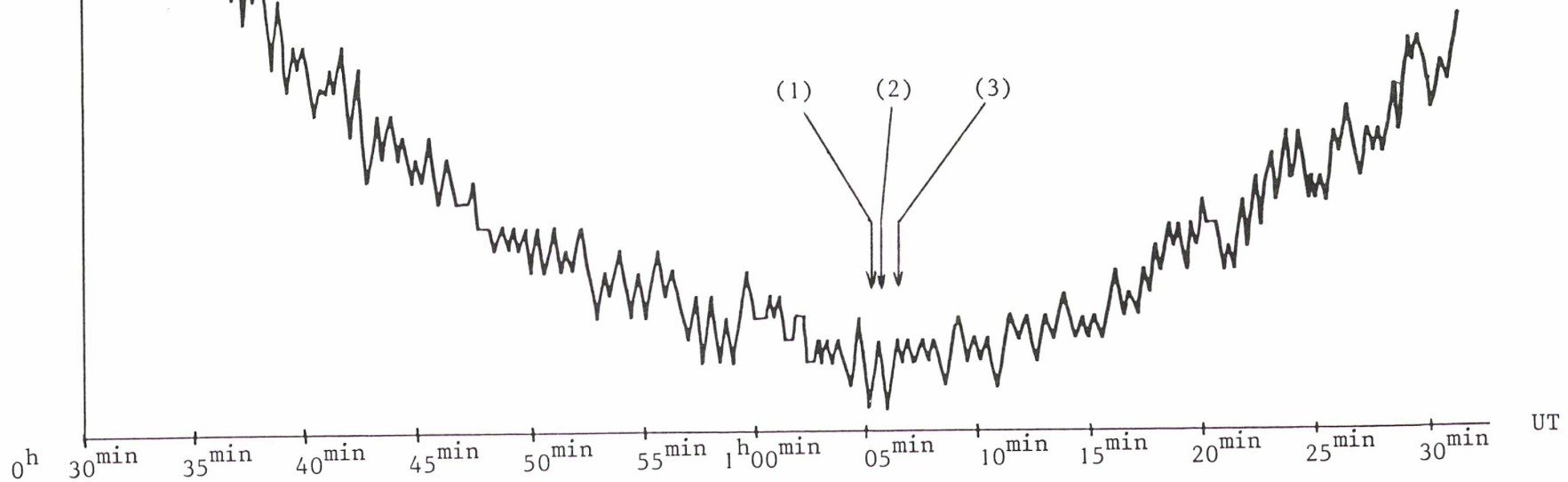
b) Les résultats obtenus

Afin de déterminer l'instant de distance minimale entre 2 satellites, il est nécessaire d'effectuer environ 1 heure d'enregistrement d'où l'on peut extraire autant d'images que l'on désire. La figure n°18 montre les valeurs de la distance entre les deux satellites observés en fonction du temps (UT). La date du minimum de distance est alors aisément calculable par un ajustement d'une courbe modèle sur les points obtenus. La date déduite de l'observation et celles prévues par les éphémérides SV2 et G-5 sont indiquées sur la figure n° 18. Ce type d'observation similaire à l'observation d'un phénomène mutuel (cf les figures de l'annexe D) peut cependant être encore amélioré. La notion d'erreur sur la détermination de l'instant du minimum doit être faite d'une façon homogène pour ces conjonctions et pour les phénomènes mutuels (actuellement, on le voit dans l'annexe D, chaque observateur de phénomène mutuel a sa propre manière de déterminer cette erreur et cela rend difficile son utilisation pour une pondération des équations de condition). Le bruit ajouté au signal peut aussi être diminué : tout d'abord en évitant le stockage du signal sous forme analogique (cela le détériore) et ensuite en utilisant un instrument à très longue focale. La courbe de la figure n° 18 provient d'une observation effectuée sur le télescope de 60cm de l'observatoire de Meudon ayant 7 mètres de distance focale multipliés par 3 à l'aide d'un montage optique. Ce montage peut engendrer des aberrations modifiant la distance observée entre les deux satellites . Ces défauts ont d'ailleurs été surmontés par la suite grâce à l'emploi du télescope de 1m qui a environ 25 mètres de distance focale.

Une information supplémentaire peut être apportée par la connaissance de la valeur de la distance minimale observée. Pour cela, il importe tout d'abord de tester la précision d'une mesure de distance absolue sur la cible du tube (en particulier la stabilité temporelle) et d'effectuer un étalonnage à l'aide d'étoiles doubles ou triples dont la configuration est proche de celle

UNITE ARBITRAIRE DE
DISTANCE SUR LA CIBLE

- (1): date du minimum de distance observé ($1^{\text{h}}05^{\text{min}}30^{\text{s}} \pm 40^{\text{s}}$)
(2): date calculée par l'éphéméride G-5 ($1^{\text{h}}06^{\text{min}}05^{\text{s}}$)
(3): date calculée par l'éphéméride SV2 ($1^{\text{h}}07^{\text{min}}05^{\text{s}}$)



Conjonction entre J3 et J4 le 23 mars 1980 (Observatoire de Meudon , T60cm)

Figure n° 18

des satellites observés (l'expérience a prouvé qu'il est facile de trouver de telles étoiles).

c) Conclusion

Ce type d'observations est appelé à se développer du fait de sa simplicité et de sa complémentarité aux autres types d'observations. Les progrès actuels de l'électronique, en particulier la venue de caméra "CCD" et de convertisseurs des signaux en données numériques, travaillant en temps réel, en augmenteront encore la précision et l'efficacité dans un avenir très proche.

CHAPITRE 5

EPHEMERIDES ET THEORIES ACTUELLES

Nous avons vu dans l'introduction que, depuis la découverte des satellites galiléens, la connaissance de leurs mouvements avait considérablement progressé. Si de nombreux travaux théoriques ont été effectués au cours du XX^e siècle (De Sitter 1918, Leckie 1919, De Sitter 1925, Marsden 1966, Ferraz-Mello 1967, Brown 1976, Ferraz-Mello 1978, Duriez 1980, Sagnier 1981, Thuillot, Vu, 1981) c'est toujours les tables de Sampson (Sampson 1910) utilisant sa théorie (Sampson 1921) qui, seules, permettent le calcul aisé d'éphémérides. Les observations utilisées pour l'ajustement de la théorie consistent en une importante série d'observations d'éclipses (voir Pickering 1907) effectuées de 1878 à 1903.

Cette théorie a été programmée au Bureau des Longitudes et les éphémérides déduites sont publiées chaque année dans la Connaissance des Temps, et, depuis 1979, sous forme de coefficients de Tchebycheff, garantissant une bonne précision de représentation (Vu 1977). Nous appellerons désormais "SV2" les éphémérides ainsi calculées. L'annexe B donne, pour chaque observation, les (O-C) selon les éphémérides SV2 et on remarquera la bonne qualité de SV2. Cependant ces (O-C) tendent à augmenter pour les observations de la 2^e moitié du XX^e siècle. De nombreux travaux de comparaison entre des observations récentes et les éphémérides calculées à partir de Sampson ont été effectués. Tous ces travaux mettent en évidence l'écart croissant entre les tables et les observations. Dans le chapitre 7, nous ferons des comparaisons des différentes éphémérides disponibles avec les observations. On verra alors que les éphémérides SV2 ont subi une dérive importante qui est une gêne pour leur utilisation dans la 2^e moitié du XX^e siècle. Ainsi l'éphéméride SV2 retarde ou avance systématiquement

par rapport au mouvement observé du satellite. L'écart maximum est de près de 2 minutes de temps pour le mouvement en longitude du satellite 4. Des termes à longue période cumulent des erreurs qui deviennent actuellement très importantes. Si l'on considère des observations groupées dans un intervalle de temps très court, ce qui est possible pour des séries d'observations photographiques telles que celles de Pascu (cf. chapitre 2), on constate que l'écart observations-éphémérides peut varier beaucoup en quelques mois mais sans cumul après plusieurs années. C'est le cas principalement du satellite 3 qui, au cours de l'opposition de 1968, s'écarte de l'éphéméride de + ou - 1 minute de temps dans son mouvement en longitude (cf Arlot, 1975a et 1975b). Cela provient de termes à courte période. L'observation des phénomènes mutuels des satellites galiléens en 1973 et en 1979 a également montré l'importance de l'écart entre la prédiction et l'observation (cf. Aksnes, Franklin, 1976 et aussi l'annexe D).

Etant donné la forme semi-numérique de la théorie de Sampson, une modification des constantes à partir de nouvelles observations n'est pas aisée. Seuls les termes de la longitude sont accessibles car les dérivées peuvent être facilement calculées numériquement. De cette manière, Aksnes a amélioré les éphémérides de Sampson par l'utilisation des observations de phénomènes mutuels (Aksnes, Franklin, 1976). D'autre part, un travail important de recalcul de la théorie de Sampson a été effectué par Lieske. Le but était tout d'abord d'éliminer les erreurs commises par Sampson du fait de ses moyens de calcul, d'introduire des effets jusque là négligés et d'avoir accès à toutes les constantes du mouvement, en particulier de pouvoir calculer les dérivées des positions par rapport à ces constantes (Lieske, 1977). Les éphémérides construites avec cette théorie et utilisant les constantes de Sampson sont appelées E-0. Un nouvel ajustement sur les observations d'éclipses utilisées par Sampson a conduit à des éphémérides appelées E-1 (Lieske, 1978). Enfin, un ajustement sur diverses observations (4800 observations individuelles) a donné naissance aux éphémérides E-2 (Lieske, 1980).

CHAPITRE 6

DETERMINATION DE NOUVELLES CONSTANTES D'INTEGRATION

Comme nous avons réuni un ensemble très important d'observations photographiques inégalé à ce jour (8856 observations individuelles) relativement bien réparties entre 1891 et 1978 , nous allons montrer comment les utiliser pour améliorer les éphémérides. Voyons d'abord comment déterminer de nouvelles constantes.

I - Le problème de la correction des constantes du mouvement

Les éphémérides permettent d'obtenir à un instant t la position P d'un des satellites par le calcul de la valeur d'une fonction $F(t)$:

$$P = F(t) .$$

Cependant la fonction F dépend de n constantes c_i propres à la théorie du mouvement des satellites; donc à t donné on a :

$$P = F_t(\dots, c_i, \dots)$$

Si on observe à l'instant t_0 la position P_0 d'un satellite, on a, en général :

$$F(t_0) = P_c \neq P_0 .$$

où P_c est la position théorique calculée à l'instant t_0 . Position calculée et position observée diffèrent. Si l'on considère que cette différence n'est pas due à des erreurs d'observation mais à des erreurs dans l'éphéméride, améliorer cette dernière consiste : soit à modifier la fonction F (c'est-à-dire améliorer la théorie du mouvement elle-même), soit à modifier les constantes c_i (c'est le but du présent travail).

a) Les erreurs de l'échelle de temps

1) Causes internes

Lorsque la théorie a été construite, le paramètre temps t était supposé uniforme: c'est le temps " de la mécanique céleste". Mais cette échelle de temps peut ne pas correspondre à celle dont on dispose pour l'observation. L'ajustement sur les observations doit pourtant faire en sorte que ces 2 échelles coïncident mais la mauvaise connaissance de l'échelle de temps repérant les observations anciennes va entraîner à terme - en particulier de nos jours - la non-coïncidence. Une erreur Δt_0 à l'origine des temps entraîne que :

$$\begin{aligned} \text{si } P_c &= F(t) \\ P_o &= F(t + \Delta t_0) \neq P_c \end{aligned}$$

Une dérive de ΔT par unité de temps de l'échelle de temps entraîne que :

$$\begin{aligned} \text{si } P_c &= F(t) \\ P_o &= F(t + \Delta T, (t - T_0)) \neq P_c \end{aligned}$$

où T_0 est l'origine des temps.

Quoi qu'il en soit une telle erreur se répercute sur la longitude ou le moyen mouvement du ou des satellites. Le satellite théorique sera " en retard " ou " en avance ", ou bien il ira " moins vite " ou " plus vite " que le satellite observé : les erreurs sur les observations ayant servi à l'ajustement à l'origine ont entraîné des constantes du mouvement (longitude à l'origine et moyen mouvement) entachées d'erreur. Les erreurs d'observation variant selon chaque satellite, les erreurs d'échelle de temps varieront donc selon le satellite considéré. Notons également que l'erreur d'échelle de temps peut aussi être non linéaire du fait des termes périodiques de la longitude entachés d'erreur. Les observations modernes sont là pour mettre ces erreurs en évidence et y porter remède.

2) Causes externes

Cette non-coïncidence peut également provenir du fait que l'échelle de temps utilisée pour le repérage des observations modernes n'est pas celle de la théorie, parce qu'elle a changé indépendamment du système des satellites. On sait par exemple que le temps universel servant à repérer les observations n'est pas uniforme.

Si on considère que l'échelle de temps de la théorie est TAI + 32s (ce qui est tout à fait licite : TAI est uniforme et le 32s représente la correction d'origine), en 1980, on a : TAI + 32s - UT ≈ 50s ; donc si on observe une position P_o à t[UT] on a :

$$P_C = F(t[UT]) \neq P_o = F(t[TAI + 32s]) = F(t[UT] + 50s)$$

La différence P_o-P_C provient donc dans ce cas des 50s de TAI + 32s - UT.

Les causes externes d'erreur d'échelle de temps ne sont dues qu'à cet effet qui est facile à corriger. Quant aux erreurs internes, ce sont, en fait, des erreurs sur les constantes du mouvement (longitude à l'origine et moyen mouvement, principalement).

b) Les erreurs sur les constantes du mouvement

Nous avons vu précédemment que la position, à un instant donné, d'un satellite est fonction de n constantes c_i. Ces constantes n'étant pas bien déterminées, il n'y a pas coïncidence entre la position observée et la position calculée.

A t_o, la position observée est P_o, la position calculée est :

$$P_C = F_t(\dots, c_i, \dots) \quad \text{et on a :}$$

$$P_C \neq P_o = F_t(\dots, c_i + \Delta c_i, \dots)$$

où Δc_i est la correction à apporter à la constante c_i pour avoir P_o=P_C.

On a alors :

$$(1) \quad F_t(\dots, c_i + \Delta c_i, \dots) = F_t(\dots, c_i, \dots) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F_t}{\partial c_i} \Delta c_i +$$

$$+ \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{\partial^2 F_t}{\partial c_i \partial c_j} \Delta c_i \Delta c_j + \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 F_t}{\partial c_i^2} \Delta c_i^2 + \text{termes d'ordre supérieur}$$

où ,

$$(2) \quad F_t(\dots, c_i + \Delta c_i, \dots) - F_t(\dots, c_i, \dots) = P_o - P_C$$

cette dernière quantité étant appelée (O-C) en P.

Si l'on connaît, par la théorie, les valeurs des dérivées partielles de la fonction F à t donné, on a, pour chaque observation, une relation non linéaire en Δc_i, pour i variant de 1 à n. Des méthodes numériques permettent la résolution de tels systèmes dans la mesure où l'on ne va

pas jusqu'à un ordre trop élevé et où l'on dispose d'un nombre suffisant d'observations bien réparties dans le temps. Cependant ces méthodes exigent la connaissance de Δc_i de départ "proches" des valeurs recherchées. Dans le cas présent, les Δc_i sont, a priori, des "petites quantités" et la valeur approchée des Δc_i serait donc zéro. Dans ces conditions, la relation (1) peut être ramenée à une relation linéaire comme suit :

$$(3) \quad (O - C) P = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F_t}{\partial c_i} \Delta c_i$$

Chaque observation donnera alors une relation de ce type et la résolution d'un tel système posera peu de problèmes. Maintenant, appliquons ces principes pour la correction des éphémérides des satellites galiléens à l'aide des observations étudiées dans la première partie.

II - Correction des tables de Sampson

La théorie originale de Sampson ne permet pas la détermination de dérivées partielles de la fonction F par rapport aux paramètres Δc_i . Puisqu'on a une fonction explicite du temps t, il est seulement possible d'obtenir des dérivées des positions par rapport au temps. Cependant, nous avons vu que les longitudes à l'origine, les moyens mouvements et les termes périodiques de la longitude modifiaient l'échelle de temps s'ils étaient entachés d'erreur. L'équation (3) du paragraphe I devient ici:

$$(4) \quad (O - C) P = \frac{dF}{dt} \Delta t$$

pour chaque satellite, chaque quantité observée et chaque observation. Puisque $\Delta l = n \Delta t$ où n est le moyen mouvement,

$$(5) \quad \Delta t = \frac{\Delta l}{n} = \frac{\Delta l_0}{n} + \frac{\Delta n}{n} (t - t_0) + \sum_i \Delta C_i \sin \omega_i (l_i - \pi_i)$$

les inconnues à déterminer étant : Δl (en unité d'angle) ou $\frac{\Delta l}{n}$ (en unité de temps), c'est la correction à la longitude à l'origine; Δn correction au moyen mouvement et ΔC_i corrections aux amplitudes des termes périodiques.

Cette méthode a déjà été développée (Arlot 1975) avec cependant trop peu d'observations.

Une nouvelle détermination des constantes liées aux longitudes a donc été tentée avec, cette fois, 3982 observations de couples de satellites réparties entre 1913 et 1978 (voir les tables n°1 à 5, les séries codées numéros 28, 26, 45, 12/1, 12/2, 12/3, 12/4, 15, 16, 3, 4, 13, 14, 21, 22, 23, 17 et 38). La pondération a été effectuée d'une façon qui sera expliquée dans le paragraphe III suivant.

L'équation (4) où sont introduites les inconnues de la relation (5) forme une équation de condition. Il y a une équation par composante observée (X et Y) pour chaque satellite (1 à 4) et pour chaque date d'observation. La position de Jupiter n'a pas été considérée, mais, seulement les positions relatives entre satellites. Pour cela, lors de la résolution du système des équations de condition par la méthode des moindres carrés, l'origine de chaque équation (commune pour les satellites observés simultanément) a été éliminée au moyen de la méthode dite "de l'équation en i" (Levallois 1969).

Dans les équations de condition, on peut, soit introduire simultanément l'ensemble des inconnues de la relation (5), soit introduire seulement les plus importantes puis effectuer une itération pour déterminer les autres. Nous avons calculé les inconnues de ces 2 manières. Nous appellerons dans la suite solution A le premier cas et solution B le deuxième.

Dans la table n° 16, nous donnons les valeurs obtenues pour la longitude à l'origine des temps (JD 2436933,5), avec, en comparaison, les résultats obtenus par d'autres auteurs ramenés ou non à la même origine en utilisant les moyens mouvements de la table n° 17. Il faut noter que certaines corrections sont déduites (cas Aksnes et Nakamura) d'observations de phénomènes mutuels précises mais ponctuelles qui ne permettent que difficilement la séparation entre termes séculaires et termes périodiques. Dans le cas de Lieske (E-2), ces corrections ont été calculées en même temps qu'un nombre important d'autres paramètres et elles semblent ainsi ne prendre en compte qu'une petite partie des (O-C), contrairement aux autres valeurs obtenues par des solutions en longitude exclusivement. Ces dernières solutions sont d'ailleurs proches les unes des autres.

La table n° 17 donne les valeurs des moyens mouvements. Sur la période d'observations dont on dispose, les différences entre les valeurs des moyens

	this paper origine t ₀		Lieske E - 2 (1980)		Aksnes 1976 origine t ₀		Nakamura 1976	De Sitter	
	solution A	solution B	origine t ₀	origine JD2443000.	solution RS	solution RS'''	origine t ₀	origine t ₀	origine de De Sitter
Δl_{o1}	+0°. 0989 ±0. 0029	+0°. 1000 ±0. 0029	+0°. 04344 ±0. 0176	+0°. 048170 ±0. 0176	+0°. 12588 ±0. 0060	+0°. 14458 ±0. 0060	+0°. 1046 ±0. 0041	+0°. 015	+0°. 001
Δl_{o2}	+0°. 0063 ±0. 0014	+0°. 0148 ±0. 0014	-0°. 01607 ±0. 0039	-0°. 013693 ±0. 0039	+0°. 03194 ±0. 0034	+0°. 0173 ±0. 0034	+0°. 0148 ±0. 0007	-0°. 009	-0°. 016
Δl_{o3}	-0°. 0007 ±0. 0011	+0°. 0056 ±0. 0011	-0°. 04292 ±0. 0215	-0°. 04462 ±0. 0215	-0°. 01320 ±0. 0019	-0°. 0234 ±0. 0019	-0°. 0276 ±0. 0140	-0°. 031	-0°. 026
Δl_{o4}	+0°. 0219 ±0. 0006	+0°. 0258 ±0. 0006	-0°. 07146 ±0. 0049	-0°. 062787 ±0. 0049	+0°. 02526 ±0. 0010	+0°. 0242 ±0. 0010	+0°. 0360 ±0. 0052	+0°. 0110	-0°. 014

Corrections aux longitudes de Sampson à l'origine t₀ = JD 2439633,5 (en degrés)

Table n° 16

	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄
Sampson 1921	203. 4889 5420 8	101. 3747 2344 5	50. 3176 0806 35	21. 5710 7140 3
Damoiseau d'après De Sitter	5515 6	2383 6	0820	7203 7
Soullart d'après Marth	5385	2345	0825	7185
1908 De Sitter	5438	2322	0764	7142
1928	5813	2513	0883	7218
Lieske E-2	5536 3	2455 7	0915 3	7087 5
solution A	5517 6 (⁺ ₋ 0042 5)	2373 4 (⁺ ₋ 0023 0)	0762 43 (⁺ ₋ 0014 40)	7290 9 (⁺ ₋ 0000 79)
solution B	5471 1 (⁺ ₋ 0042 5)	2408 1 (⁺ ₋ 0023 0)	0795 8 (⁺ ₋ 0014 40)	7276 6 (⁺ ₋ 0000 79)

Moyens mouvements sidéraux
en degrés par jour

Table n° 17

mouvements induisent des écarts entre les éphémérides qui sont du même ordre de grandeur que bien d'autres erreurs (termes périodiques surtout). Les valeurs des autres paramètres varient énormément d'un auteur à un autre, la comparaison entre les moyens mouvements est peu significative dans la mesure où, comme c'est le cas, les différences restent dans les présentes limites.

Les termes périodiques de la longitude dont nous avons cherché des corrections sont les suivants :

$$\text{satellite 1 : } \quad A_1 \sin 2 (l_1 - l_2) \quad ; \quad B_1 \sin (l_1 - \pi_1)$$

$$\text{satellite 2 : } \quad A_2 \sin 2 (l_2 - l_3) \quad ; \quad B_2 \sin (l_2 - \pi_2)$$

$$\text{satellite 3 : } \quad A_3 \sin (l_3 - \pi_3) \quad ; \quad B_3 \sin (l_3 - \pi_4)$$

$$\text{satellite 4 : } \quad A_4 \sin (l_4 - \pi_4)$$

où l_1 , l_2 , l_3 et l_4 sont les longitudes moyennes des satellites 1, 2, 3 et 4, et π_1 , π_2 , π_3 et π_4 les longitudes des périjoves des quatre satellites.

Ce sont les termes dont les coefficients sont déduits des observations par Sampson. Notons que ce sont des termes à courtes périodes (environ la période du satellite lui-même) et il est nécessaire, pour déterminer les coefficients, de disposer d'observations bien réparties dans les orbites. Pour cela, les observations photographiques paraissent plus favorables que les observations de phénomènes. Les périodes en jours des termes considérés sont données ci-après .

Terme dont le coefficient est A_1 :	1,762732
A_2 :	3,525464
A_3 :	7,155536
A_4 :	16,690457
B_1 :	1,770512
B_2 :	3,552831
B_3 :	7,154818 .

On remarque ainsi que les périodes des termes en A_3 et B_3 diffèrent seulement de 0,0007 jour et un siècle est nécessaire pour obtenir un déphasage de 180 degrés. La détermination d'une correction à B_3 sera

auteurs arguments	Souillart d'après Marth (1891)	Sampson (1921)	De Sitter (1928)	Aksnes (1976)		Lieske (1980) E-2	solutions A & B
				Solution RS	Solution RS'		
$l_1 - \pi_1$	426	929	227	6597 (± 1901)	6566 (± 1832)	192	4382 (± 987)
$l_2 - \pi_2$	2048	1650	2618	3002 (± 895)	2959 (± 750)	1844	5950 (± 369)
$l_3 - \pi_3$	22441	30341	27803	30473 (± 578)	30498 (± 541)	29387	23023 (± 246)
$l_4 - \pi_4$	145235	147464	147236	146049 (± 1013)	146015 (± 908)	146673	146418 (± 141)
$2(l_1 - l_2)$	75377	82295	81280	83270 (± 1950)	83255 (± 1920)	82363	86488 (± 932)
$2(l_2 - l_3)$	179041	186778	186646	185686 (± 1057)	185686 (± 1057)	185640	188621 (± 346)
$l_3 - \pi_4$	11728	12876	13456	—	—	15800	15986 (± 331)

Coefficients des principaux termes periodiques de la longitude (en 10^{-7} radian)

Table n° 18

possible seulement pour des observations réparties sur un intervalle de temps assez long. La table n° 18 donne les valeurs obtenues pour les coefficients (les solutions A et B donnent des résultats pratiquement identiques) et la table n° 19 donne les corrélations entre les inconnues dans le cas de la solution A.

Δl_{c_1}	Δl_{c_2}	Δl_{c_3}	Δn_1	Δn_2	Δn_3	Δn_4	ΔB_1	ΔB_2	ΔA_3	ΔA_4	ΔA_1	ΔA_2	ΔB_3	
-0.02	-0.02	-0.01	-0.35	0.00	-0.01	0.02	0.10	-0.12	0.03	-0.01	0.07	-0.00	-0.01	Δl_{o_1}
	0.00	0.00	-0.00	-0.38	0.02	0.01	0.02	-0.06	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.09	Δl_{o_2}
		-0.04	-0.02	0.01	-0.28	0.01	-0.02	0.03	0.11	0.02	-0.00	0.02	-0.06	Δl_{o_3}
			0.02	0.01	0.01	-0.31	0.01	-0.01	0.03	0.13	0.03	0.04	0.01	Δl_{o_4}
				-0.02	0.01	-0.05	0.12	-0.01	0.01	-0.02	0.07	-0.03	0.05	Δn_1
					-0.01	-0.00	0.00	-0.06	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	-0.10	Δn_2
						-0.03	0.02	0.02	-0.01	0.02	0.02	0.01	-0.10	Δn_3
							-0.03	0.01	-0.01	0.02	-0.03	0.03	-0.02	Δn_4
								0.03	0.04	0.03	0.78	0.01	0.02	ΔB_1
									0.06	-0.00	0.03	0.13	0.02	ΔB_2
										0.18	0.09	0.09	0.44	ΔA_3
											0.10	0.11	0.07	ΔA_4
												-0.02	0.06	ΔA_1
													-0.08	ΔA_2

Table n° 19

Comme on pouvait s'y attendre, les valeurs sont bien différentes de celles de Sampson lorsque l'on effectue une solution en longitude seulement car d'autres effets sont absorbés dans les corrections. Il faudra donc maintenant porter notre effort sur la correction de l'ensemble des paramètres et non plus seulement^{de} ceux en longitude. Nous avons cependant utilisé les résultats obtenus (solution B) pour corriger certains paramètres de la longitude(longitudes à l'origine et moyens mouvements) et construire de nouvelles éphémérides que nous appellerons SV3.

III - Correction des tables de Lieske

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, Lieske a amélioré la théorie de Sampson et a construit un algorithme permettant le calcul de dérivées partielles par rapport aux constantes du mouvement des satellites galiléens (Lieske 1978). Les constantes auxquelles on a ainsi accès sont données par Lieske (1978) dans la table n° 20. Nous garderons les mêmes notations que Lieske, en notant ϵ_1 à ϵ_{28} et β_1 à β_{24} les corrections aux constantes, les β étant les corrections aux paramètres angulaires. Si C est la valeur initiale d'une constante, sa valeur corrigée sera C (1+ ϵ) pour les 28 premières constantes et C+ β pour les autres.

ε

Index	Symbol ε ()	Generating Value A_0^* $ε = (A - A_0)/A_0$	Name
1	m_1	449, 7	Mass of Satellite I relative to Jupiter
2	m_2	252, 9	Mass of Satellite II relative to Jupiter
3	m_3	798, 8	Mass of Satellite III relative to Jupiter
4	m_4	450, 4	Mass of Satellite IV relative to Jupiter
5	S/J	1047, 355	Mass of Sun relative to Jupiter system
6	n_1	203, 48895 4208	Mean motion of Satellite I, deg/day
7	n_2	101, 37472 3445	Mean motion of Satellite II, deg/day
8	n_4	21, 57107 1403	Mean motion of Satellite IV, deg/day
9	$λ_A$	0†	Libration phase angle amplitude
10	n_J	$8, 30912 15712 \times 10^{-2}$	Mean motion of Jupiter, deg/day
11	J_2	0, 01484 85	Jupiter J_2
12	J_4	$-8, 107 \times 10^{-4}$	Jupiter J_4
13	R_J	71420	Radius of Jupiter, km
14	P_J	9, 924825	Jupiter period of rotation, hr
15	$3(C-A)/2C$	0, 111	Ratio Jupiter moments of inertia
16	e_{11}	465,	Primary eccentricity of Satellite I, rad
17	e_{22}	825,	Primary eccentricity of Satellite II, rad
18	e_{33}	15164,	Primary eccentricity of Satellite III, rad
19	e_{44}	73725,	Primary eccentricity of Satellite IV, rad
20	e_J	0, 04846 02472	Eccentricity of Jupiter
21	c_{11}	4756,	Primary sine inclination of Satellite I
22	c_{22}	81490,	Primary sine inclination of Satellite II
23	c_{33}	31108,	Primary sine inclination of Satellite III
24	c_{44}	47460,	Primary sine inclination of Satellite IV
25	I_J	3, 10401	Inclination of Jupiter orbit to equator, deg
26	J	1, 30691	Inclination of Jupiter orbit to ecliptic, deg
27	$ε$	$23^\circ 26' 44, 84''$	Obliquity of ecliptic at 1950, 0
28	n_S	$3, 34597 33896 \times 10^{-2}$	Mean motion of Saturn, deg/day

Notes: *Nominal value are $ε = 0$
 A comma denotes the seventh decimal (e.g. $449, 7 = 449, 7 \times 10^{-7}$)
 † This phase angle amplitude for libration is an absolute quantity (i.e. $ε_9 = λ_A$), measured in radians. Sampson value: $λ_A = 0$.
 Form of free libration is $λ_A \sin(μt + φ_λ)$ where $μ = \sqrt{L}$ and $φ_λ = β_5$
 Note: If, in evaluating the latitude series $ξ_j (= Z/a)$, the "time-completed" is employed by means of

$$t_j = t_0 + Δt_j$$

$$Δt_j = v_j/n_j$$

$$t_0 = \text{ephemeris time}$$
 then the resultant series represents $s_j = Z_j/a_j (1 + ξ_j) = Z_j/p_j$ complete through second order and the second order terms in t_j (Z2-DEG) should not be applied. The second-order terms in t_j should be employed only if the time-completed feature is not utilized.

β

Index	Symbol	Epoch Value (JD 2443000, 5)*	Rate (deg/day)	Name
1	i_1	$106^\circ 03' 042 + β_1$	$203, 48895 4208 (1 + ε_6)$	Mean longitude of Satellite I
2	i_2	$175^\circ 7' 4748 + β_2$	$101, 37472 3445 (1 + ε_7)$	Mean longitude of Satellite II
3	i_3	$120^\circ 6' 0601 - 1/2 β_1 + 3/2 β_2$	$50, 31760 80635 \left[1 - 2ε_6 + 3ε_7 - 2, 20451 8497 \times 10^{-2} (ε_6 - ε_7) \right]$	Mean longitude of Satellite III
4	i_4	$84^\circ 51' 861 + β_4$	$21, 57107 1403 (1 + ε_8)$	Mean longitude of Satellite IV
5	$φ_λ$	$0 + β_5$	\sqrt{L} (= 0, 1719 0889 + ...)	See Table A. 30 Libration phase angle
6	$π_1$	$4^\circ 51' 172 + β_6$	$π_1$ (= 0, 1612 2004 + ...)	See Table A. 12 Proper periapse of Satellite I
7	$π_2$	$74^\circ 53' 051 + β_7$	$π_2$ (= 0, 0476 3124 + ...)	See Table A. 17 Proper periapse of Satellite II
8	$π_3$	$174^\circ 85' 831 + β_8$	$π_3$ (= 0, 0069 7450 + ...)	See Table A. 20 Proper periapse of Satellite III
9	$π_4$	$336^\circ 02' 667 + β_9$	$π_4$ (= 0, 0018 7351 + ...)	See Table A. 22 Proper periapse of Satellite IV
10	$π$	$13^\circ 30' 364 + β_{10}$	0	Longitude of perihelion of Jupiter
11	$ω_1$	$242^\circ 73' 706 + β_{11}$	$ω_1$ (= -0, 1340 1884 + ...)	See Table A. 23 Proper node of Satellite I
12	$ω_2$	$95^\circ 28' 556 + β_{12}$	$ω_2$ (= -0, 0327 4001 + ...)	See Table A. 25 Proper node of Satellite II
13	$ω_3$	$125^\circ 14' 673 + β_{13}$	$ω_3$ (= -0, 0070 1735 + ...)	See Table A. 26 Proper node of Satellite III
14	$ω_4$	$317^\circ 89' 250 + β_{14}$	$ω_4$ (= -0, 0018 0387 + ...)	See Table A. 28 Proper node of Satellite IV
15	$ψ$	$316^\circ 73' 369 + β_{15}$	$ψ$ (= -0, 0000 0229 + ...)	See Table A. 29 Longitude of origin of coordinates (Jupiter's pole)
16	G'	$31^\circ 97' 852 80244 + β_{16}$	$3, 34597 33896 \times 10^{-2} (1 + ε_{28})$	Mean anomaly of Saturn
17	G	$30^\circ 37' 841 20168 + β_{17} + δG^\dagger$	$8, 30912 15712 \times 10^{-2} (1 + ε_{10})$	Mean anomaly of Jupiter
18	$φ_1$	$172^\circ 84 (1 - 0, 014 ε_{20}) + β_{18}$	0	{ Phase angle occurring in solar (A/R) ³ with angle $2G' - G$
19	$φ_2$	$47^\circ 03 (1 - 0, 156 ε_{20}) + β_{19}$	0	{ Phase angle occurring in solar (A/R) ³ with angle $5G' - 2G$
20	$φ_3$	$259^\circ 18 + β_{20}$	0	{ Phase angle occurring in solar (A/R) ³ with angle $G' - G$
21	$φ_4$	$157^\circ 12 (1 + 0, 0014 ε_{20}) + β_{21}$	0	{ Phase angle occurring in solar (A/R) ³ with angle $2G' - 2G$
22	n_J	$99^\circ 95' 326 + β_{22}$	0	Longitude of ascending node of Jupiter's orbit

Notes: *All parameters β are measured in degrees. Nominal values are $β = 0$
 † $δG = 0^\circ 03' 439 \sin(2G' - G + 0^\circ 76699) + 0^\circ 33' 033 \sin(5G' - 2G - 0, 0227694694 t_y + 64^\circ 26' 288)$ where $t_y = (JD - 2443000, 5)/365, 25$

a) La mise en équations

Les observations photographiques nous fournissent, pour chaque cliché deux coordonnées X et Y, pour chaque satellite. Ces coordonnées sont également fournies par le calcul et on posera : X observé - X calculé = (O-C) X et de même en Y. Calculant les dérivées partielles de ces quantités par rapport aux ε et aux β , on obtient, pour chaque observation, les huit relations suivantes, du type de la relation (3) :

$$(6) \left\{ \begin{array}{l} (O-C) X_j^i = \sum_{k=1}^{28} \frac{\partial X_j^i}{\partial \varepsilon_k} \Delta \varepsilon_k + \sum_{k'=1}^{22} \frac{\partial X_j^i}{\partial \beta_{k'}} \Delta \beta_{k'} \\ (O-C) Y_j^i = \sum_{k=1}^{28} \frac{\partial Y_j^i}{\partial \varepsilon_k} \Delta \varepsilon_k + \sum_{k'=1}^{22} \frac{\partial Y_j^i}{\partial \beta_{k'}} \Delta \beta_{k'} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{avec } j \text{ de } 1 \text{ à } 4 \\ \text{pour l'observation } i \end{array}$$

les $\Delta \varepsilon_k$ et les $\Delta \beta_{k'}$ étant les corrections à apporter aux ε et β utilisés dans l'éphéméride qui a servi à déterminer les éléments calculés.

Ce système de 8 N équations (si l'on dispose de N observations) à 50 inconnues $\Delta \varepsilon_k$ et $\Delta \beta_{k'}$ représente le système aux équations de condition. On verra que les $\Delta \varepsilon_k$ et $\Delta \beta_{k'}$ sont suffisamment petits pour justifier la linéarité du système (6). De toute façon, on effectuera une ou plusieurs itérations si nécessaire pour vérifier la convergence de la solution.

Nous avons vu, dans notre étude des observations photographiques, que seules les observations récentes effectuées par Pascu permettaient l'utilisation de la planète Jupiter comme origine fiable. Pour les autres, l'origine est soit arbitraire, soit sans intérêt pour nos besoins. Etant donné que les X et Y calculés le sont par rapport au centre de Jupiter, il faut éliminer ce problème d'origine en considérant les satellites les uns par rapport aux autres. Pour cela, on ajoute, pour chaque observation et chaque composante une équation dite "équation en i", (Arlot, 1972 et Levallois 1976 p. 178) qui éliminera l'incertitude sur l'origine lors du traitement du système par la méthode des moindres carrés. Cette technique n'affecte pas le poids de chaque équation, quel que soit le nombre de satellites observés sur un cliché.

Quel poids donner à chaque observation ? Il est normal que les meilleures observations bénéficient d'un poids plus grand. Il faut cependant remarquer a priori une chose très importante : la quantité observée est

une distance angulaire entre 2 corps célestes. Cette distance n'est pas mesurée en secondes d'arc sur le ciel mais en μm sur une plaque photographique. La qualité de la mesure étant théoriquement la même, on obtiendra plus de précision en mesurant des distances importantes. Cela revient dans un premier temps à pondérer les observations par la distance focale de l'instrument utilisé, c'est-à-dire écrire les équations de condition en unités observées (le μm) et non en secondes d'arc. Dans un deuxième temps, il faut tenir compte des défauts inhérents à chaque série (provenant des problèmes liés à la réduction, à la mesure ou à la qualité d'observation) qui se manifestent dans l'écart-type de la série. Dans un troisième temps, on peut également modifier la pondération afin de privilégier certaines séries d'observations selon l'époque où elles ont été effectuées (on obtiendra alors des constantes permettant des éphémérides de meilleure qualité pour les périodes proches des dates des séries favorisées). La table n° 21 donne les valeurs des distances focales modifiées ayant servi pour la pondération ainsi que le poids de chaque série en pourcentage sur l'ensemble.

b) La résolution des équations

On dispose de 1138 observations relatives entre satellites et de 468 observations rapportées à la planète. La méthode dite "de l'équation en i " ajoute 2 équations pour chaque observation relative. On a donc :

$$[(8+2) \times 1138] + [8 \times 468] = 15124 \text{ équations pour } 50 \text{ inconnues.}$$

Parmi ces 50 inconnues, toutes ne sont pas déterminables à l'aide des observations dont nous disposons. Tout d'abord le paramètre β_3 (correction à la longitude à l'origine du satellite 3) est fonction de β_1 et β_2 . On a :

$$(7) \quad \beta_3 = -1/2 \beta_1 + 3/2 \beta_2$$

du fait de la célèbre relation entre les longitudes moyennes :

$$(8) \quad l_1 - 3 l_2 + 2 l_3 = 180^\circ$$

On n'a donc plus que 49 inconnues à déterminer. Cependant certaines constantes sont bien connues grâce à des méthodes autres que l'observation directe des satellites galiléens et ne nécessiteront pas de correction. Ces constantes sont les suivantes :

- les constantes physiques déduites des observations spatiales :

SERIES D ' OBSERVATIONS		distance focale			poids en % de chaque série par rapport à l'ensemble après pondération
		réelle utilisée pour chaque cliché	point moyen	de pondération pour chaque cliché	
Helsingfors	1891	3,4 m	4,2 m	2,1 m	0,5
Helsingfors/Pulkovo	1892-1910	3,4 m	4,2 m	3,4 m	9,7
Le Cap	1913	6,9 m	10,4 m	6,9 m	2,8
Le Cap	1914-1915	6,9 m	10,4 m	4,6 m	6,8
Greenwich	1916-1917	6,9 m	10,4 m	6,9 m	4,0
Zô-Sé	1917-1918	7,1 m	2,1 m	2,1 m	0,4
Greenwich	1918-1919	6,9 m	10,4 m	4,6 m	3,8
Leiden	1922	5,2 m	7,8 m	5,2 m	1,2
Le Cap	1924	6,9 m	10,4 m	4,6 m	3,7
Yale South	1927-1928	10,9 m	16,4 m	8,3 m	5,4
Bucarest	1934	6,1 m		6,1 m	2,8
Paris	1936	3,4 m		3,4 m	0,7
Yerkes	1961-1963	2,3 m	2,3 m	2,3 m	0,8
Nicolaiev	1962-1974	2,5 m		2,5 m	1,7
Bordeaux	1966-1974	3,4 m		3,4 m	4,8
Mc Cormick	1967-1968	9,9 m		9,9 m	8,1
Washington	1973-1978	9,9 m		9,9 m	31,9
Mc Cormick	1977-1978	9,9 m		9,9 m	9,3
Rio de Janeiro	1977	1,0 m		1,0 m	0,1
Uccle	1977-1978	2,0 m		2,0 m	0,7
La Silla	1978	4,0 m		4,0 m	0,8

Table n° 21

les masses des satellites, de Jupiter, du Soleil, les J_2 , J_4 , rayon et période de rotation autour de Jupiter, l'inclinaison de l'orbite de Jupiter sur l'équateur et la longitude de l'origine des coordonnées sur Jupiter. Ces constantes correspondent aux paramètres de correction ϵ_1 à ϵ_5 , ϵ_{11} à ϵ_{14} , ϵ_{25} et β_{15} . Nous utiliserons sans les modifier les valeurs données par Null (1976) et décrites ci-après :

- les éléments liés aux éphémérides des planètes : le moyen mouvement de Jupiter, l'excentricité de son orbite, l'inclinaison de cette orbite sur l'écliptique, la longitude de son périhélie, son anomalie moyenne, des angles de phase intervenant dans les termes solaires en $(A/R)^3$ (voir table n° 20) et la longitude du noeud ascendant de l'orbite de Jupiter. Ces constantes correspondent à ϵ_{10} , ϵ_{20} , ϵ_{26} , β_{10} et β_{17} à β_{22} . Nous utiliserons sans les modifier les valeurs déduites de l'éphéméride DE96 du J. P. L. (Standish et al. 1976, Lieske 1978).

- les éléments dont on conservera la valeur prise par Sampson dans sa théorie et adoptée par l'UAI. Ce sont les moments d'inertie de Jupiter (la quantité $3(C-A)/2C$), l'obliquité de l'écliptique, le moyen mouvement et l'anomalie moyenne de Saturne. Ces constantes correspondent à ϵ_{15} , ϵ_{27} , ϵ_{28} et β_{16} .

Ainsi, sur les 49 inconnues, 25 seront considérées comme connues a priori. Il restera ainsi 24 inconnues à déterminer.

Nous ne rentrerons pas dans le détail du calcul pour la résolution du système. Notons cependant l'attention qu'il faut porter à la corrélation, entre les inconnues introduites simultanément. D'autre part, la méthode des moindres carrés utilisée exige une certaine commensurabilité entre les valeurs des inconnues à déterminer. Le cheminement suivi pour arriver à une solution définitive a été le suivant. Tout d'abord, des essais divers ont été effectués avec différents groupes d'inconnues et différents ensembles d'observations pour avoir une idée de l'importance des corrections à effectuer et de la corrélation entre les inconnues introduites. Une première approximation des valeurs des plus grosses corrections a été déterminée dans un premier temps (les β) puis une itération a été faite pour calculer la



valeur de l'ensemble des 24 inconnues à déterminer. Des itérations supplémentaires se sont avérées inutiles. Le point de départ a été les valeurs de l'éphéméride E-1. Des essais ont été effectués avec ou sans utilisation de la position de Jupiter déduite des observations de Pasco : les résultats sont très semblables, mais l'utilisation de cette position, qui peut permettre une diminution de l'erreur sur le résultat final, apporte de toute façon une information supplémentaire et diminue la corrélation entre les erreurs des différents satellites.

Ajoutons que des modifications dans la pondération des différentes séries d'observations ne modifient pas énormément les résultats.

c) Les résultats

La table n° 22 donne les valeurs obtenues pour les constantes ϵ et β qui pourront servir à la construction d'éphémérides.

Nous ne donnerons que quelques solutions obtenues ainsi : il s'agit de solutions finales et non de solutions intermédiaires et ce qui les différencie, ce sont les observations utilisées pour l'ajustement.

La table n° 22 présente les 4 ensembles décrits ci-après de constantes ϵ et β avec les erreurs probables sur les valeurs (cf annexe A).

- G-5 : les observations sont pondérées de la manière indiquée précédemment (cf table n° 21) et la référence à Jupiter corrigée de la phase réelle est utilisée pour les observations de Pasco (1967 à 1978).

- G-2 : la différence avec G-5 réside dans la pondération des observations, le poids des observations anciennes est divisé par 2 et celui des observations dites "de De Sitter" est divisé par 1,5.

- G-3 : la pondération des observations est la même que pour G-2 mais la référence à Jupiter n'est pas utilisée pour les observations de Pasco ; toutes les observations sont utilisées en positions "intersatellites".

- G-4 : dans ce cas, seules les observations de Pasco (1967 à 1978) ont été utilisées, et seulement en positions "intersatellites".

On a ainsi une variété de solutions possibles qui sont cependant toutes assez proches les unes des autres. On peut seulement remarquer que les erreurs sur les résultats sont plus importantes pour G-4, en effet, on a

ϵ	β
$(\epsilon_1 = +0.041590 \pm 0.0098)$	$\beta_1 = +0.046245 \pm 0.004819$
$(\epsilon_2 = -0.002461 \pm 0.0200)$	$\beta_2 = -0.014445 \pm 0.000877$
$(\epsilon_3 = -0.023189 \pm 0.0076)$	—
$(\epsilon_4 = +0.256938 \pm 0.0084)$	$\beta_4 = -0.066536 \pm 0.000443$
$(\epsilon_5 = (+2.067082138 \pm 0.095) \cdot 10^{-4})$	$\beta_5 = +182.797225 \pm 0.005084$
$(\epsilon_6 = (-0.1835945 \pm 0.08513) \cdot 10^{-8})$	$\beta_6 = +62.231560 \pm 7.608520$
$(\epsilon_7 = (+1.1054947 \pm 0.05523) \cdot 10^{-8})$	$\beta_7 = +86.403965 \pm 4.320290$
$(\epsilon_8 = (-5.5560148 \pm 0.15354) \cdot 10^{-8})$	$\beta_8 = +14.181513 \pm 0.236000$
$(\epsilon_9 = (+14.9959 \pm 0.86918) \cdot 10^{-4})$	$\beta_9 = -0.747260 \pm 0.028121$
$(\epsilon_{10} = (+0.1620 \pm 0.063) \cdot 10^{-4})$	$(\beta_{10} = +0.166755 \pm 0.05)$
$(\epsilon_{11} = -0.007778 \pm 0.00054)$	$\beta_{11} = +60.834877 \pm 3.490252$
$(\epsilon_{12} = -0.275934 \pm 0.024)$	$\beta_{12} = +6.075500 \pm 0.125467$
$(\epsilon_{13} = -0.000308 \pm 0.0006)$	$\beta_{13} = -5.450563 \pm 0.210661$
$(\epsilon_{14} = (+0.0960 \pm 2.80) \cdot 10^{-4})$	$\beta_{14} = +4.903778 \pm 0.077832$
$(\epsilon_{15} = 0.0 \pm 0.15)$	$(\beta_{15} = -0.233589 \pm 0.19)$
$\epsilon_{16} = -0.473172 \pm 0.098801$	$(\beta_{16} = 0.0 \pm 0.4)$
$\epsilon_{17} = +0.463707 \pm 0.108628$	$(\beta_{17} = -0.140391 \pm 0.03)$
$\epsilon_{18} = -0.043680 \pm 0.004671$	$(\beta_{18} = +15.610 \pm 3.1)$
$\epsilon_{19} = -0.003586 \pm 0.000542$	$(\beta_{19} = +5.135 \pm 4.2)$
$(\epsilon_{20} = +0.002781 \pm 0.0005)$	$(\beta_{20} = -1.719 \pm 2.1)$
$\epsilon_{21} = +0.492066 \pm 0.060640$	$(\beta_{21} = -7.784 \pm 1.8)$
$\epsilon_{22} = -0.006578 \pm 0.002110$	$(\beta_{22} = +0.04428 \pm 0.007)$
$\epsilon_{23} = +0.050194 \pm 0.003248$	
$\epsilon_{24} = -0.070668 \pm 0.001315$	
$(\epsilon_{25} = +0.005384 \pm 0.011)$	
$(\epsilon_{26} = -0.000133 \pm 0.00011)$	
$(\epsilon_{27} = (0.0 \pm 0.0047) \cdot 10^{-4})$	
$(\epsilon_{28} = (0.0 \pm 0.0010) \cdot 10^{-4})$	

G-5

ϵ	β
$(\epsilon_1 = +0.041590 \pm 0.0098)$	$\beta_1 = +0.059147 \pm 0.005488$
$(\epsilon_2 = -0.002461 \pm 0.0200)$	$\beta_2 = -0.013241 \pm 0.000937$
$(\epsilon_3 = -0.023189 \pm 0.0076)$	—
$(\epsilon_4 = +0.256938 \pm 0.0084)$	$\beta_4 = -0.067768 \pm 0.000452$
$(\epsilon_5 = (+2.067082138 \pm 0.095) \cdot 10^{-4})$	$\beta_5 = +182.800172 \pm 0.005717$
$(\epsilon_6 = (-0.1704762 \pm 0.11650) \cdot 10^{-8})$	$\beta_6 = +48.944147 \pm 8.922294$
$(\epsilon_7 = (+1.2641094 \pm 0.07964) \cdot 10^{-8})$	$\beta_7 = +99.448605 \pm 4.768864$
$(\epsilon_8 = (-6.5158160 \pm 0.22191) \cdot 10^{-8})$	$\beta_8 = +14.449649 \pm 0.257828$
$(\epsilon_9 = (+14.2116 \pm 0.94755) \cdot 10^{-4})$	$\beta_9 = -0.769829 \pm 0.030237$
$(\epsilon_{10} = (+0.1620 \pm 0.063) \cdot 10^{-4})$	$(\beta_{10} = +0.166755 \pm 0.05)$
$(\epsilon_{11} = -0.007778 \pm 0.00054)$	$\beta_{11} = +59.633027 \pm 3.684608$
$(\epsilon_{12} = -0.275934 \pm 0.024)$	$\beta_{12} = +6.120928 \pm 0.131913$
$(\epsilon_{13} = -0.000308 \pm 0.0006)$	$\beta_{13} = -5.333906 \pm 0.224531$
$(\epsilon_{14} = (+0.0960 \pm 2.80) \cdot 10^{-4})$	$\beta_{14} = +4.731156 \pm 0.082139$
$(\epsilon_{15} = 0.0 \pm 0.15)$	$(\beta_{15} = -0.233589 \pm 0.19)$
$\epsilon_{16} = -0.145653 \pm 0.107160$	$(\beta_{16} = 0.0 \pm 0.4)$
$\epsilon_{17} = +1.188700 \pm 0.124381$	$(\beta_{17} = -0.140391 \pm 0.03)$
$\epsilon_{18} = -0.030840 \pm 0.005260$	$(\beta_{18} = +15.610 \pm 3.1)$
$\epsilon_{19} = -0.004508 \pm 0.000620$	$(\beta_{19} = +5.135 \pm 4.2)$
$(\epsilon_{20} = +0.002781 \pm 0.0005)$	$(\beta_{20} = -1.719 \pm 2.1)$
$\epsilon_{21} = +0.498149 \pm 0.063406$	$(\beta_{21} = -7.784 \pm 1.8)$
$\epsilon_{22} = -0.007179 \pm 0.002208$	$(\beta_{22} = +0.04428 \pm 0.007)$
$\epsilon_{23} = +0.049137 \pm 0.003406$	
$\epsilon_{24} = -0.067695 \pm 0.001384$	
$(\epsilon_{25} = +0.005384 \pm 0.011)$	
$(\epsilon_{26} = -0.000133 \pm 0.00011)$	
$(\epsilon_{27} = (0.0 \pm 0.0047) \cdot 10^{-4})$	
$(\epsilon_{28} = (0.0 \pm 0.0010) \cdot 10^{-4})$	

G-2

ϵ	β
$(\epsilon_1 = +0.041590 \pm 0.0098)$	$\beta_1 = +0.049580 \pm 0.004898$
$(\epsilon_2 = -0.002461 \pm 0.0200)$	$\beta_2 = -0.014273 \pm 0.000840$
$(\epsilon_3 = -0.023189 \pm 0.0076)$	—
$(\epsilon_4 = +0.256938 \pm 0.0084)$	$\beta_4 = -0.067692 \pm 0.000419$
$(\epsilon_5 = (+2.067082138 \pm 0.095) \cdot 10^{-4})$	$\beta_5 = +182.798978 \pm 0.005222$
$(\epsilon_6 = (-0.3100180 \pm 0.09769) \cdot 10^{-8})$	$\beta_6 = +49.481997 \pm 8.097655$
$(\epsilon_7 = (+1.1952936 \pm 0.06634) \cdot 10^{-8})$	$\beta_7 = +95.351813 \pm 4.395988$
$(\epsilon_8 = (-6.3816310 \pm 0.18634) \cdot 10^{-8})$	$\beta_8 = +14.628267 \pm 0.252045$
$(\epsilon_9 = (+13.8789 \pm 0.84552) \cdot 10^{-4})$	$\beta_9 = -0.729086 \pm 0.031189$
$(\epsilon_{10} = (+0.1620 \pm 0.063) \cdot 10^{-4})$	$(\beta_{10} = +0.166755 \pm 0.05)$
$(\epsilon_{11} = -0.007778 \pm 0.00054)$	$\beta_{11} = +59.264339 \pm 3.357772$
$(\epsilon_{12} = -0.275934 \pm 0.024)$	$\beta_{12} = +6.111692 \pm 0.120512$
$(\epsilon_{13} = -0.000308 \pm 0.0006)$	$\beta_{13} = -5.450972 \pm 0.203769$
$(\epsilon_{14} = (+0.0960 \pm 2.80) \cdot 10^{-4})$	$\beta_{14} = +4.818331 \pm 0.074783$
$(\epsilon_{15} = 0.0 \pm 0.15)$	$(\beta_{15} = -0.233589 \pm 0.19)$
$\epsilon_{16} = -0.410968 \pm 0.098962$	$(\beta_{16} = 0.0 \pm 0.4)$
$\epsilon_{17} = +0.999242 \pm 0.112174$	$(\beta_{17} = -0.140391 \pm 0.03)$
$\epsilon_{18} = -0.048585 \pm 0.004891$	$(\beta_{18} = +15.610 \pm 3.1)$
$\epsilon_{19} = -0.001903 \pm 0.000595$	$(\beta_{19} = +5.135 \pm 4.2)$
$(\epsilon_{20} = +0.002781 \pm 0.0005)$	$(\beta_{20} = -1.719 \pm 2.1)$
$\epsilon_{21} = +0.588599 \pm 0.058711$	$(\beta_{21} = -7.784 \pm 1.8)$
$\epsilon_{22} = -0.006373 \pm 0.002034$	$(\beta_{22} = +0.04428 \pm 0.007)$
$\epsilon_{23} = +0.040115 \pm 0.003114$	
$\epsilon_{24} = -0.060322 \pm 0.001285$	
$(\epsilon_{25} = +0.005384 \pm 0.011)$	
$(\epsilon_{26} = -0.000133 \pm 0.00011)$	
$(\epsilon_{27} = (0.0 \pm 0.0047) \cdot 10^{-4})$	
$(\epsilon_{28} = (0.0 \pm 0.0010) \cdot 10^{-4})$	

G-3

ϵ	β
$(\epsilon_1 = +0.041590 \pm 0.0098)$	$\beta_1 = +0.063625 \pm 0.006217$
$(\epsilon_2 = -0.002461 \pm 0.0200)$	$\beta_2 = -0.016594 \pm 0.001078$
$(\epsilon_3 = -0.023189 \pm 0.0076)$	—
$(\epsilon_4 = +0.256938 \pm 0.0084)$	$\beta_4 = -0.066780 \pm 0.000580$
$(\epsilon_5 = (+2.067082138 \pm 0.095) \cdot 10^{-4})$	$\beta_5 = +182.799439 \pm 0.006158$
$(\epsilon_6 = (-0.7068219 \pm 0.76840) \cdot 10^{-8})$	$\beta_6 = +22.220168 \pm 10.579102$
$(\epsilon_7 = (-1.0694200 \pm 0.58156) \cdot 10^{-8})$	$\beta_7 = +94.042705 \pm 5.185657$
$(\epsilon_8 = (-8.0550310 \pm 1.79832) \cdot 10^{-8})$	$\beta_8 = +14.670357 \pm 0.318766$
$(\epsilon_9 = (+10.1593 \pm 1.25812) \cdot 10^{-4})$	$\beta_9 = -0.698018 \pm 0.038666$
$(\epsilon_{10} = (+0.1620 \pm 0.063) \cdot 10^{-4})$	$(\beta_{10} = +0.166755 \pm 0.05)$
$(\epsilon_{11} = -0.007778 \pm 0.00054)$	$\beta_{11} = +71.341813 \pm 3.810285$
$(\epsilon_{12} = -0.275934 \pm 0.024)$	$\beta_{12} = +5.248781 \pm 0.138641$
$(\epsilon_{13} = -0.000308 \pm 0.0006)$	$\beta_{13} = -6.176359 \pm 0.240337$
$(\epsilon_{14} = (+0.0960 \pm 2.80) \cdot 10^{-4})$	$\beta_{14} = +4.969623 \pm 0.084867$
$(\epsilon_{15} = 0.0 \pm 0.15)$	$(\beta_{15} = -0.233589 \pm 0.19)$
$\epsilon_{16} = -0.230575 \pm 0.135343$	$(\beta_{16} = 0.0 \pm 0.4)$
$\epsilon_{17} = +1.702710 \pm 0.158220$	$(\beta_{17} = -0.140391 \pm 0.03)$
$\epsilon_{18} = -0.068754 \pm 0.007647$	$(\beta_{18} = +15.610 \pm 3.1)$
$\epsilon_{19} = -0.002025 \pm 0.000907$	$(\beta_{19} = +5.135 \pm 4.2)$
$(\epsilon_{20} = +0.002781 \pm 0.0005)$	$(\beta_{20} = -1.719 \pm 2.1)$
$\epsilon_{21} = +0.561205 \pm 0.062759$	$(\beta_{21} = -7.784 \pm 1.8)$
$\epsilon_{22} = -0.006146 \pm 0.002237$	$(\beta_{22} = +0.04428 \pm 0.007)$
$\epsilon_{23} = +0.040164 \pm 0.003451$	
$\epsilon_{24} = -0.066341 \pm 0.001466$	
$(\epsilon_{25} = +0.005384 \pm 0.011)$	
$(\epsilon_{26} = -0.000133 \pm 0.00011)$	
$(\epsilon_{27} = (0.0 \pm 0.0047) \cdot 10^{-4})$	
$(\epsilon_{28} = (0.0 \pm 0.0010) \cdot 10^{-4})$	

G-4

Constantes pour la construction d'éphémérides
(les valeurs entre parenthèses n'ont pas été déterminées à partir
des observations données dans l'annexe B)

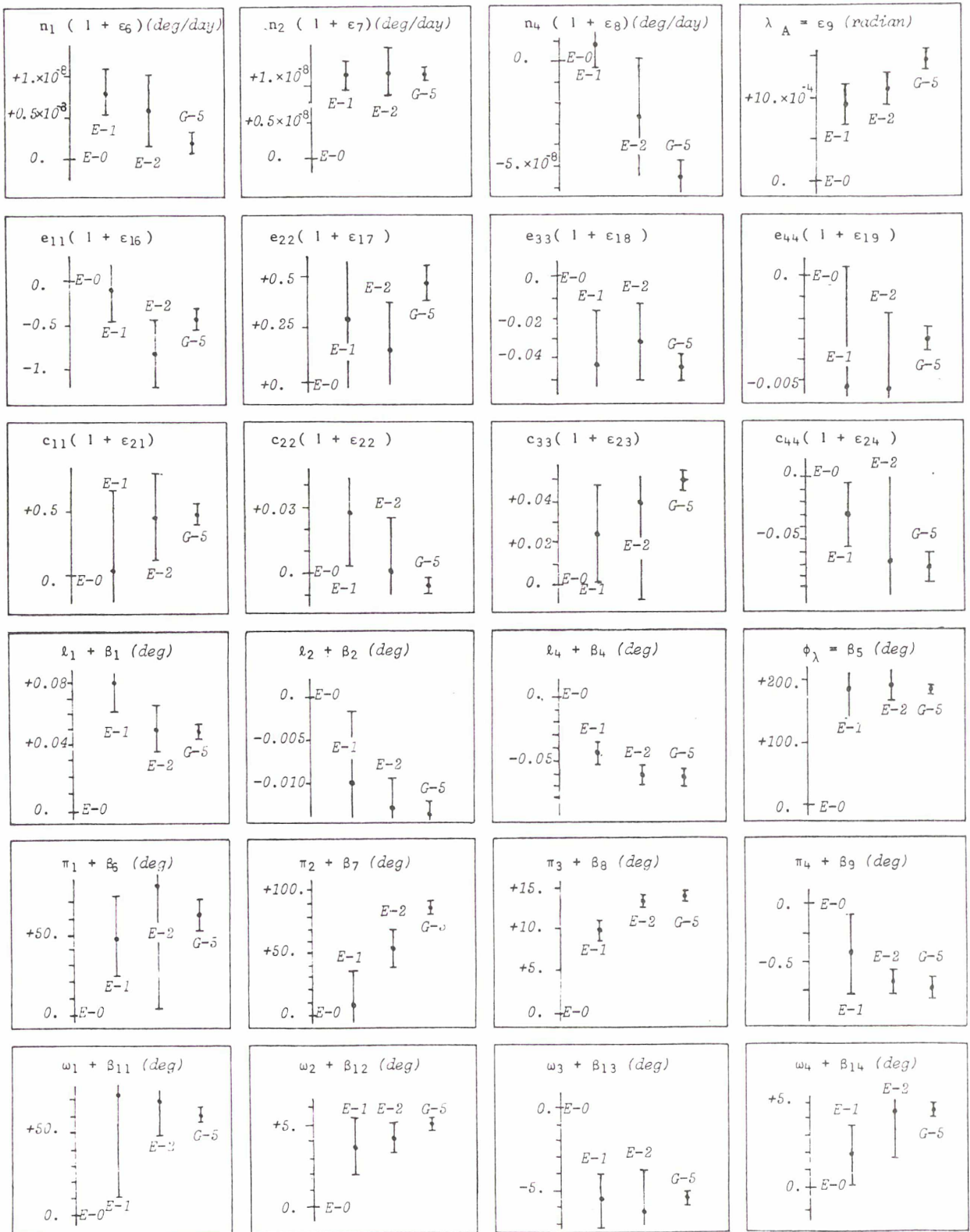


Figure n° 19

Valeurs comparées des ϵ et des β .

utilisé, pour G-4, un ensemble d'observations réparties sur un intervalle de temps assez court (11 ans) alors que pour G-2 , G-3 et G-5 , cet intervalle est de 87 ans . La figure n° 19 donne une comparaison graphique des valeurs G-5 avec celles de Sampson E-0 (Sampson 1921 et Lieske 1977) et E-1 et E-2 (Lieske 1978 et 1980) . La table n° 23 donne les corrélations entre les inconnues ϵ et β pour les solutions G-2 et G-3 (la définition des corrélations est donnée dans l'annexe A). La solution G-3 est celle effectuée avec des positions observées en distances "intersatellites" et la solution G-2 celle effectuée avec des positions observées en distances à Jupiter dans le cas des observations de Pascu. En général, les corrélations sont plus faibles dans le cas de la solution G-2. La table n° 24 donne les écarts-type "après solution", en μm (cf annexe A) pour les quatre satellites séparément ou ensemble et pour les deux composantes séparément ou ensemble. Ici, c'est la solution G-4 qui a les meilleures valeurs: en effet, seules les observations de Pascu ont été utilisées et ce sont les observations les moins entachées d'erreur. Cependant, cela ne prouve pas que l'éphéméride construite avec la solution G-4 serait meilleure sur un long intervalle de temps : elle ne serait meilleure que sur la période où ont été effectuées les observations (1967-1978).

	SAT 1	SAT 2	SAT 3	SAT 4	4 satellites	
G-5	X	4,3	4,4	4,6	5,3	4,7
	Y	4,0	4,4	5,0	6,0	4,9
	X & Y	4,2	4,3	4,8	5,6	4,8
G-2	X	4,3	4,3	4,6	5,3	4,6
	Y	4,0	4,3	5,0	6,0	4,9
	X & Y	4,2	4,3	4,8	5,6	4,8
G-3	X	3,9	3,4	4,0	4,2	3,9
	Y	3,5	3,6	3,6	4,8	3,9
	X & Y	3,6	3,5	3,8	4,5	3,9
G-4	X	3,3	3,1	3,5	4,6	3,6
	Y	3,9	3,4	3,8	4,3	3,8
	X & Y	3,6	3,2	3,6	4,4	3,7

Ecarts-type "après solution" en μm

Table n° 24

Solution G-2 (S/S + S/J)

Solution G-3 (S/S)

	β_1	β_2	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{11}	β_{12}	β_{13}	β_{14}
ϵ_6	+0.49	+0.55	-0.02	-0.07	-0.40	+0.03	-0.05	-0.02	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00
ϵ_7	+0.28	+0.50	-0.02	-0.05	-0.20	+0.02	+0.00	-0.02	+0.00	-0.00	-0.01	+0.00
ϵ_8	-0.01	-0.02	+0.49	+0.02	-0.01	-0.02	-0.08	+0.06	+0.00	-0.00	+0.00	+0.01
ϵ_9	+0.08	+0.08	+0.03	+0.10	-0.05	+0.12	-0.08	+0.02	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00
ϵ_{16}	+0.26	-0.11	-0.11	+0.30	-0.06	+0.29	+0.07	-0.01	-0.00	-0.01	+0.00	+0.00
ϵ_{17}	+0.32	+0.16	-0.03	-0.06	-0.20	+0.28	+0.04	-0.05	-0.00	+0.01	-0.00	+0.00
ϵ_{18}	+0.06	+0.13	-0.17	-0.04	+0.02	+0.04	-0.10	-0.04	-0.00	+0.00	+0.00	+0.00
ϵ_{19}	-0.02	-0.03	+0.02	+0.03	-0.03	-0.01	+0.00	-0.05	-0.00	-0.00	-0.00	+0.00
ϵ_{21}	+0.00	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00	+0.00	-0.00	+0.02	+0.01	-0.00	+0.00
ϵ_{22}	+0.00	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.00	-0.00	+0.02	-0.04	+0.01	-0.02
ϵ_{23}	-0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.01	+0.01	+0.04	+0.03
ϵ_{24}	+0.00	+0.00	+0.01	+0.00	-0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.01	-0.00	-0.08	-0.08

	β_1	β_2	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{11}	β_{12}	β_{13}	β_{14}
ϵ_6	+0.50	+0.56	-0.04	-0.07	-0.41	+0.05	-0.00	-0.06	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00
ϵ_7	+0.30	+0.52	-0.04	-0.04	-0.20	+0.04	+0.04	-0.06	-0.00	+0.00	-0.01	+0.00
ϵ_8	-0.02	-0.04	+0.05	+0.04	-0.00	-0.05	-0.10	+0.11	-0.00	-0.00	+0.00	+0.02
ϵ_9	+0.09	+0.11	-0.02	+0.07	-0.08	+0.14	+0.04	-0.06	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00
ϵ_{16}	+0.28	-0.09	-0.04	+0.29	-0.07	+0.32	+0.07	-0.01	-0.00	-0.01	+0.00	+0.00
ϵ_{17}	+0.27	+0.11	-0.02	-0.04	-0.15	+0.27	-0.07	+0.02	-0.00	+0.01	-0.00	-0.00
ϵ_{18}	+0.06	+0.10	+0.17	+0.01	+0.06	+0.07	-0.09	-0.11	-0.00	+0.00	+0.00	+0.00
ϵ_{19}	+0.01	+0.03	+0.01	+0.00	-0.11	+0.01	+0.13	-0.08	+0.00	+0.00	-0.00	+0.00
ϵ_{21}	+0.00	+0.00	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00	+0.00	-0.00	+0.01	+0.02	-0.02	-0.00
ϵ_{22}	+0.01	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.00	-0.00	+0.02	-0.05	+0.05	-0.01
ϵ_{23}	-0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00	-0.00	-0.01	+0.04	+0.04	+0.07
ϵ_{24}	+0.00	+0.00	+0.01	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.01	-0.00	-0.10	-0.09

Corrélations entre les constantes ϵ et les constantes β

	ϵ_6	ϵ_7	ϵ_8	ϵ_9	ϵ_{16}	ϵ_{17}	ϵ_{18}	ϵ_{19}	ϵ_{21}	ϵ_{22}	ϵ_{23}
ϵ_7	+0.76										
ϵ_8	-0.05	-0.04									
ϵ_9	+0.01	+0.02	-0.00								
ϵ_{16}	-0.19	-0.11	+0.00	+0.13							
ϵ_{17}	+0.13	+0.06	-0.02	-0.26	+0.25						
ϵ_{18}	+0.20	+0.15	-0.22	+0.05	-0.04	+0.06					
ϵ_{19}	-0.07	-0.04	+0.06	+0.04	-0.01	-0.10	-0.25				
ϵ_{21}	+0.00	+0.00	+0.00	+0.01	-0.00	-0.00	-0.00	+0.00			
ϵ_{22}	+0.00	+0.00	-0.00	+0.02	+0.01	-0.00	-0.00	+0.00	+0.01		
ϵ_{23}	-0.00	+0.00	+0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.00	+0.00	+0.01	-0.03	
ϵ_{24}	+0.00	-0.00	-0.02	-0.00	-0.00	+0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.02	-0.15

	ϵ_6	ϵ_7	ϵ_8	ϵ_9	ϵ_{16}	ϵ_{17}	ϵ_{18}	ϵ_{19}	ϵ_{21}	ϵ_{22}	ϵ_{23}
ϵ_7	+0.76										
ϵ_8	-0.06	-0.05									
ϵ_9	+0.03	+0.03	-0.01								
ϵ_{16}	-0.18	-0.09	-0.03	+0.05							
ϵ_{17}	+0.12	+0.05	-0.04	-0.28	+0.26						
ϵ_{18}	+0.18	+0.15	-0.25	-0.01	+0.11	+0.16					
ϵ_{19}	-0.06	-0.03	+0.09	+0.10	-0.10	-0.23	-0.40				
ϵ_{21}	+0.00	+0.00	+0.00	+0.01	-0.00	-0.00	-0.00	+0.00			
ϵ_{22}	+0.00	+0.00	-0.00	+0.02	+0.00	-0.00	+0.00	-0.00	+0.06		
ϵ_{23}	-0.00	+0.00	+0.00	-0.00	-0.00	-0.01	+0.00	+0.00	+0.05	-0.04	
ϵ_{24}	+0.00	-0.00	-0.02	-0.00	+0.00	+0.00	+0.00	-0.00	-0.04	+0.05	-0.21

Corrélations entre les constantes ϵ

	β_1	β_2	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{11}	β_{12}	β_{13}
β_2	+0.75										
β_4	-0.01	-0.02									
β_5	+0.11	+0.02	+0.02								
β_6	-0.90	-0.62	+0.00	-0.06							
β_7	+0.15	+0.06	-0.01	+0.24	-0.03						
β_8	+0.00	+0.03	-0.28	-0.03	-0.04	+0.00					
β_9	-0.02	-0.03	+0.15	+0.01	+0.02	-0.01	-0.09				
β_{11}	-0.00	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00	-0.00	-0.00	+0.00			
β_{12}	+0.01	+0.01	-0.00	-0.01	-0.01	+0.00	+0.00	-0.00	-0.03		
β_{13}	-0.01	-0.01	-0.00	-0.02	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	-0.00	-0.04	
β_{14}	+0.00	+0.00	+0.06	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00	-0.01	-0.00	-0.19

	β_1	β_2	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{11}	β_{12}	β_{13}
β_2	+0.74										
β_4	-0.04	-0.06									
β_5	+0.10	+0.01	+0.05								
β_6	-0.90	-0.61	+0.03	-0.05							
β_7	+0.20	+0.08	-0.08	+0.22	-0.09						
β_8	+0.09	+0.11	-0.32	-0.05	-0.12	+0.11					
β_9	-0.12	-0.12	+0.24	+0.04	+0.10	-0.16	-0.36				
β_{11}	-0.00	-0.00	+0.00	-0.01	+0.00	-0.00	-0.00	+0.00			
β_{12}	+0.01	+0.01	-0.00	-0.01	-0.01	+0.00	+0.00	-0.00	-0.07		
β_{13}	-0.00	-0.01	-0.00	-0.02	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	+0.03	-0.06	
β_{14}	+0.00	+0.00	+0.06	+0.01	-0.00	+0.00	-0.00	+0.00	-0.00	-0.01	-0.15

Corrélations entre les constantes β

CHAPITRE 7

CONSTRUCTION DE NOUVELLES EPHEMERIDES

Les constantes déterminées dans le chapitre précédent permettent de construire de nouvelles éphémérides. Nous allons effectuer des comparaisons avec les observations et avec d'autres éphémérides. Parmi les différents ensembles de constantes déterminés, nous avons choisi l'ensemble G-5 pour construire nos éphémérides. Le but est, en effet, d'obtenir des éphémérides précises sur un intervalle de temps le plus long possible. Pour une précision plus grande sur un intervalle de temps plus court, cela nécessiterait une étude à part.

I - Comparaison des éphémérides aux observations

a) Comparaison aux observations photographiques

Nous allons d'abord calculer les (O-C) en secondes d'arc et voir l'amélioration apportée, pour plusieurs séries d'observations. Ces (O-C) sont donnés pour les éphémérides SV2 et G-5 dans l'annexe B. Pour mieux apprécier leur valeur, nous allons donner quelques représentations graphiques.

La figure n° 20 montre pourquoi on a pu prendre en compte la position de Jupiter dans le cas des observations de Pasco où l'on disposait de la correction de phase réelle expliquée dans le chapitre 3. La série de Renz montrée sur la même figure donnait aussi une position pour Jupiter, mais la correction faite par Renz n'était pas suffisante et on a dû utiliser les positions intersatellites. Pour la plupart des autres séries, la position de Jupiter était inutilisable ou n'était pas donnée.

La figure n°21 (a) à (d) montre une comparaison des (O-C) obtenus avec les éphémérides SV2 et G-5. On a choisi les séries les plus représentatives (et les plus denses) et on donne les 2 composantes X et Y séparément, sauf

pour les séries dites "de De Sitter" pour lesquelles on ne disposait en majorité que de la composante X.

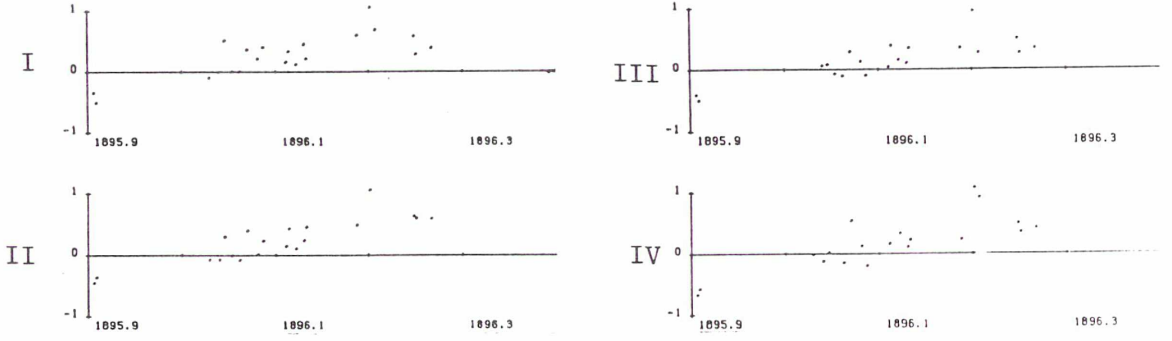
On constate bien évidemment une réduction des résidus quand on utilise les éphémérides G-5. Cette réduction est cependant la plus spectaculaire pour les séries récentes des années 1970 car Sampson avait ajusté ses tables sur des observations de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècle.

La figure n° 22 montre l'ensemble des (O-C), à l'exception de quelques séries de faible poids introduisant un bruit qui ne permet plus de voir la réduction des (O-C) (on y a tracé 1283 des 1606 points de l'annexe B mais ces 1283 points représentent en poids 92% des observations). Les (O-C) importants que l'on voit sur cette figure sont d'un poids très faible par rapport à l'ensemble. On trouvera les histogrammes des (O-C) calculés avec l'éphéméride G-5 dans l'annexe C.

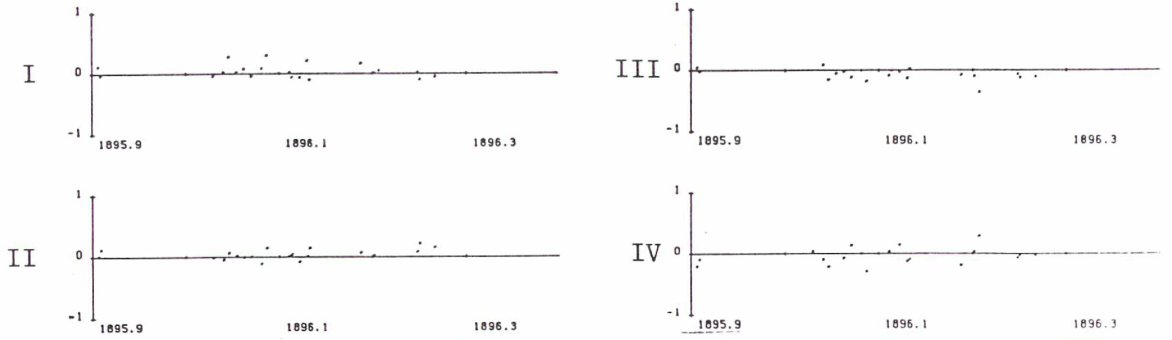
Un autre test de la qualité de nouvelles éphémérides, est le décalage en longitude, constaté pour chaque satellite lors d'une série d'observations (avance ou retard du satellite sur l'éphéméride). Cette erreur se traduit, pour une série d'observations, par un décalage moyen calculé en temps, δt . Nous avons calculé ces δt_α ($\alpha = 1$ à 4) pour différentes séries d'observations et avec diverses éphémérides. Cet effet en longitude est très important pour la prédiction des phénomènes et doit donc être aussi réduit que possible. Les tables n° 25 donnent les valeurs des δt_α pour la plupart des séries d'observations, pour les éphémérides SV2, G-5 et E-2. La table n° 26 donne les valeurs des δt_α sur des intervalles de temps assez longs et l'on se rend mieux compte du grand besoin que l'on avait de nouvelles constantes, surtout pour la période actuelle. Les figures n° 23 donnent une représentation graphique des corrections en longitude δt_α pour chaque série et on y voit nettement l'influence de termes de la longitude, non pris en compte par la théorie (exemple, longitude du satellite 4). L'intérêt des nouvelles éphémérides y est aussi tout à fait visible. Nous verrons cependant dans le paragraphe II ci-après, si nous avons des possibilités de déceler les causes de la non-concordance entre les observations et les éphémérides améliorées, causes observationnelles ou causes théoriques.

Renz 1895-96
(Pulkovo)

S/J brut

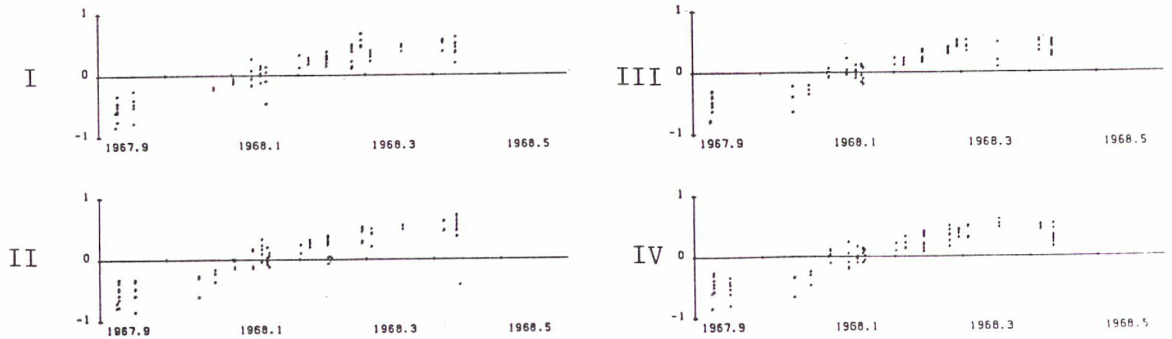


S/S

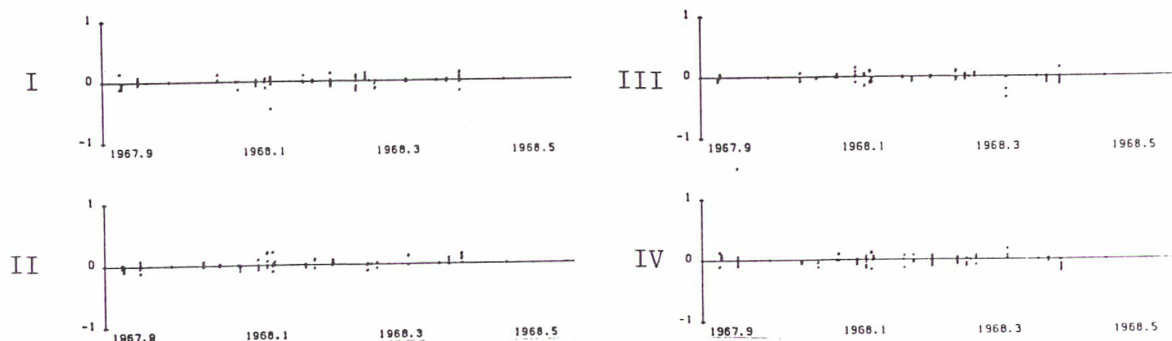


Pascu 1967-68
(Mc Cormick)

S/J brut



S/S



S/J corrigé

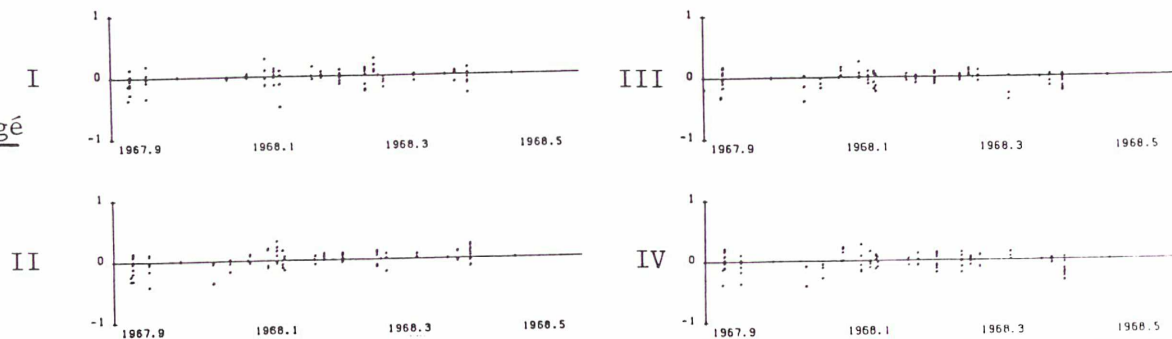
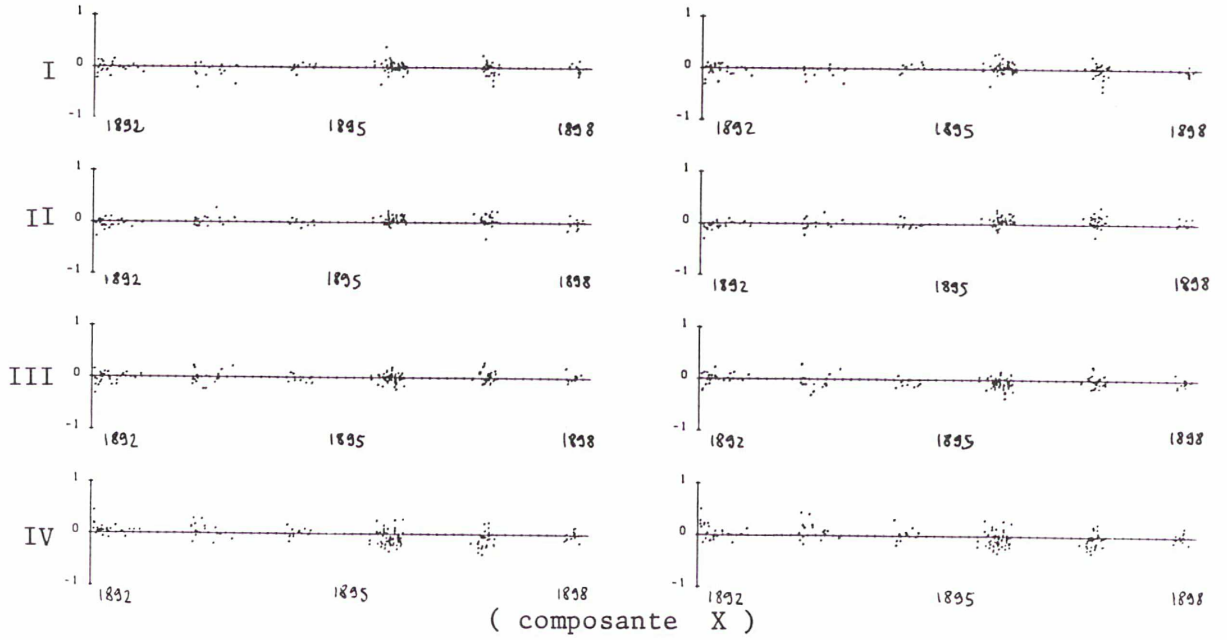


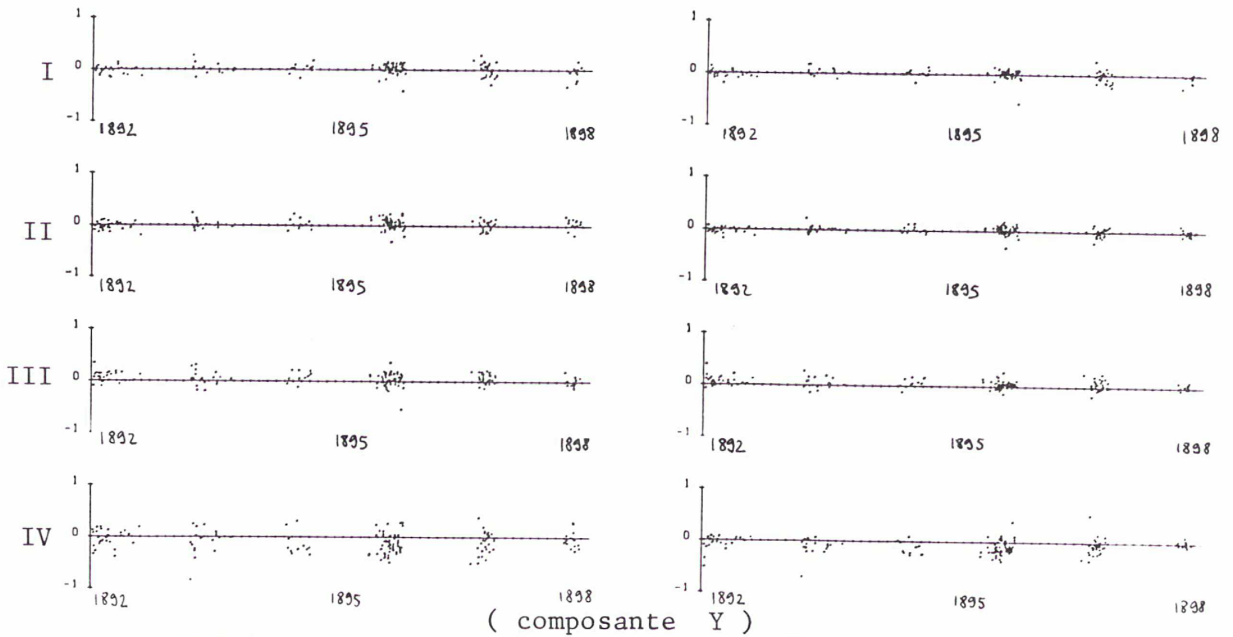
Figure n° 20

Observations anciennes 1892 à 1898 "S/S" (les (O-C) sont en secondes d'arc et rapportés au centre de gravité des satellites observés)
Distance focale pour ces observations = 3,4 m



Ephéméride SV2

Ephéméride G-5

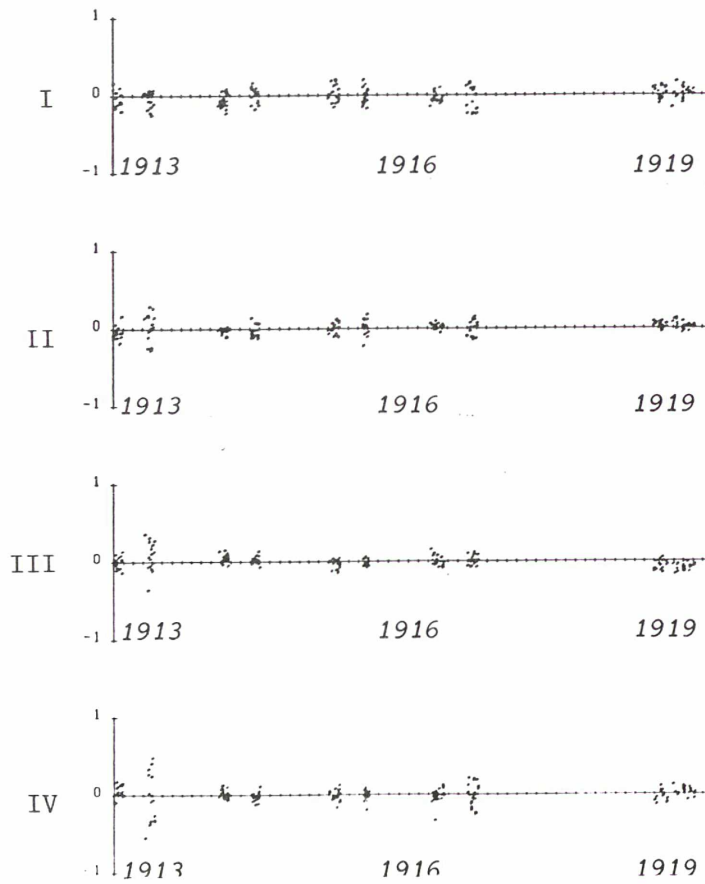


Ephéméride SV2

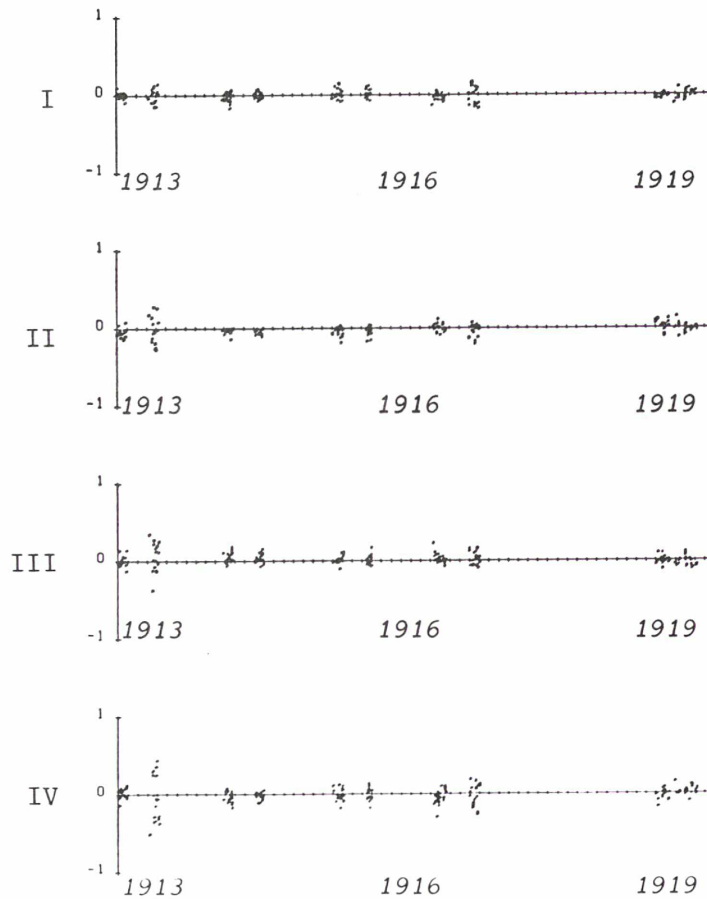
Ephéméride G-5

Figure n° 21-a)

Ephéméride SV2
(composante X)



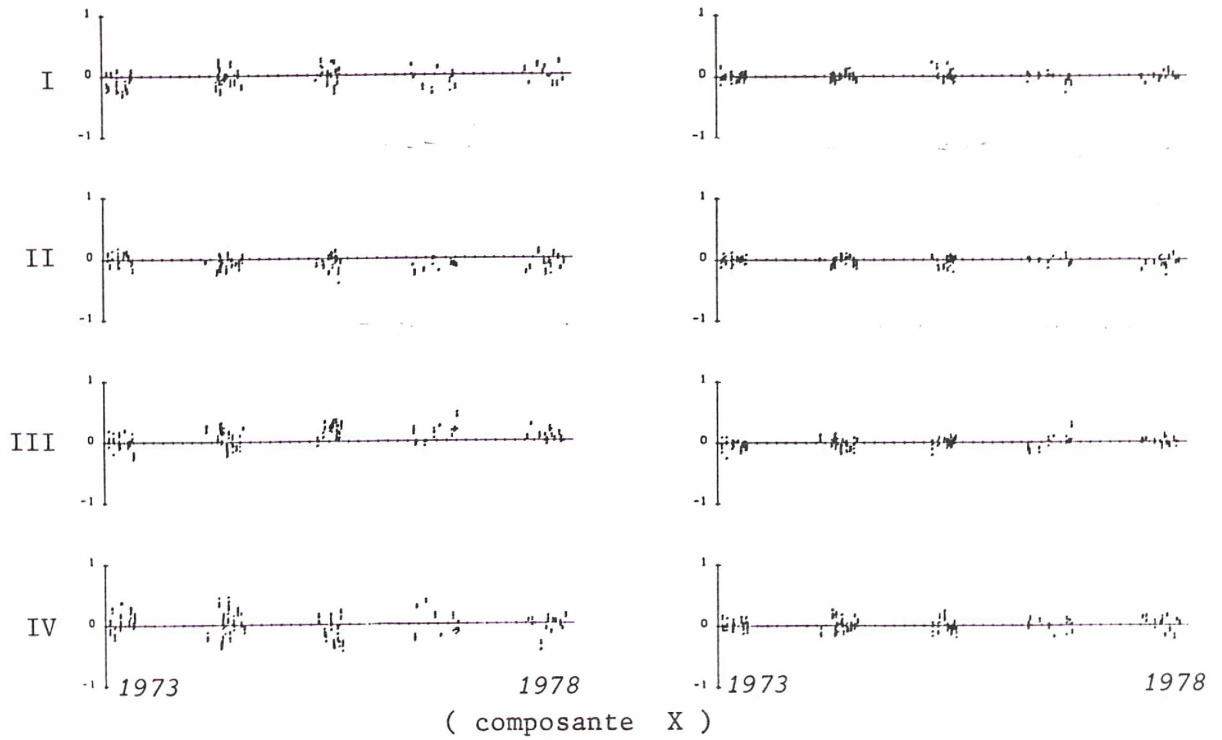
Ephéméride G-5
(composante X)



Observations dites " de De Sitter " , les (O-C) sont en secondes d'arc et rapportés au centre de gravité des satellites observés (S/S)
Distance focale pour ces observations = 6,9 m (Période 1913-1919)

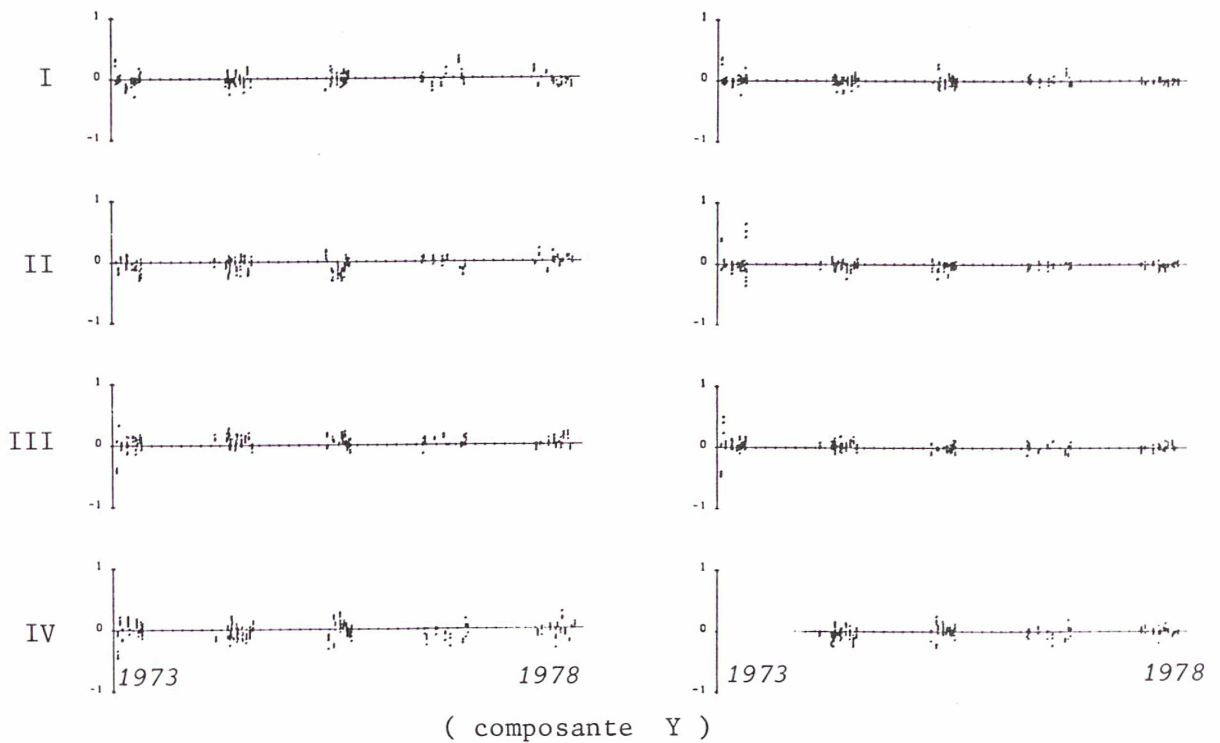
Figure n° 21-b)

Observations de Pasco (1973 à 1978) ; les (O-C) sont rapportés au centre de gravité des satellites observés (S/S) .
Distance focale pour ces observations = 9,9 m .



Ephéméride SV2

Ephéméride G-5

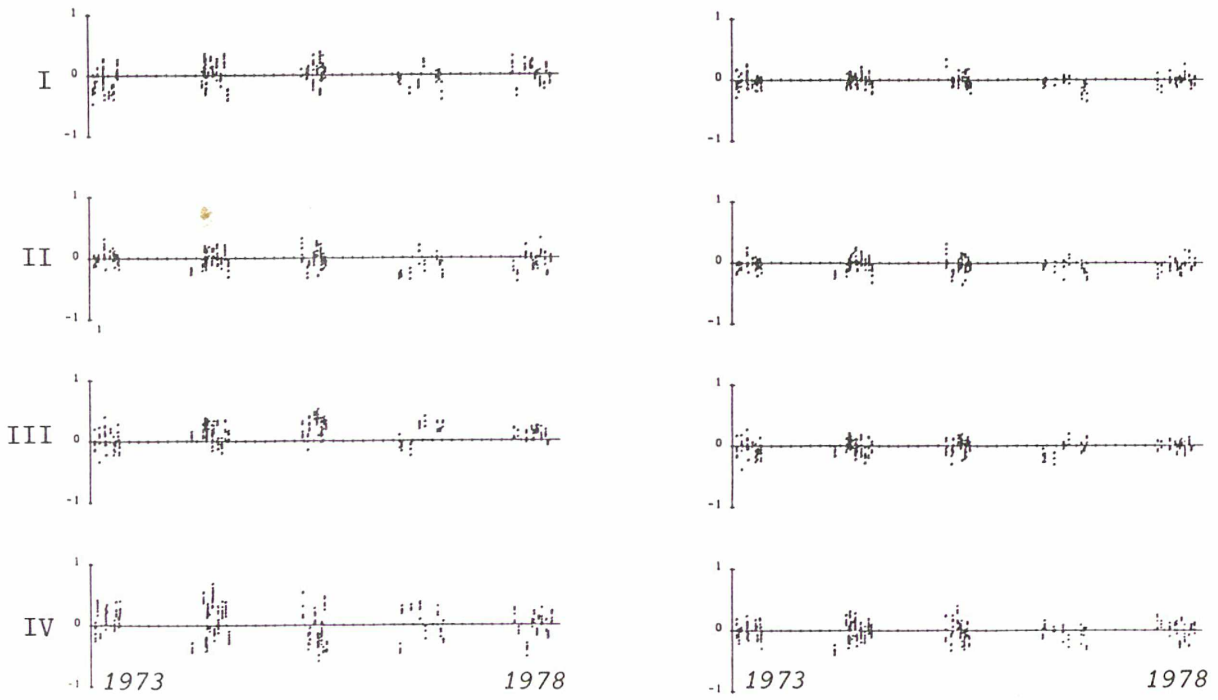


Ephéméride SV2

Ephéméride G-5

Figure n° 21-c)

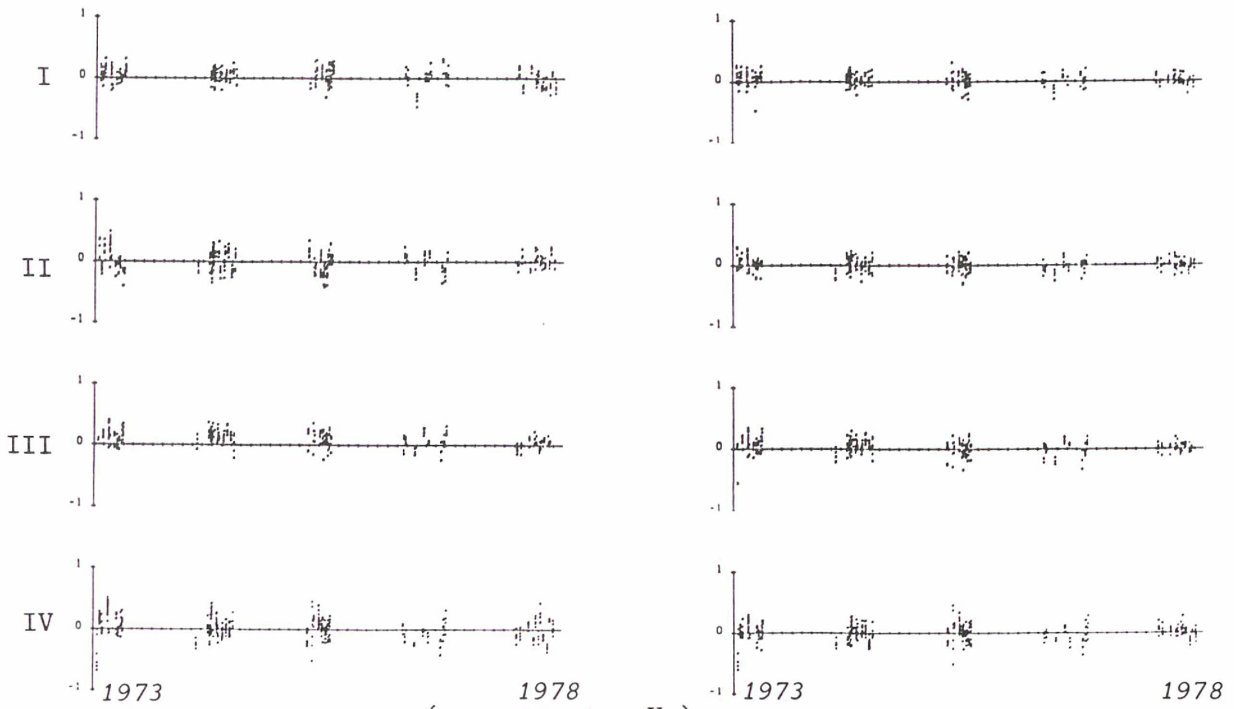
Observations de Pasco (1973 à 1978) ; les (O-C) sont rapportés au centre de la planète Jupiter observé, corrigé de l'effet de phase photographique réel (S/J) . Distance focale = 9,9 m .



(composante X)

Ephéméride SV2

Ephéméride G-5



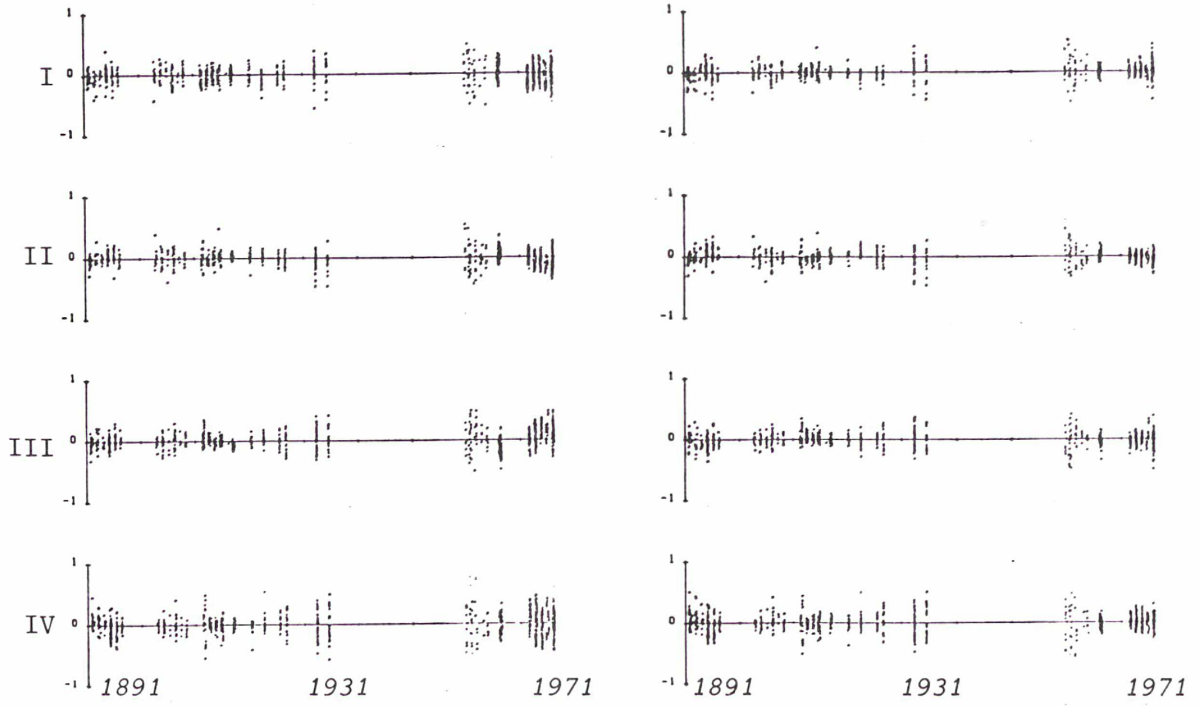
(composante Y)

Ephéméride SV2

Ephéméride G-5

Figure n° 21-d)

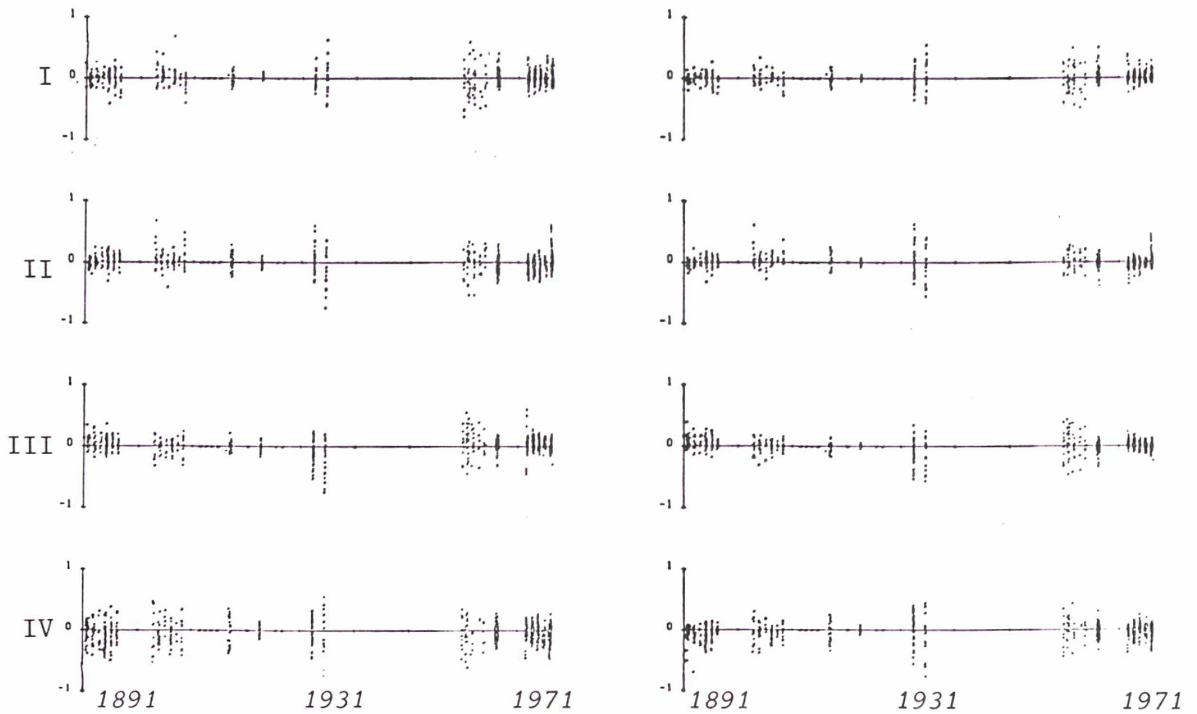
Observations en positions intersatellites "S/S": les (O-C) sont rapportés au centre de gravité des satellites observés. 92% des observations sont représentées ici.



(composante X)

Ephéméride SV2

Ephéméride G-5



(composante Y)

Ephéméride SV2

Ephéméride G-5

Figure n° 22

			δt_1	δt_2	δt_3	δt_4
Helsingfors 1891	E-2	-0.2	-0.0	-0.2	-0.3	
	G-5	-0.4	+0.1	+0.4	-1.5	
	SV2	-0.1	+0.1	+0.1	-0.6	
	error	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.7	
Helsingfors 1892/93	E-2	-0.1	+0.1	-0.1	-0.0	
	G-5	-0.3	-0.0	+0.5	-1.1	
	SV2	+0.1	+0.5	+0.0	-0.4	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	
Helsingfors 1893/94	E-2	+0.4	-0.3	-0.0	+0.2	
	G-5	+0.2	-0.3	+0.5	-0.9	
	SV2	+0.6	+0.2	+0.2	-0.3	
	error	± 0.1	± 0.2	± 0.2	± 0.2	
Helsingfors 1894/95	E-2	-0.0	-0.4	-0.0	+0.1	
	G-5	-0.3	-0.3	+0.5	-1.0	
	SV2	+0.2	-0.1	+0.1	-0.6	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.2	
Helsingfors 1895/96	E-2	+0.0	-0.3	+0.5	+0.1	
	G-5	-0.2	-0.2	+1.0	-1.0	
	SV2	+0.3	-0.1	+0.7	-0.5	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.2	
Pulkovo 1895/96	E-2	-0.0	-0.4	+0.2	-0.3	
	G-5	-0.3	-0.4	+0.8	-1.2	
	SV2	+0.2	-0.2	+0.4	-1.1	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	
Helsingfors 1897	E-2	-0.1	-0.3	-0.7	-0.1	
	G-5	-0.3	-0.3	-0.2	-1.2	
	SV2	-0.0	+0.1	-0.2	-0.8	
	error	± 0.1	± 0.2	± 0.2	± 0.3	
Pulkovo 1897	E-2	+0.0	-0.6	-0.3	+0.1	
	G-5	-0.2	-0.6	+0.3	-1.0	
	SV2	+0.2	-0.2	+0.1	-0.6	
	error	± 0.1	± 0.2	± 0.2	± 0.2	
Pulkovo 1898	E-2	+0.4	+0.2	-0.5	+0.7	
	G-5	+0.2	+0.1	+0.0	-0.4	
	SV2	+0.5	+0.6	+0.1	-0.1	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	

			δt_1	δt_2	δt_3	δt_4
Pulkovo 1904/05	E-2	+0.7	+0.5	+0.2	+1.2	
	G-5	+0.5	+0.4	+0.7	+0.2	
	SV2	+0.9	+1.0	+0.8	+0.2	
	error	± 0.2	± 0.2	± 0.3	± 0.3	
Pulkovo 1905/06	E-2	+0.3	+0.4	-0.5	+1.2	
	G-5	+0.1	+0.5	+0.0	+0.1	
	SV2	+0.5	+0.8	+0.3	-0.1	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.2	
Pulkovo 1906/07	E-2	+0.6	+1.4	-0.5	+0.2	
	G-5	+0.4	+1.6	-0.1	-0.7	
	SV2	+0.8	+1.7	+0.2	-0.8	
	error	± 0.3	± 0.3	± 0.3	± 0.5	
Pulkovo 1907/08	E-2	+0.7	+0.5	-0.2	+1.1	
	G-5	+0.5	+0.6	+0.3	+0.2	
	SV2	+1.0	+0.7	+0.6	-0.2	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	
Pulkovo 1909	E-2	-0.3	-0.4	-0.8	+0.1	
	G-5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	
	SV2	-0.2	+0.0	-0.1	-1.0	
	error	± 0.1	± 0.2	± 0.2	± 0.2	
Pulkovo 1910	E-2	+0.4	+0.3	+0.3	+1.1	
	G-5	+0.3	+0.2	+0.8	+0.2	
	SV2	+0.7	+0.8	+1.0	-0.0	
	error	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.2	

Tables n° 25 a) et b)

			δt_1	δt_2	δt_3	δt_4
Le Cap	1913	E-2	+0.2	+0.0	-0.8	+1.1
X only		G-5	-0.0	+0.1	-0.4	+0.3
		SV2	+0.5	+0.2	-0.1	-0.0
		erreur	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Le Cap	1914	E-2	+0.3	-0.1	-0.8	+1.1
X only		G-5	+0.2	-0.1	-0.4	+0.3
		SV2	+0.6	+0.2	+0.1	-0.1
		erreur	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0
Le Cap	1915	E-2	+0.4	+0.0	-0.7	+1.5
X only		G-5	+0.2	-0.0	-0.4	+0.6
		SV2	+0.6	+0.4	+0.2	+0.3
		erreur	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0
Greenwich	1916/17	E-2	+0.6	-0.0	-0.3	+1.6
X only		G-5	+0.4	+0.0	+0.0	+0.8
		SV2	+0.7	+0.3	+0.6	+0.4
		erreur	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Greenwich	1918/19	E-2	+0.1	-0.4	-0.6	+1.0
X & Y		G-5	-0.0	-0.4	-0.3	+0.3
		SV2	+0.4	-0.2	+0.4	-0.1
		erreur	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Leiden	1922	E-2	+0.3	+0.0	-0.7	+1.6
X only		G-5	+0.2	-0.0	-0.3	+0.9
		SV2	+0.6	+0.5	+0.1	+0.3
		erreur	± 0.0	± 0.0	± 0.1	± 0.1
Le Cap	1924	E-2	+0.6	-0.2	-1.1	+1.0
X & Y		G-5	+0.5	-0.1	-0.9	+0.4
		SV2	+0.9	+0.1	-0.0	-0.2
		erreur	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Yale South	1927	E-2	+0.3	-0.4	-0.5	+1.1
X only		G-5	+0.2	-0.6	-0.1	+0.5
		SV2	+0.7	+0.2	+0.2	-0.0
		erreur	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Yale South	1928	E-2	+0.3	-0.1	-0.7	+2.1
X only		G-5	+0.1	-0.1	-0.3	+0.5
		SV2	+0.6	+0.4	+0.2	+1.0
		erreur	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1

Soulié	1967	E-2	-0.3	-1.0	0.3	-0.8
		G-5	-0.3	-1.1	0.2	-0.8
		SV2	0.6	-0.5	0.4	0.4
		erreur	0.5	0.5	0.4	0.5
1968		E-2	1.1	-0.8	-0.6	-2.2
		G-5	1.1	-0.7	-0.6	-2.1
		SV2	1.6	-0.9	-0.1	-0.8
		erreur	0.3	0.4	0.5	0.7
1969		E-2	0.2	1.7	-2.1	2.4
		G-5	0.2	1.8	-1.9	2.4
		SV2	0.8	1.8	-3.2	3.3
		erreur	0.6	0.5	0.9	2.8
1970		E-2	-2.7	1.4	-1.1	-2.0
		G-5	-2.7	1.4	-0.9	-1.9
		SV2	-1.9	1.9	-2.6	-0.3
		erreur	0.3	0.5	0.5	0.5
1971		E-2	-1.1	-1.4	1.0	-0.2
		G-5	-1.1	-1.7	1.0	-0.0
		SV2	-0.2	-0.4	1.5	1.7
1972		E-2	1.3	0.3	0.4	0.3
		G-5	1.3	0.1	0.4	0.4
		SV2	2.2	1.0	0.3	2.0
		erreur	0.6	0.6	0.7	0.8
1973		E-2	0.9	1.1	1.7	-0.1
		G-5	0.9	1.1	1.7	0.1
		SV2	2.1	1.4	1.8	1.2
		erreur	1.2	1.0	1.1	1.5

			δt_1	δt_2	δt_3	δt_4
Debehogne	1977-78	E-2	0.4	-0.3	1.1	-0.6
		G-5	0.4	-0.3	1.0	-0.4
		SV2	1.2	0.2	0.9	1.6
		erreur	0.2	0.2	0.2	0.3
Gorel	1962-66	E-2	0.7	0.1	-1.3	-0.5
		G-5	0.7	0.1	-1.2	-0.5
		SV2	1.1	0.3	0.1	0.8
		erreur	0.1	0.2	0.2	0.3
Gorel	1973-74	E-2	0.0	-0.3	0.3	-1.0
		G-5	0.1	-0.2	0.2	-0.8
		SV2	0.8	-0.3	0.5	1.2
		erreur	0.1	0.2	0.2	0.2
Zô Sé	1917-18	E-2	1.7	1.5	0.1	-2.8
		G-5	1.5	1.6	0.5	-3.6
		SV2	1.9	1.8	0.9	-4.2
		erreur	0.3	0.3	0.4	0.9
Petrescu	1934	E-2	-0.2	-0.6	-0.7	1.0
		G-5	-0.3	-0.5	-0.5	0.4
		SV2	0.2	-0.2	+0.3	-0.0
		erreur	0.1	0.1	0.2	0.2
Petrescu	1936	E-2	0.9	-1.3	-1.2	2.1
		G-5	0.8	-1.3	-0.9	1.6
		SV2	1.2	-0.9	-0.5	1.3
		erreur	0.4	0.4	0.5	0.7
Van Biesbroek 1961-1963		E-2	-0.1	-0.2	0.4	0.7
		G-5	-0.1	-0.2	0.6	0.7
		SV2	0.7	0.3	-0.0	1.5
		erreur	0.4	0.5	0.5	0.7

			δt_1	δt_2	δt_3	δt_4
Pascu	1967/68	E-2	-0.1	-0.2	+0.3	+0.1
		G-5	-0.1	-0.2	+0.1	+0.0
		SV2	+0.7	-0.0	+0.7	+1.6
		error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Pascu	1973	E-2	+0.0	+0.1	-0.2	-0.1
		G-5	+0.0	+0.1	-0.3	-0.4
		SV2	+1.0	+0.2	-0.7	+2.0
		error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Pascu	1974	E-2	+0.1	-0.1	+0.1	+0.9
		G-5	+0.2	-0.1	+0.1	+0.5
		SV2	+0.8	-0.1	-0.2	+2.9
		error	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.1
Pascu	1975	E-2	-0.1	+0.1	+0.2	-0.2
		G-5	-0.0	+0.1	-0.2	-0.1
		SV2	+0.4	+0.6	+0.4	+2.1
		error	± 0.0	± 0.0	± 0.1	± 0.1
Pascu	1976/77	E-2	-0.2	+0.0	+0.5	-0.0
		G-5	-0.1	+0.1	+0.1	-0.1
		SV2	+0.6	+0.6	+0.9	+1.5
		error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Pascu	1977/78	E-2	-0.2	-0.0	+0.1	-0.4
		G-5	-0.1	-0.1	-0.0	-0.5
		SV2	+0.7	+0.6	+0.1	+1.5
		error	± 0.0	± 0.1	± 0.1	± 0.1
Ianna et al.	1977/78	E-2	+0.0	+0.3	+0.1	-0.4
		G-5	+0.0	+0.1	+0.1	-0.2
		SV2	+0.8	+0.9	-0.3	+1.8
		error	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1

Tables n° 25 e) et f)

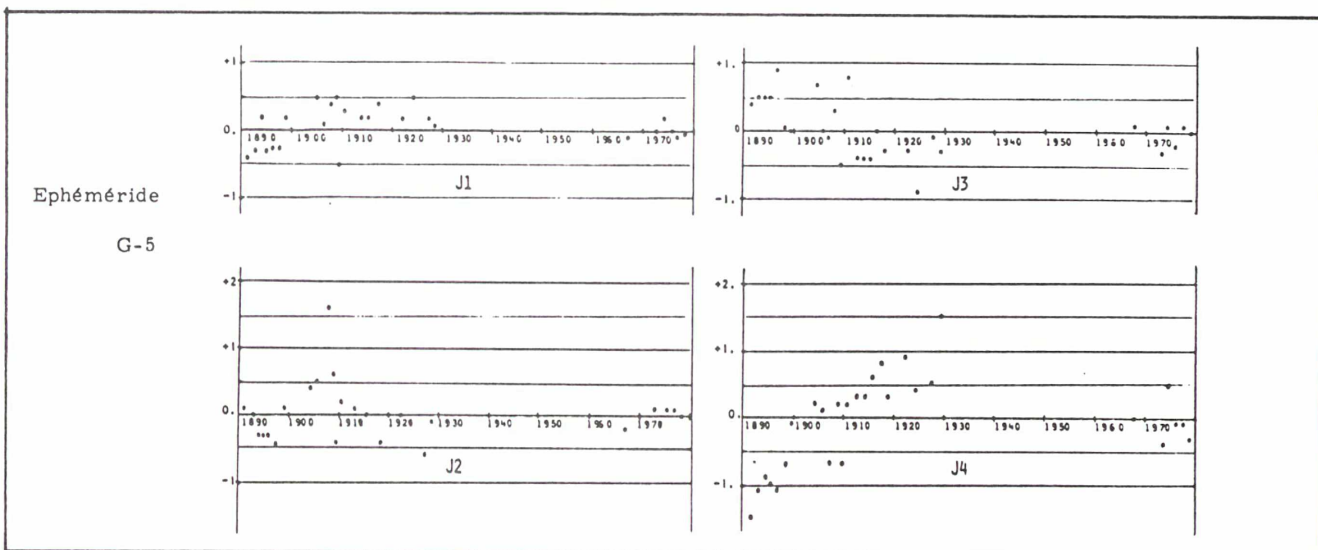
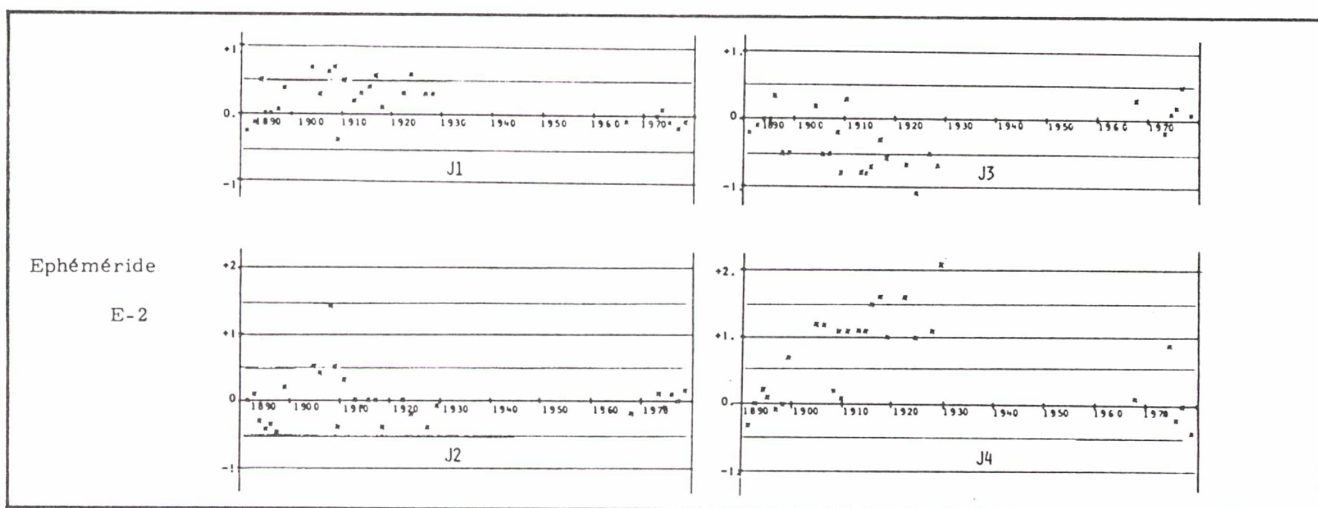
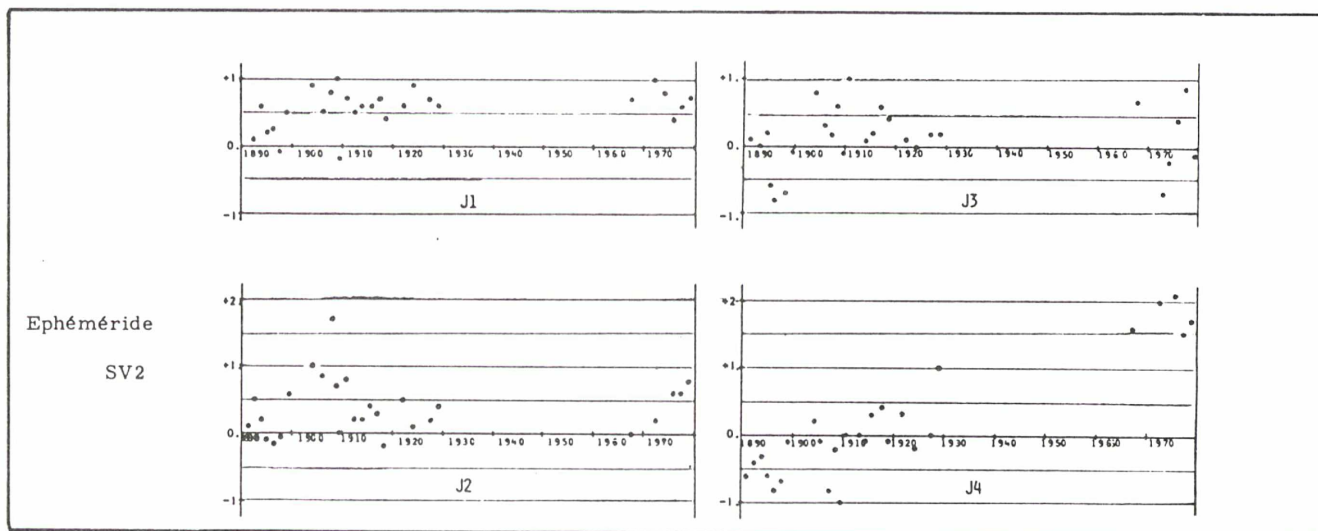
	<u>Période ancienne 1891-1928 (594 observations)</u>			
	J1	J2	J3	J4
SV2	+0.56	+0.26	+0.25	+0.10
E-2	+0.31	-0.10	-0.50	+1.16
G-5	+0.14	-0.10	-0.08	+0.38
erreur:	±0.02	±0.02	±0.03	±0.04

	<u>Période intermédiaire 1934-1969 (325 observations)</u>			
	J1	J2	J3	J4
SV2	+0.73	+0.51	-0.06	+1.54
E-2	-0.08	+0.04	+0.14	-0.38
G-5	-0.03	-0.01	+0.13	-0.24
erreur:	±0.03	±0.04	±0.05	±0.06

	<u>Période moderne 1970-1978 (792 observations)</u>			
	J1	J2	J3	J4
SV2	+0.70	+0.31	-0.03	+1.77
E-2	-0.09	-0.03	+0.08	-0.27
G-5	-0.03	-0.01	+0.03	-0.08
erreur:	±0.02	±0.02	±0.03	±0.04

Ecart en longitude (en min de temps) observations photographiques - éphémérides

Moyenne sur une longue durée.



(O-C) en longitude en minutes de temps pour 3 éphémérides et pour les différentes séries d'observations photographiques effectuées pendant les oppositions de Jupiter entre 1890 et 1978 (les erreurs sur ces valeurs sont données dans les tables n° 25).

Figure n° 23

b) Comparaison aux observations de phénomènes mutuels.

Ces phénomènes ont surtout été observés en 1973 et 1979. Des prédictions ont été faites avec plusieurs éphémérides, et il est intéressant de comparer ces prédictions avec les observations. Comme pour les observations photographiques, il est possible, si l'on dispose d'un nombre suffisant d'observations, de déterminer des écarts en longitude entre l'observation et la théorie. C'est en effet sous cette forme que l'erreur majeure de l'éphéméride se manifeste. Cependant, nous allons aussi effectuer des comparaisons individuelles sur un échantillonnage d'observations. On se rend ainsi mieux compte de l'impact de l'imprécision de l'éphéméride sur la prédiction. Les figures n° 24 donnent une représentation graphique de ces comparaisons pour chaque couple de satellites observé.

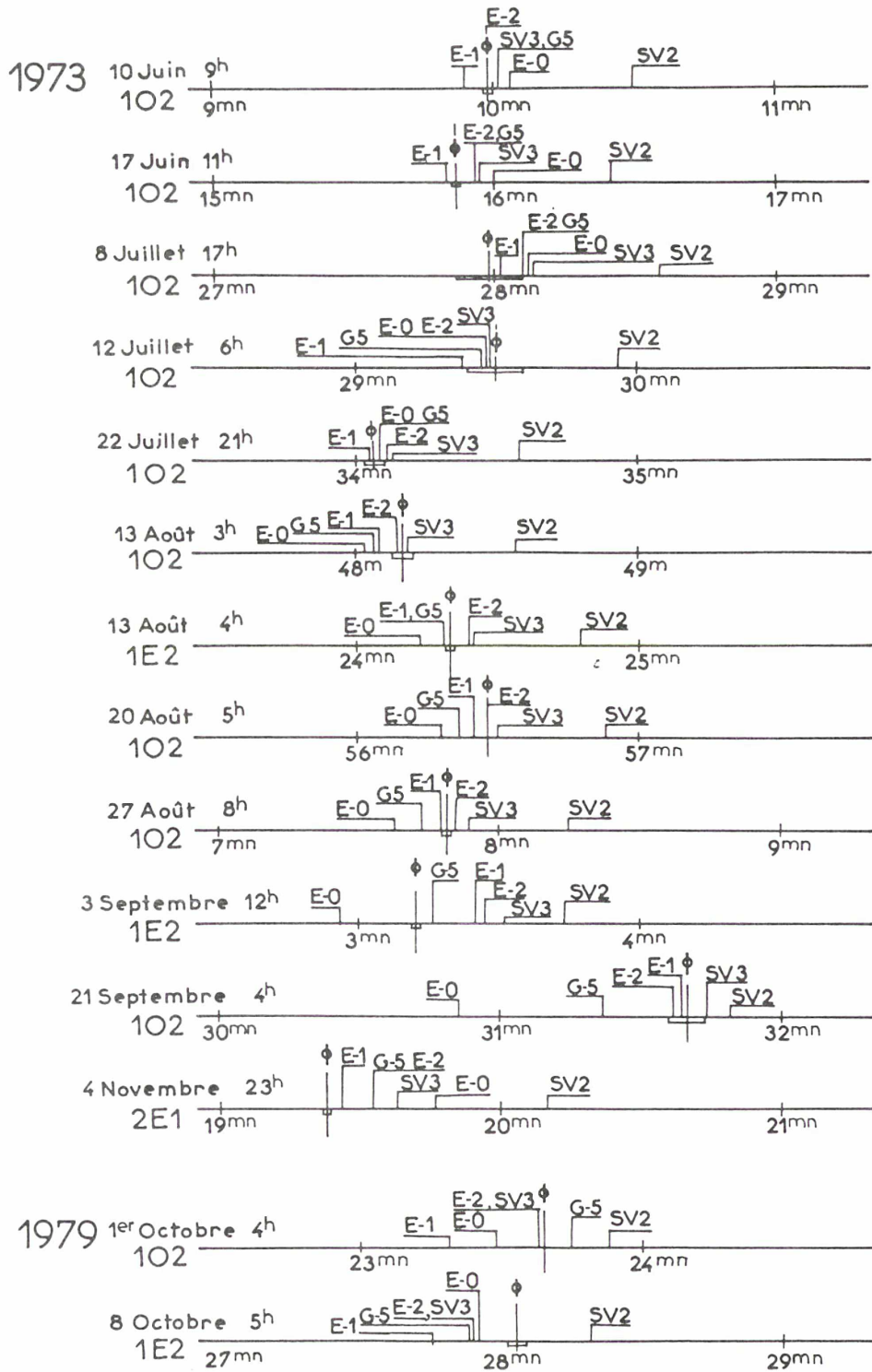
PHENOMENES MUTUELS						
	1973 (a)			1979 (b)		
	SV2	E-2	G-5	SV2	E-2	G-5
δt_1	0,82 $\pm 0,24$	0,10 $\pm 0,06$	0,17 $\pm 0,07$	- 0,27 $\pm 0,35$	- 0,80 $\pm 0,45$	- 0,38 $\pm 0,31$
δt_2	0,34 $\pm 0,14$	0,03 $\pm 0,03$	- 0,09 $\pm 0,04$	0,47 $\pm 0,14$	0,06 $\pm 0,18$	0,04 $\pm 0,12$
δt_3	- 0,48 $\pm 0,23$	0,06 $\pm 0,05$	0,12 $\pm 0,06$	- 0,50 $\pm 0,14$	0,11 $\pm 0,17$	0,12 $\pm 0,12$
δt_4	2,55 $\pm 0,50$	0,76 $\pm 0,11$	0,91 $\pm 0,14$	-	-	-

(a): phénomènes observés entre le 12/7/73 et le 2/11/73
 (b): valeurs (2) de la table n°8 de l'annexe D.

Ecarts en longitude (en minutes de temps) entre les observations
 et les éphémérides SV2, E-2 et G-5 .

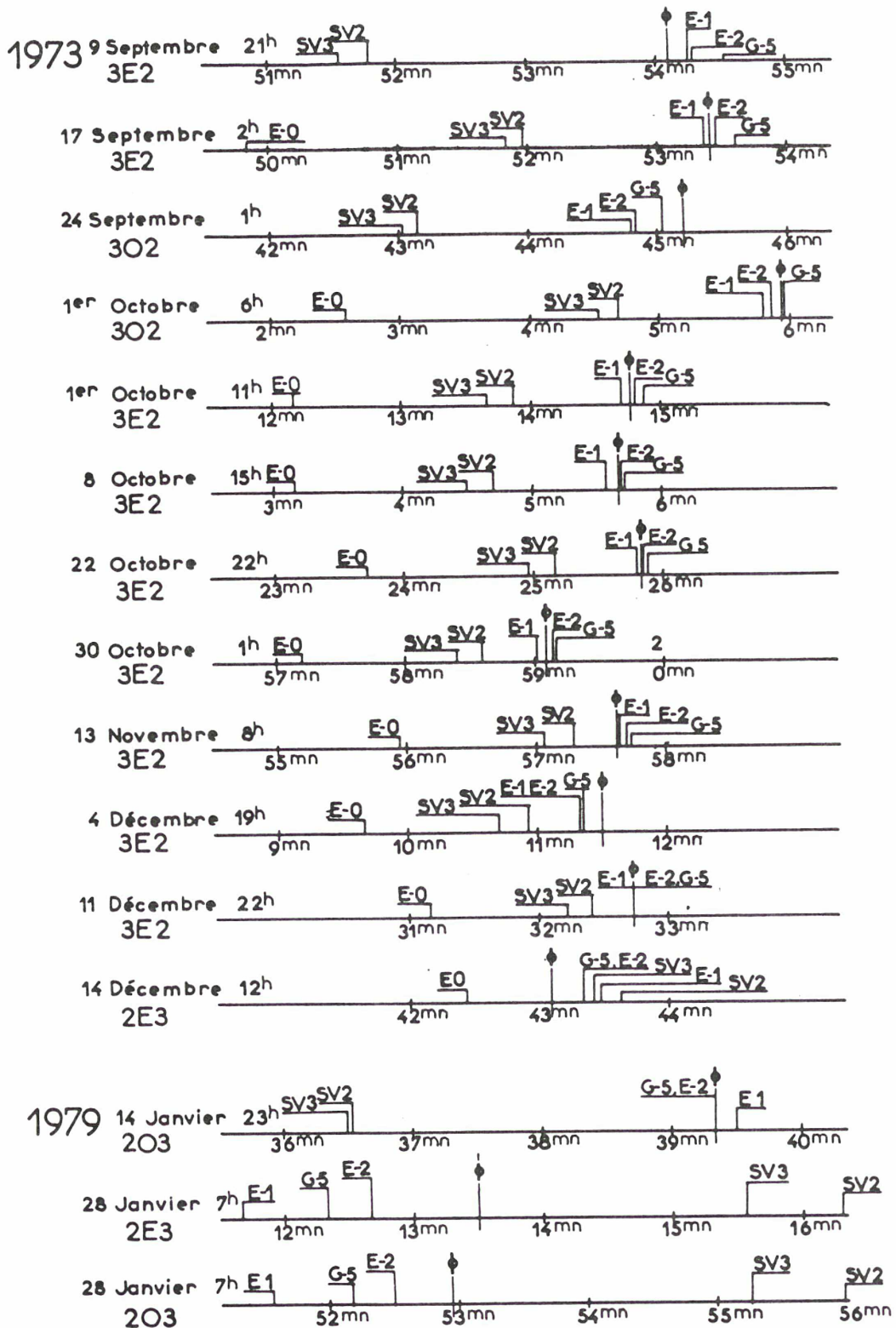
Table n° 27

La table n° 27 donne les valeurs des δt_α ($\alpha = 1 \text{ à } 4$) pour des phénomènes mutuels observés en 1973 et en 1979. On se reportera à la page D16 de l'annexe D pour avoir des détails sur la manière de calculer les δt_α à partir d'obser-



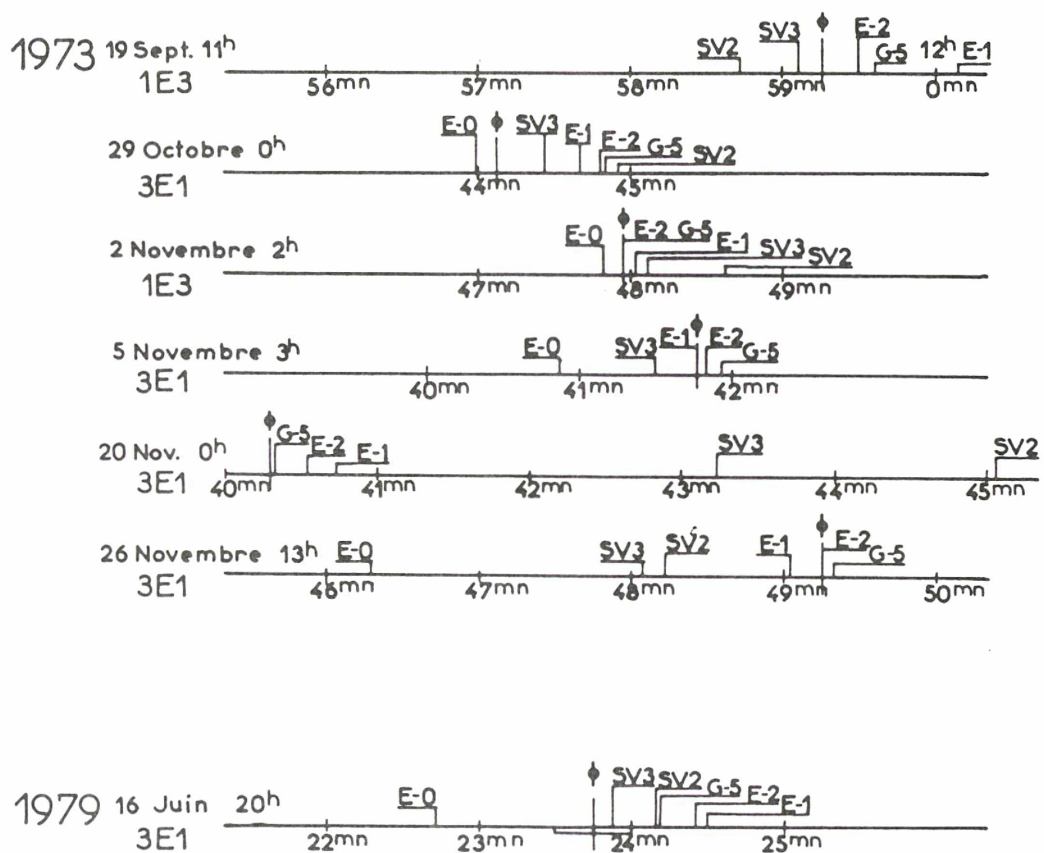
Phénomènes mutuels impliquant les satellites 1 et 2

Figure n° 24-a



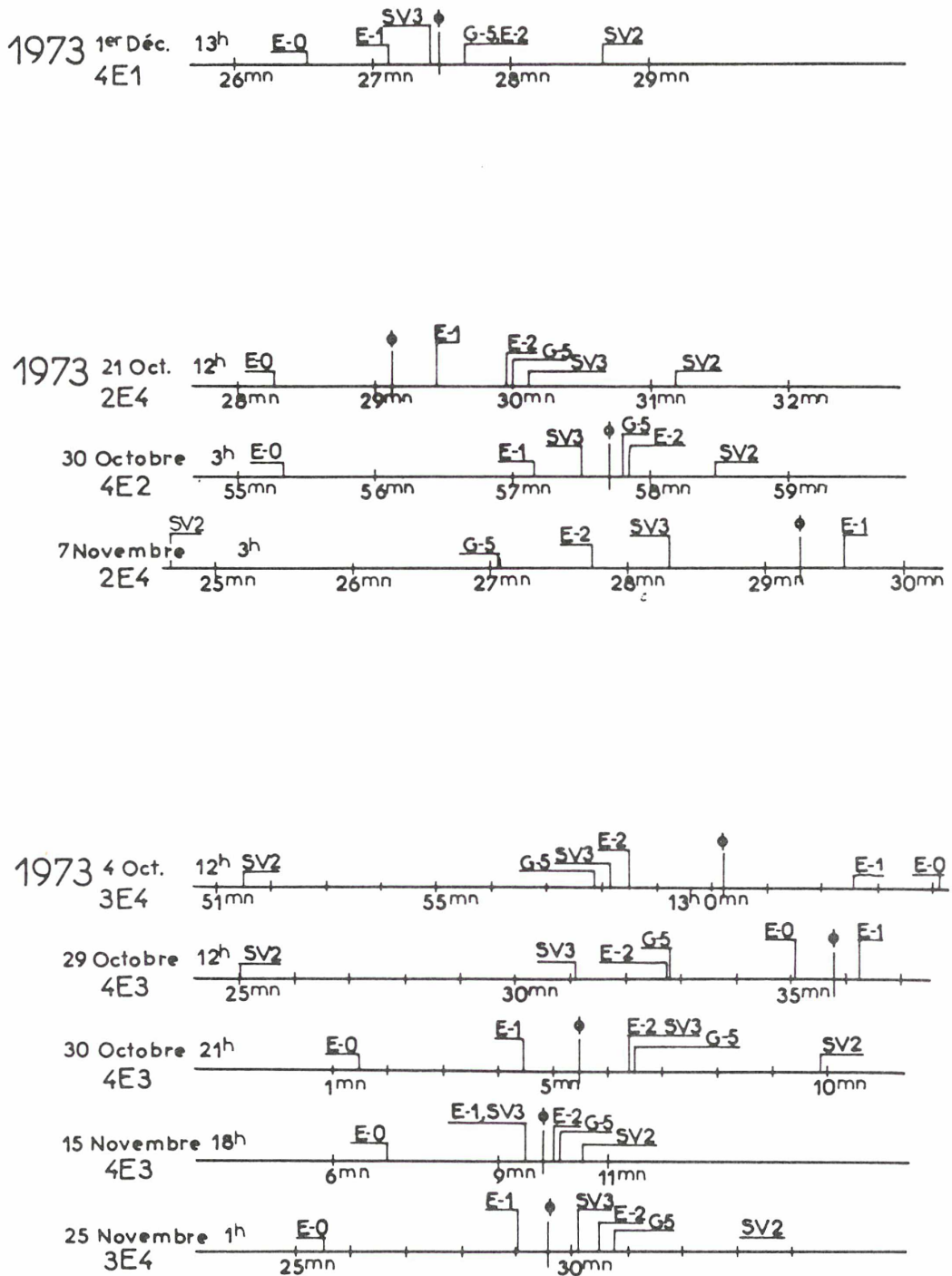
Phénomènes mutuels impliquant les satellites 2 et 3

Figure n° 24-b



Phénomènes mutuels impliquant les satellites 1 et 3

Figure n° 24-c



Phénomènes mutuels impliquant le satellite 4

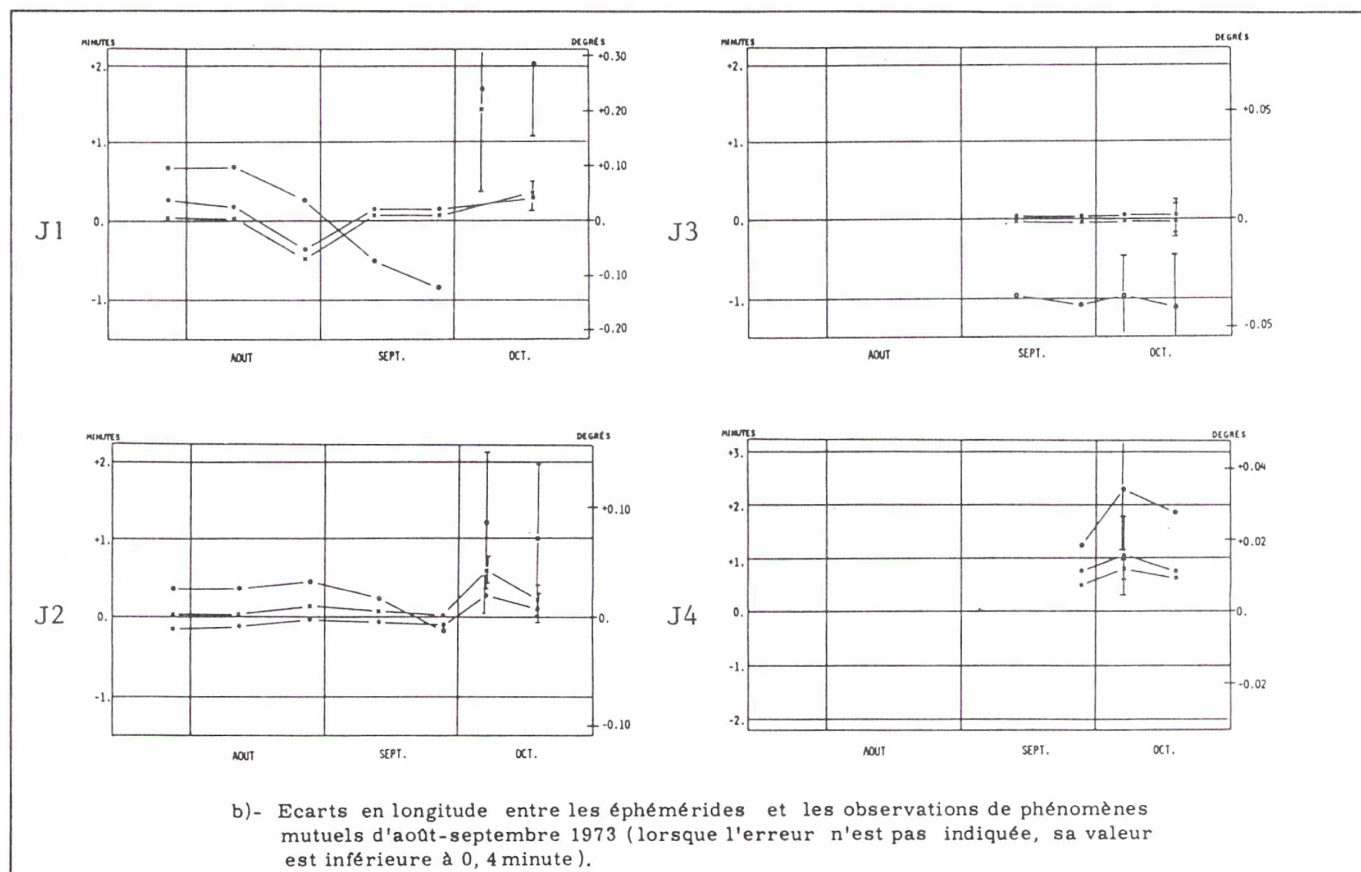
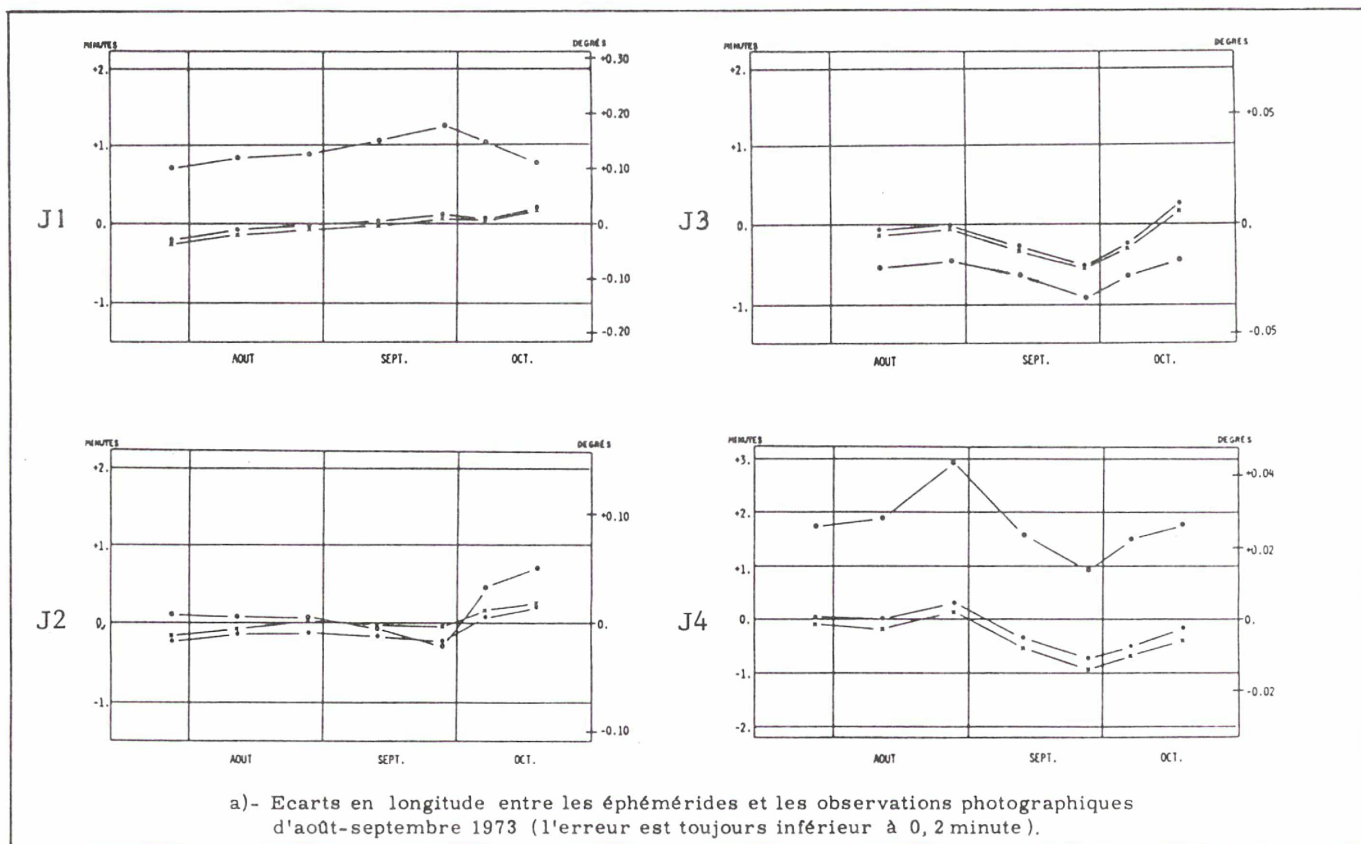
Figure n° 24-d

vations de phénomènes mutuels. Rappelons que seules les éphémérides E-2 sont ajustées sur les observations de 1973 mais qu'aucune des trois éphémérides n'est ajustée sur les observations de 1979.

II - Recherche des causes de la non-coïncidence entre les observations et les éphémérides.

La non-coïncidence entre les observations et les **calculs de positions** effectués à partir des éphémérides, provient tout d'abord des erreurs aléatoires, se produisant lors des observations (et également, dans une moindre mesure cependant, lors des calculs). On constate, dans certains cas, que, même après l'ajustement de la théorie sur les observations, il subsiste une non-coïncidence à caractère systématique, se traduisant principalement par un écart en longitude entre l'observation et l'éphéméride (voir les tables n° 25; par exemple). Cet écart systématique provient-il d'erreurs systématiques dues au type d'observations utilisées, ou bien d'erreurs inhérentes à la théorie incapable d'admettre simultanément l'ensemble des positions observées ? Pour cela, il faut pouvoir disposer d'ensembles d'observations de types différents, couvrant le même intervalle de temps. Si on ne retrouve pas le même écart en longitude pour les 2 séries d'observations de types différents, cela montre que cet écart est, du moins en partie, dû aux observations elles-mêmes. Si on retrouve cet écart, cela montre qu'il est dû à un défaut de la théorie .

En 1973, lors de l'opposition de Jupiter, une série d'observations photographiques a été effectuée (cf. table n°5, chapitre 2) ainsi qu'une série d'observations de phénomènes mutuels (Aksnes et al. 1976). La figure n° 25 montre les variations des écarts en longitude δt_α ($\alpha = 1$ à 4) lors de cette opposition (ces écarts sont calculés pour des petits groupes d'observations). Les 2 types d'observations sont traités séparément avec **les** trois éphémé-



Ephémérides : ◦ = SV2 ; × = E-2 ; • = G-5

Figure n° 25

rides suivantes : SV2 (Sampson brut), E-2 (Sampson-Lieske, ajusté sur les 2 séries d'observations considérées) et G-5 (Sampson-Lieske, ajusté sur les observations photographiques exclusivement). Que peut-on en déduire ? Les erreurs aléatoires observationnelles - du fait d'un nombre trop faible d'observations par groupe - entraînent une certaine dispersion des résultats mais certaines constatations peuvent être faites. Pour le satellite 1, aucune similitude n'est mise en évidence entre l'évolution des écarts en longitude déduits des observations photographiques et de ceux déduits des observations de phénomènes mutuels. La chute de cet écart fin août est probablement d'origine observationnelle (cas des phénomènes mutuels). Par contre, pour le satellite 2, on remarque une augmentation de la valeur de l'écart en octobre pour les valeurs déduites de chacun des 2 types d'observations ce qui prouve que son origine est théorique. Pour le satellite 3, l'écart en longitude est remarquablement petit pour E-2 et G-5 avec les phénomènes mutuels, alors que cet écart chute fin septembre pour les observations photographiques qui semblent donc, cette fois, en être la cause. Pour le satellite 4, le manque d'observations de phénomènes mutuels interdit une comparaison valable.

Cette méthode est intéressante pour mettre en lumière les erreurs d'origine observationnelle mais il faudrait des campagnes d'observations concertées assez denses du point de vue du nombre d'observations.

III - Comparaison entre les diverses éphémérides disponibles.

Nous avons vu précédemment comment les éphémérides se situaient par rapport aux observations. En particulier, nous avons constaté que les constantes améliorées permettaient le calcul d'éphémérides et diminuaient les résidus d'une quantité non négligeable. On trouvera dans la table n° 28 ci-après les écarts-type pour différentes périodes d'observations photographiques permettant ainsi de voir les progrès réalisés par rapport à l'éphéméride initiale de Sampson SV2. Notons que seuls les écarts-type correspondant aux observations anciennes ont été débarrassés de la plus grande

		anciennes observations 1891-1928	période intermédiaire 1934-1969	observations modernes 1970-1978	toutes observations 1891-1978
nombre d'observations individuelles :		2470	1786	4400	8656
Sat 1	SV2	0,108	0,306	0,254	0,225
	E-1	0,094	0,299	0,236	0,211
	EF-14	0,106	0,298	0,233	0,212
	E-2	0,091	0,296	0,233	0,209
	G-5	0,089	0,295	0,233	0,209
Sat 2	SV2	0,109	0,264	0,231	0,206
	E-1	0,108	0,260	0,214	0,195
	EF-14	0,115	0,255	0,205	0,191
	E-2	0,102	0,255	0,205	0,188
	G-5	0,102	0,255	0,203	0,187
Sat 3	SV2	0,107	0,264	0,268	0,225
	E-1	0,110	0,258	0,253	0,214
	EF-14	0,126	0,254	0,249	0,214
	E-2	0,106	0,254	0,251	0,211
	G-5	0,102	0,253	0,251	0,210
Sat 4	SV2	0,151	0,328	0,266	0,247
	E-1	0,148	0,332	0,255	0,242
	EF-14	0,180	0,324	0,237	0,239
	E-2	0,132	0,323	0,238	0,228
	G-5	0,125	0,323	0,237	0,226
4 satellites ensemble	SV2	0,141	0,292	0,255	0,226
	E-1	0,137	0,289	0,240	0,217
	EF-14	0,158	0,284	0,232	0,215
	E-2	0,128	0,284	0,233	0,210
	G-5	0,123	0,283	0,232	0,209

Ecarts-type de 4 ensembles différents d'observations photographiques calculés pour 5 éphémérides différentes.

partie de l'erreur observationnelle par l'utilisation de points moyens (moyennes effectuées entre des clichés très proches dans le temps : entre les 6 à 8 expositions d'une plaque par exemple). Ces écarts-type ne peuvent donc pas être comparés à ceux correspondant aux autres groupes d'observations mais le but est ici de comparer, pour chaque groupe d'observations, les écarts-type calculés avec les diverses éphémérides (que nous avons décrites dans les chapitres 5 et 6). Notons que l'éphéméride dite "EF-14" est une solution intermédiaire avant l'itération donnant les éphémérides "G".

Les figures n° 26 et 27 permettent de voir graphiquement comment se comportent les éphémérides SV2, SV3 (cf. chapitre 6, parag. II), E-1, E-2 et G-5, les unes par rapport aux autres pour deux intervalles de temps différents.

Tout d'abord (figure n° 26 a et b), on a les différences SV2-G-5 et G-5 - E-2 sur la période 1850-2000. G-5 et E-2 étant (cf. table n° 28) les 2 meilleures éphémérides. La figure n° 26b montre bien qu'elles restent très proches l'une de l'autre, même sur un intervalle de temps assez long : en coordonnées tangentiellles (coordonnées que l'on observe avec une précision de l'ordre de 0,05 seconde d'arc), l'écart en 2000 atteint au maximum 0,06 seconde d'arc environ pour la coordonnée X du satellite 4, les autres écarts étant au-dessous de 0,05 seconde d'arc. L'écart est plus important en 1850 et là, seule l'étude des observations anciennes pourrait l'expliquer. Les écarts SV2- G-5 sont bien évidemment plus importants. Ils sont au minimum aux alentours de 1900 (là où SV2 a la meilleure précision, comme on l'a vu sur les (O-C) dans le paragraphe I de ce chapitre). On voit aisément sur la figure 26-a) la dégradation de SV2 au fur et à mesure que l'on s'éloigne des années 1900 et l'intérêt de pouvoir disposer de nouvelles éphémérides (les écarts sont couramment de 0,5 seconde d'arc en 2000).

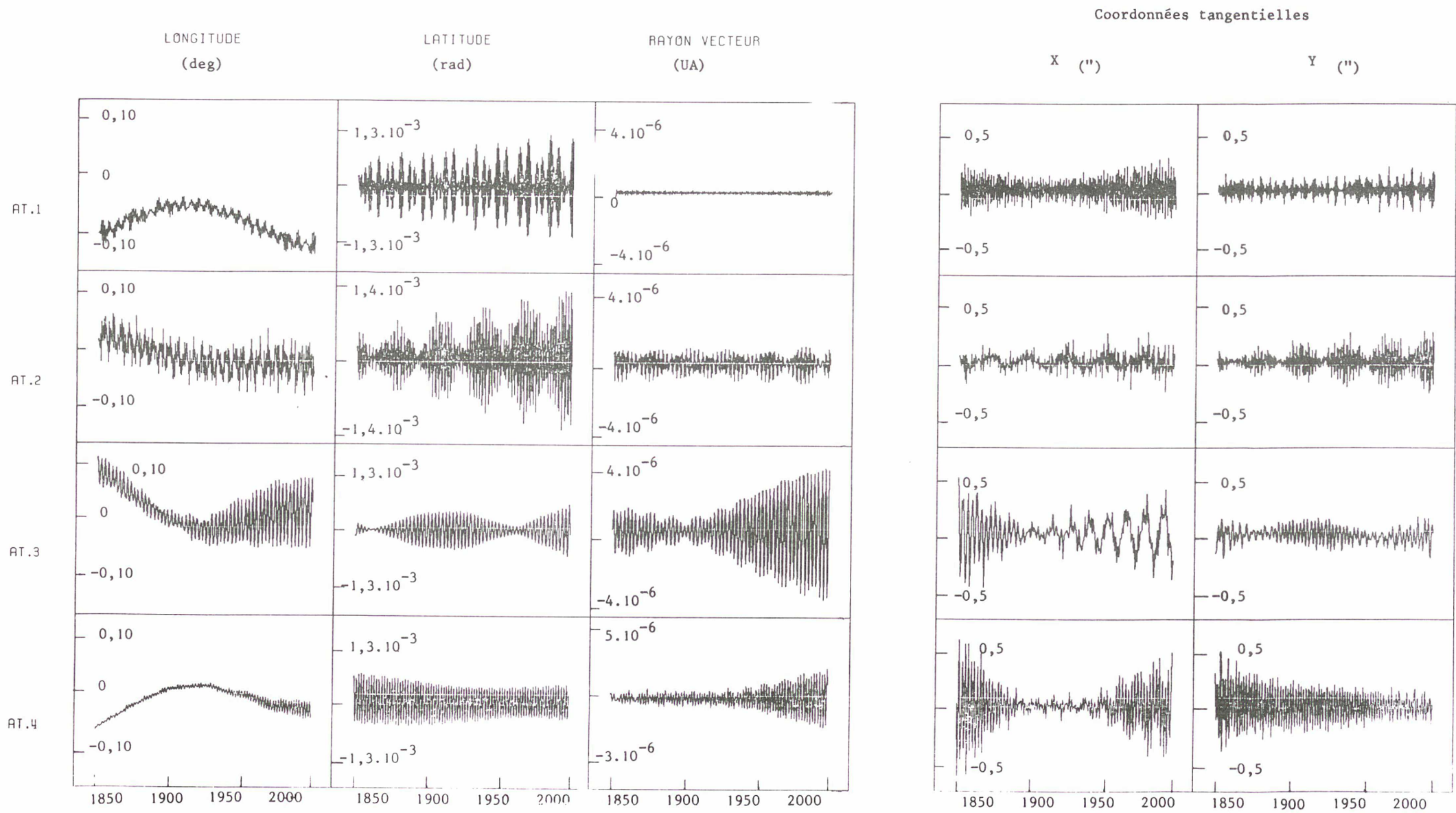
Les figures n° 27 comparent diverses éphémérides sur un intervalle de temps court (1977-78) où ont été effectuées de bonnes observations sur lesquelles E-2 et G-5 ont été ajustées. Ces 2 éphémérides sont évidemment très proches sur cette période alors que l'écart entre SV2 et G-5 est très

important. L'éphéméride E-1 est plus proche de G-5 que SV2 (c'est le gain dû à l'amélioration de la théorie de Sampson) mais les observations récentes lui font défaut. Quant à SV3, l'amélioration par rapport à SV2 n'a lieu que dans certains cas (pour les satellites 1 et 4 comme on le voit sur la figure n° 24 pour les prédictions de phénomènes mutuels).

Les figures n° 26 et 27 montrent d'autre part que les termes périodiques sensibles aux observations utilisées, semblent être soit à très longue période (minimum 50 ans) comme on le voit sur la figure n° 26, soit à très courte période (de l'ordre d'une ou deux périodes de satellite) comme on le voit sur la figure n° 27. Seul le satellite 2 paraît mettre en évidence un terme à période intermédiaire (de quelques mois à quelques années) d'amplitude non négligeable sensible aux observations utilisées.

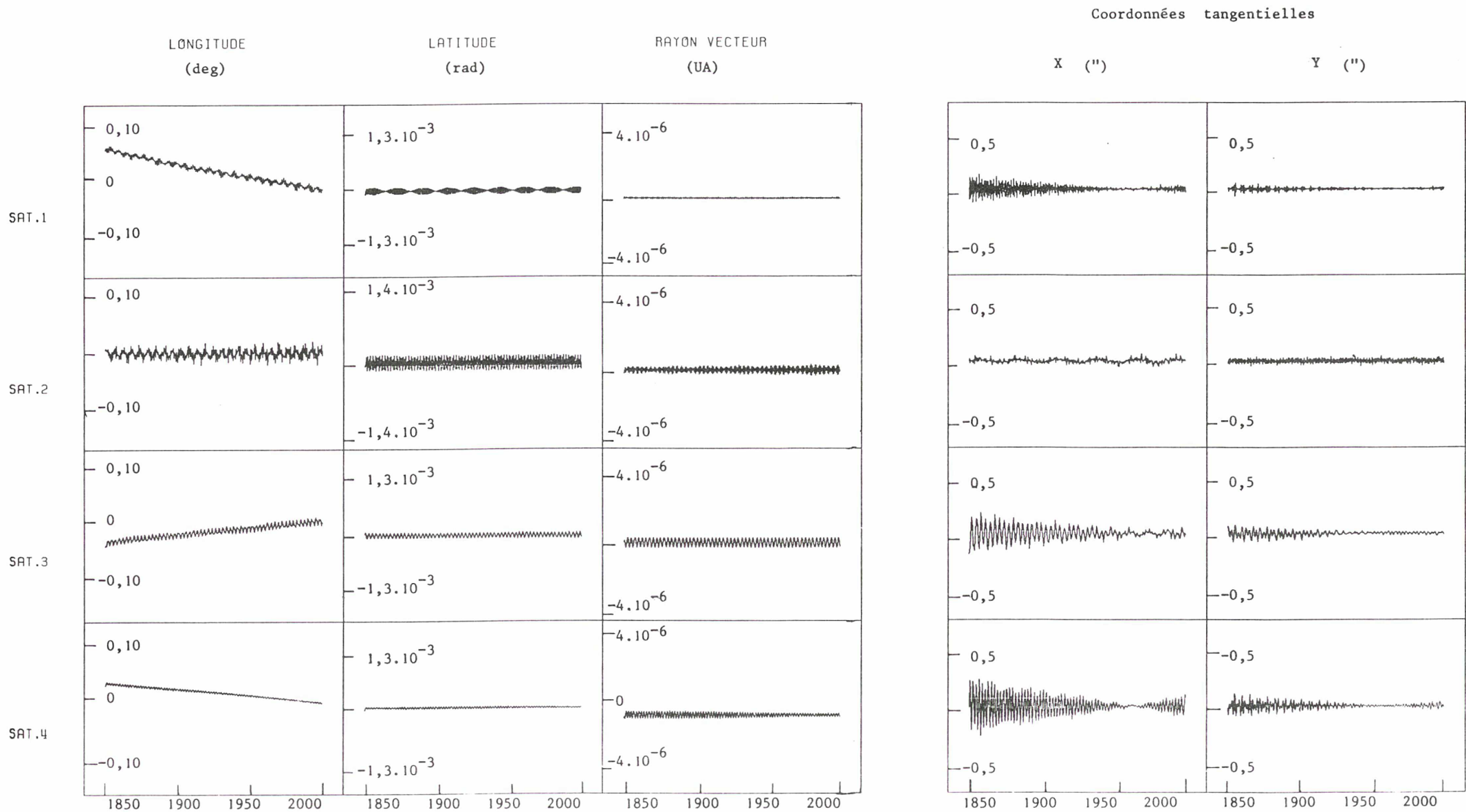
IV - Conclusion

Nous venons de voir, par diverses comparaisons, les qualités et les défauts de plusieurs éphémérides. Les éphémérides SV2 apparaissent dépassées pour des prédictions à venir. Il est clair que nos nouvelles éphémérides G-5 construites avec l'un des jeux de constantes déterminés dans le chapitre précédent et apparaissant actuellement les plus précises (voir la table n°28) doivent leur être préférées pour tout calcul de prédiction. Les observations photographiques sur lesquelles sont ajustées les constantes G-5 permettent une continuité dans la précision des éphémérides tout au long du XXème siècle.



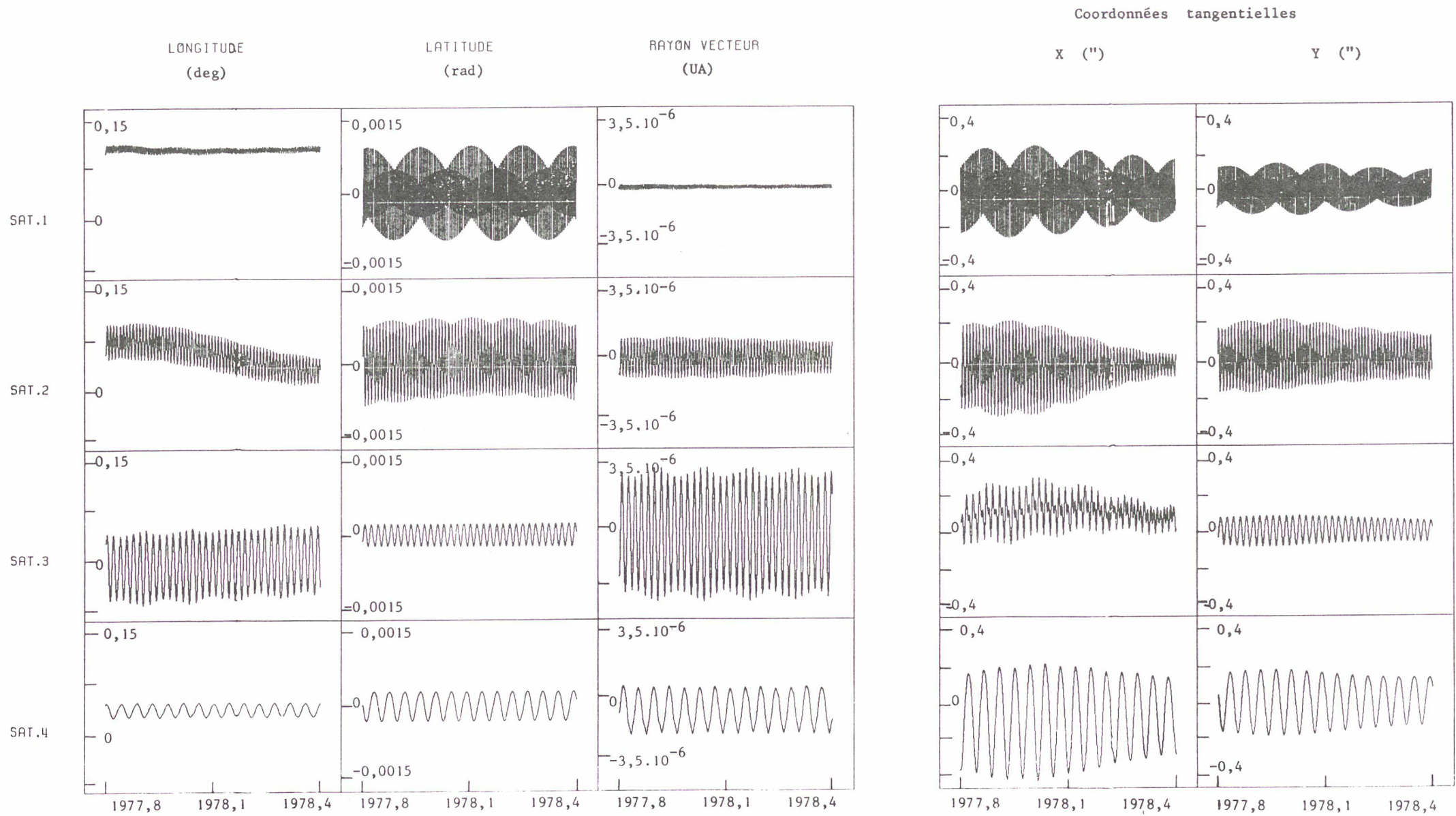
Variations de (SV2 - G-5) entre 1850 et 2000

Figure n° 26-a)



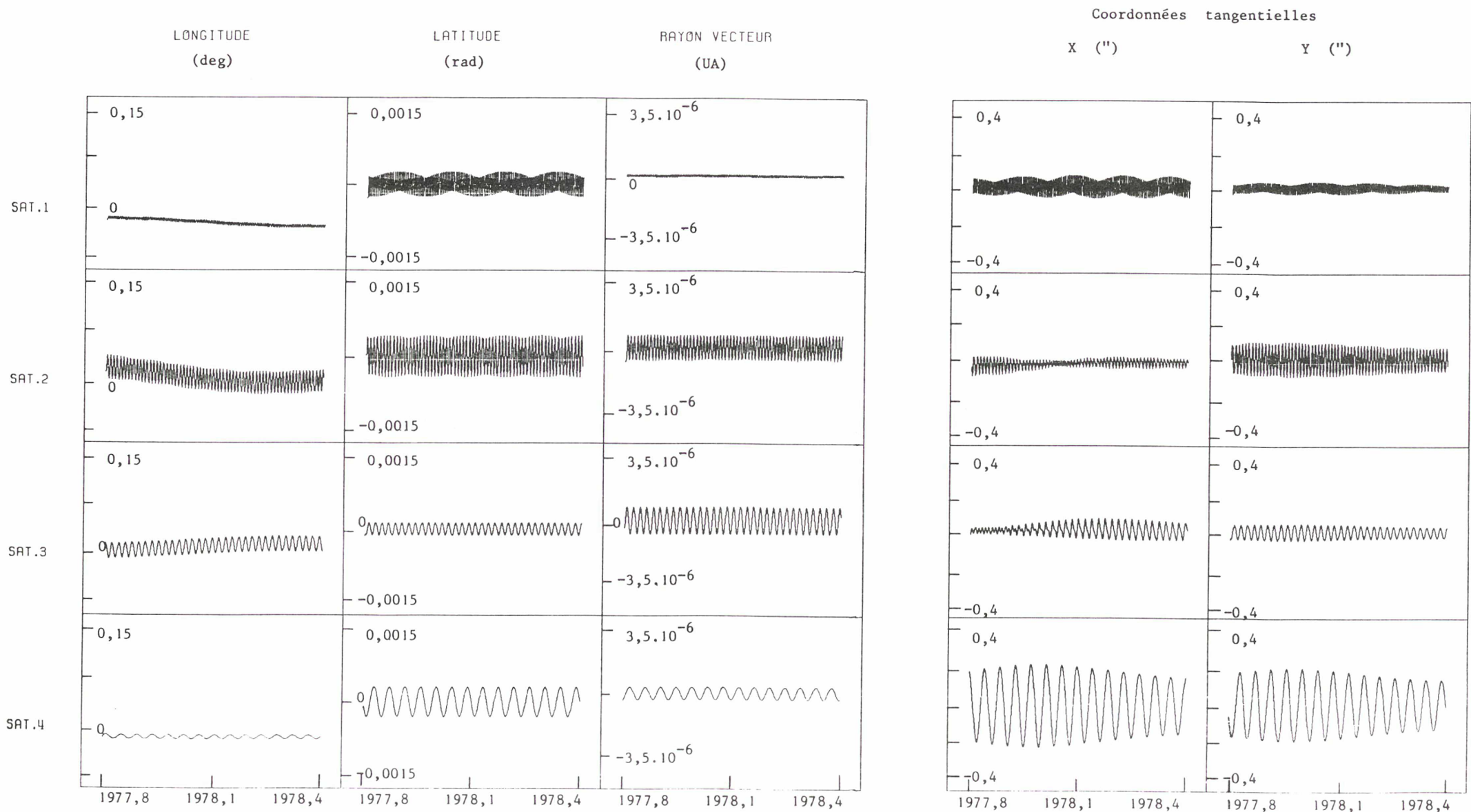
Variations de (G-5 - E-2) entre 1850 et 2000

Figure n° 26-b)



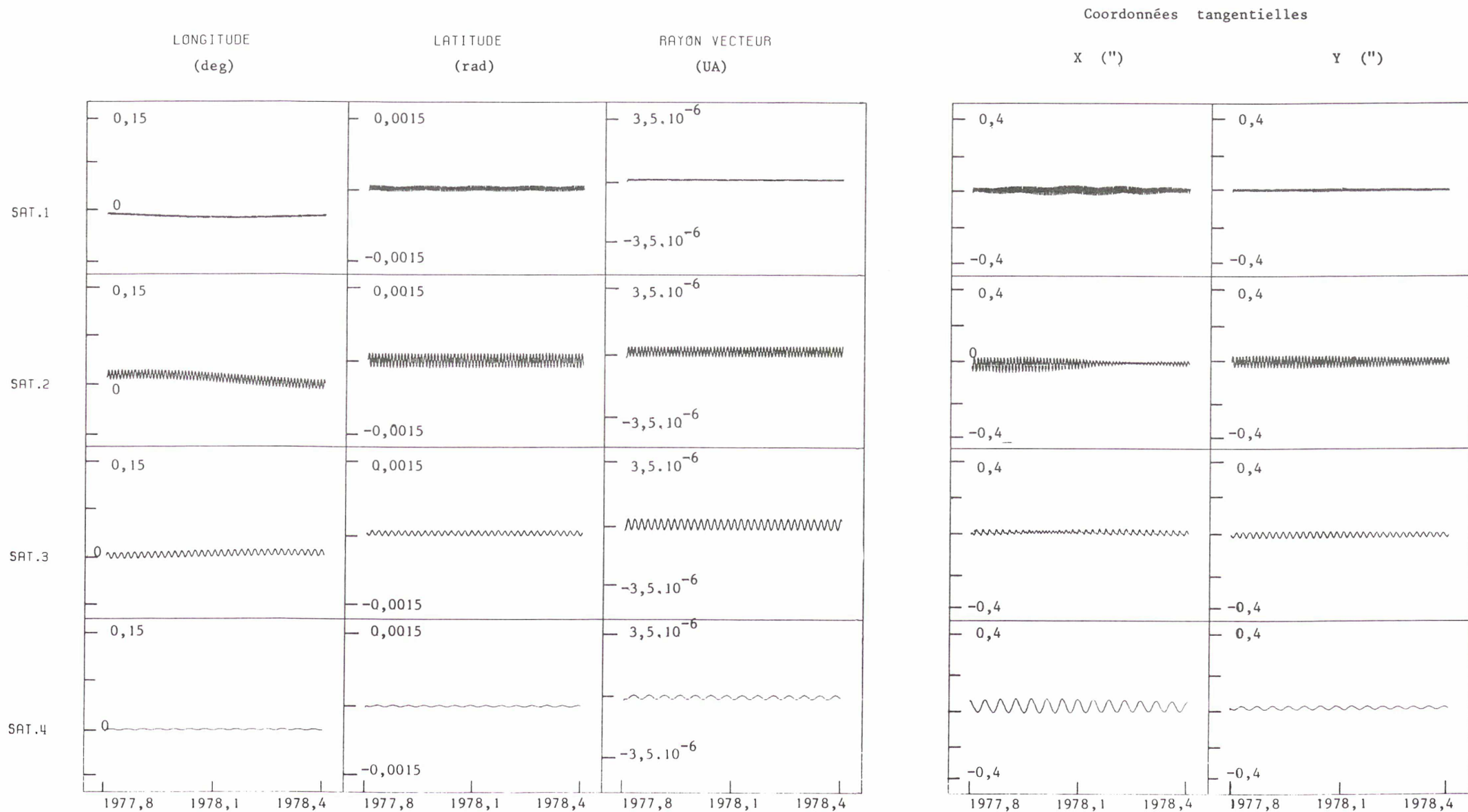
Variations de (G-5 - SV2) en 1977-1978

Figure n° 27-a)



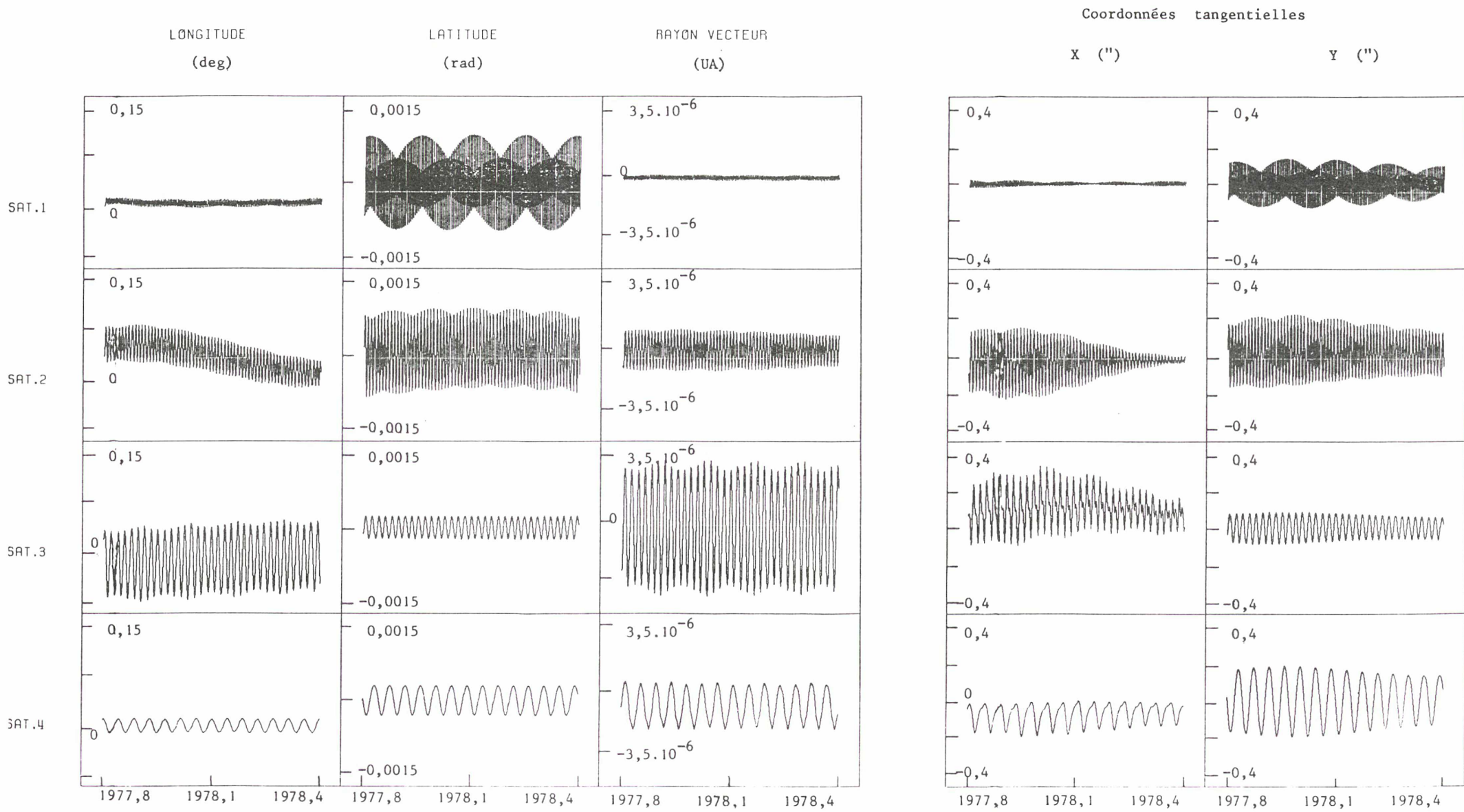
Variations de (G-5 - E-1) en 1977-1978

Figure n° 27-b)



Variations de (G-5 - E-2) en 1977-1978

Figure n° 27-c)



Variations de (G-5 - SV3) en 1977-1978

Figure n° 27-d)

CONCLUSION

Tout au long de cette étude, nous avons abordé le problème de l'amélioration des éphémérides des satellites galiléens par des recherches effectuées dans diverses directions. Voyons les principaux progrès réalisés et les perspectives d'avenir.

L'étude de nombreuses séries très diverses d'observations photographiques, effectuées dans le chapitre 2, a montré la valeur des différentes techniques d'observations utilisées et indique ainsi clairement quels doivent être les instruments et les méthodes à utiliser pour les futures observations. La détermination de la précision de chacune des séries étudiées permet également d'éviter une élimination trop rapide de certaines séries, peu précises certes, mais précieuses par le fait qu'elles ont été effectuées à certaines périodes où l'on ne dispose pas d'autres sources de données. Pour apprécier leur qualité et pour pondérer leur apport, nous disposons maintenant de nombreux renseignements ; les erreurs moyennes en positions apparentes propres à chaque série (tables 1 à 5 du chapitre 2), les histogrammes (annexe C) et le tracé (chapitre 7) des résidus et aussi les écarts moyens en longitude avec l'erreur sur ces valeurs (chapitre 7). Ainsi, il est possible, à présent, d'apprécier la valeur de la plupart des observations photographiques effectuées à ce jour et leur influence pour l'amélioration des éphémérides.

Dans le chapitre 3, nous avons donné plusieurs méthodes permettant d'améliorer la réduction de ces observations photographiques. La méthode empirique de détermination du centre de gravité de la planète Jupiter a déjà procuré des données nouvelles grâce à son application généralisée aux séries dites "long foyer". La méthode microdensitométrique, qui est tout à fait nouvelle, exige la disponibilité des plaques elles-mêmes

et est appelée à être utilisée pour les observations à venir. Nous l'avons testée sur les plaques disponibles et elle s'est montrée tout à fait fiable. La proche construction de machines à mesurer automatiques rapides liées à un ordinateur puissant permettra de tirer encore un meilleur parti de cette méthode nouvelle qui pourra alors être mise en œuvre d'une manière systématique.

Nous avons aussi cherché à mettre en œuvre de nouvelles observations bien différentes des observations photographiques et des observations d'éclipses afin de permettre une décorrélation des erreurs systématiques entre ces divers types d'observations. Les phénomènes mutuels, jusqu'alors inobservés en France, nous ont permis d'atteindre ce but : nous avons pu organiser avec succès une campagne d'observations en 1979 (cf. chapitre 4, paragraphe I et annexe D). Ces phénomènes, observables seulement tous les 6 ans, nous ont également suggérés un autre type d'observation (de "pseudo-phénomènes mutuels", cf chapitre 4, paragraphe II), en utilisant des récepteurs modernes adaptés. Ces observations, qui ont déjà donné des résultats intéressants malgré les difficultés inhérentes au démarrage de techniques ou de méthodes nouvelles, sont appelées à se développer : elles sont d'ailleurs préparées et continuées actuellement.

Notons que nous n'avons rien dit des observations d'éclipses dites "classiques". Bien qu'actuellement moins précises que les observations étudiées ici, elles présentent toujours un intérêt certain. Cependant il y a beaucoup à faire pour améliorer la précision de leur réduction et ceci est un autre sujet.

La construction d'éphémérides améliorées effectuée en 2e partie a permis d'obtenir, à l'aide d'observations photographiques exclusivement (un ensemble très important, cf chapitre 2), des éphémérides de qualité, meilleures que celles dont on disposait auparavant. La fiabilité des observations photographiques est ainsi démontrée. De nouvelles améliorations des éphémérides seraient peut-être envisageables grâce à l'utilisation d'autres types d'observations. Il faudra cependant attendre quelques années pour disposer de phénomènes mutuels en nombre suffisant (l'incorporation de

ceux dont on dispose actuellement pour le calcul des constantes serait sans répercussion sur les résultats.

Notons également le contexte dans lequel ce travail d'ajustement de constantes sur les observations se situe. Les équipes de recherche du Bureau des Longitudes ont effectué, jusqu'à présent, de gros travaux théoriques sur le mouvement des corps du système solaire. Elles n'ont pas encore abordé le problème de l'étude des observations pour l'ajustement des constantes d'intégration. Le présent travail est une première réponse à ce problème. En ce qui concerne les satellites galiléens, une théorie nouvelle est actuellement en cours de construction : les observations rassemblées ici et les algorithmes de calcul mis au point seront à même de hâter la production d'éphémérides dont la précision ne sera plus sujette aux défauts inhérents à la théorie de Sampson.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- AKSNES, K. : 1974, *Icarus*, Vol.21, p.2.
- AKSNES, K. , FRANKLIN, F.A. : 1976, *Astron. J.* , vol 81, p. 464.
- ALDEN, H. L. , DE SITTER, W. , PELS, G. : 1929a, *BAN*, vol. 5, n° 170, p. 55.
- ALDEN, H. L. , DE SITTER, W. , PELS, G. : 1929b, *BAN*, vol. 5, n° 179, p. 121
- ARLOT, J. E. : 1972, Rapport de stage de DEA, Bureau des Longitudes.
- ARLOT, J. E. : 1975a, *Celes. Mech.* , vol. 12, p. 39.
- ARLOT, J. E. : 1975b, Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Paris VI.
- ARLOT, J. E. : 1982, The determination of the center of gravity of a planet from photographic plates, *Celest. Mech.* , vol. 26, p.199-205.
- AUER, L. H. , VAN ALTENA, W. F. : 1978, Digital image centering II, *Astron. J.* , vol. 83, p. 531.
- AUVERGNE, M. , BJAOUI, A. , HEUDIER, J. L. , MARCHAL, J. , OUNNAS, C. , POSTEL, J. , SCHNEIDER, M. : 1975, Le centre de Dépouillement de Clichés Astronomiques, in *Image Processing Techniques in Astronomy*, p. 373, ed. par C. de Jaeger et H. Nieuwenhuijzen, Reidel Dordrecht, Holland.
- BALANOVSKY, I. : 1916, Pub. de l'Observatoire Central Nicolas, Série 2, vol. 31.
- BJAOUI, A. , MARCHAL, J. , OUNNAS, C. : 1978, A General System for Astronomical Image Analysis, *Astron. Astrophys.* , vol. 65, p. 71.
- BROWN, B. C. : 1976, The orbits of the Galilean Satellites of Jupiter, Ph. D. Dissertation, University of Maryland, College Park, Md, USA.
- CASSINI, J. D. : 1688, La méthode de déterminer les longitudes des lieux de la Terre par les observations des satellites de Jupiter, vérifiée et expliquée.
- CHEVALIER, S. : 1920, *J. des Obs.* , vol. 4, p. 108.
- CHIU, L. T. G. 1977, Astrometric Techniques with a PDS microdensitometer, *Astron. J.* , vol. 82, p. 842.
- CONNAISSANCE DES TEMPS : Supplément pour l'année 1981, Bureau des Longitudes, Paris.
- CONNAISSANCE DES TEMPS pour l'année 1763, Paris.
- CONNAISSANCE DES TEMPS pour les années 1967 et 1973, Gauthiers-Villars, Paris
- COOKSON, B. : 1915, *Annals of the Cape Obs.* Vol. XII, part. IV.
- DEBEHOGNE, H. , FREITAS-MOURAO, R. R. , CHAVES, O. : 1979a, *Bull. Astron. de l'Obs. Roy. de Belgique*, vol. 9, p. 88.
- DEBEHOGNE, H. , MACHADO, L. E. : 1979b, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, vol. 38, p. 275.
- DEBEHOGNE, H. , FREITAS-MOURAO, R. R. , TAVARES, O. C. : 1980a, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, vol. 40, p. 249.

- DEBEHOGNE, H. , FREITAS-MOURAO, R.R. , TAVARES, O.C. : 1980b, Astron. Astrophys. Suppl. Series, vol. 40, p. 363.
- DEBEHOGNE, H. , FREITAS-MOURAO, R.R. , TAVARES, O.C. : 1980c, Astron. Astrophys. Suppl. Series, vol. 40, p. 375.
- DE SITTER, W. : 1916, Month. Not. of the R.A.S. , vol. 26, n° 6, p. 448.
- DE SITTER, W. : 1918, Outlines of a new mathematical theory of Jupiter's Satellites, Ann. Sterrew. Leiden, vol. 12.
- DE SITTER, W. : 1924a, B.A.N. , vol. 2, n° 50, p. 61.
- DE SITTER, W. : 1924b, B.A.N. , vol. 2, n° 61, p. 141.
- DE SITTER, W. : 1924c, B.A.N. , vol. 2, n° 62, p. 153.
- DE SITTER, W. : 1925, New mathematical Theory of Jupiter's Satellites, Annalen Sterrewacht, Leiden, vol. XII.
- DE SITTER, W. , PELS, G. : 1926a, B.A.N. , vol. 3, n° 93, p. 97.
- DE SITTER, W. , PELS, G. : 1926b, B.A.N. , vol. 3, n° 99, p. 133.
- DE SITTER, W. : 1928, Ann. Sterrewacht Leiden, vol. 16, part. 2
- DE SITTER, W. : 1931, M. N. of the R.A.S. , vol. 91, p. 705.
- DURIEZ, L. : 1982 , General Planetary theory in the Commensurability case and Application to the Galilean Satellites of Jupiter, Celest. Mech. vol. 26
- FERRAZ-MELLO, S. : 1967, Thèse de doctorat d'état, Faculté des Sciences de Paris.
- FERRAZ-MELLO, S. : 1978, A second order theory of the Galilean Satellites of Jupiter in Dynamics of Planets and Satellites and Theory of their motions, V. Szebehely ed., Reidel, Dordrecht, p. 209.
- GAILLOT, A. : 1913, Annales de l'Observatoire de Paris, Mémoires, Tome XXI.
- GALILEE : 1610 , Sydereus Nuncius , Florence.
- GENIN, D. : 1978, Etude d'un récepteur d'images astronomiques utilisant une caméra de télévision ; acquisition et traitement des enregistrements, Thèse de 3e cycle de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).
- GILL, D. : 1896, Annals of the Cape Observatory, Vol. VII.
- GOREL, G.K. : 1974, Pub. de l'Obs. Nicolaiev, p. 112.
- HAMMOND, J.C. : 1911, Publications of the United States Naval Observatory, Second Series, vol. VI, p. A4, Washington D.C. , U.S.A.
- HEUDIER, J. L. : 1977, in Journées d'étude du CDCA, ed. par A. Bijaoui, Observatoire de Nice, mars 1977.
- IANNA, P. , SEITZER, P. , LEVINSON, F. : 1979, Astron. J. , vol. 84, p. 429.
- KEPLERUS : 1610, Narratio de observatis a se quatuor Jovis satellitibus , Prague.
- LALANDE , J. LE F. : 1792, Astronomie, Tome 3, Livre 18.

- LECACHEUX, J., VAPILLON, L. : 1979, Communication privée.
- LECKIE, A. J. : 1919, Ann. Sterrew. Leiden, vol. 12, p. 2.
- LEVALLOIS, J. J. : 1969, Géodésie générale tome I, Eyrolles, Paris.
- LIESKE, J. H. : 1977, Astron. Astrophys., vol. 56, p. 333.
- LIESKE, J. H. : 1978, Astron. Astrophys., vol. 65, p. 83.
- LIESKE, J. H. : 1980, Astron. Astrophys., vol. 82, p. 340.
- LIESKE, J. H., STANDISH, E. M. : 1981, Planetary Ephemerides in Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics, ed. par E. M. Gaposchkin et B. Kolaczek, Reidel, Dordrecht, Holland, p. 295.
- MARIUS, S. : 1614, Mundus Jovialis, Nuremberg.
- MARSDEN, B. : 1966, The motions of the Galilean Satellites of Jupiter, Ph. D. Dissertation, Yale University, New Haven, USA.
- MARTH, A. : 1891, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. vol. 51, p. 505
- MILET, B. : 1980, Communication privée.
- MORRISON, D., SAMZ, J. : 1980, Voyage to Jupiter, NASA SP-439, US Government Printing Office, Washington D. C.
- MOSHER, J., JOHNSON, T. MATSON, D. : 1975, Vidicon Photometry of a Galilean Satellite Eclipse in Imaging in Astronomy held in Cambridge, Massachusetts, June 18-21.
- MULLER, P. : 1951, Journal des Observateurs, vol. XXXIV, p. 105
- MULLER, P. : 1952, Journal des Observateurs, vol. XXXV, p. 1 et p. 95.
- NAKAMURA, T. : 1976, Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 28, p. 239.
- NULL, G. W. : 1976, Astron. J., vol. 81, p. 1153.
- PASCU, D. : 1974, Communication privée.
- PASCU, D. : 1977, Astrometric Techniques for the Observations of Planetary Satellites in Planetary Satellites, J. A. Burns, ed. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA.
- PASCU, D. : 1978, Communication privée.
- PETRESCU, G. : 1938, J. des Obs. vol. 21, n° 1, p. 13.
- PETRESCU, G. : 1939, J. des Obs., vol. 22, n° 1, p. 8
- PICKERING, E. C. : 1907, Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College, vol. LII, part. I, p. 1.
- RENZ, F. : 1898, Mem. de l'Acad. Imp. des Sciences de Saint Petersburg, classe des sciences physiques et mathématiques, 8e série, tome 7, n° 4.
- RENZ, F. : 1903, Mem. de l'Acad. Imp. des Sciences de Saint Petersburg, classe des sciences physiques et mathématiques, 8e série, tome 13, n° 1.
- SAGNIER, J. L. : 1981, Thèse de doctorat d'état, Université Paris VI.
- SAMPSON, R. A. : 1910, Tables of the Four Great Satellites of Jupiter, University of Durham.

SAMPSON, R. A. :1921, *Memoirs of the Roy. Astron. Soc.* , vol. 63 .

SOULIE, G. :1968, *J. des Obs.* , vol. 51, n°4, p.315.

SOULIE, G. : 1972, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, vol. 6, p. 311

SOULIE, G. : 1978, *Communication privée*.

STANDISH, E. M. Jr, KEESEY, M. , NEWHALL, X. : 1976, *JPL Development E*
number 96, TR 32-1603, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.

THUILLOT, W. , VU, D. T. : 1981, *Analytical theory of the motion of the*
Galilean Satellites of Jupiter : The First Approximation, presented in *The Motion*
of Planets and Satellites, Symposium held in Sao Paulo, Brazil , on December
14-18.

VAN ALTENA, W. F. , AUER, L. H. : *Digital Image Centering II*, in *Image*
Processing Techniques in Astronomy, p. 411, ed. par C.de Jaeger et H.
Nieuwenhuijzen, Reidel Dordrecht, Holland.

VAN BIESBROECK, G. : 1963, *Astron. J.* vol. 68, n° 10, p. 802.

VU, D. T. : 1977, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, vol. 30, p. 361.

WEIDLER:1727, *Explicatio jovilabii cassiniani*, Witemberg.

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être accompli grâce au Centre National de la Recherche Scientifique et au Bureau des Longitudes.

Je tiens à remercier tout d'abord J. Kovalevsky, B. Morando, et J. -L. Sagnier de l'intérêt avec lequel ils ont suivi mon travail et des conseils constructifs qu'ils m'ont donnés.

Je remercie également A. Brahic, J. Delhaye, J. Rösch et Y. Thiry pour avoir bien voulu faire partie du jury.

Je remercie aussi tout particulièrement D. Pascu dont les observations ont permis le démarrage de ce travail de par leur qualité, ainsi que R. L. Duncombe et P. K. Seidelman pour leur accueil lors de mes séjours à l'Observatoire Naval de Washington.

Je remercie mes collègues du Service des Calculs et de Mécanique Céleste du Bureau des Longitudes W. Thuillot et D. T. Vu pour l'aide qu'ils m'ont apportée et pour les échanges fructueux que nous avons eus tout au long de ce travail.

Je remercie S. Ferraz-Mello pour les discussions utiles que nous avons eues ensemble, et J. H. Lieske pour avoir facilité l'utilisation, dans mon travail, de la théorie de Sampson améliorée par ses soins.

Je remercie les équipes du CDCA à Nice et du STII à Meudon pour leur aide lors de l'analyse et du traitement des images des plaques photographiques des satellites galiléens de Jupiter.

Je remercie B. Milet de l'Observatoire de Nice pour m'avoir permis l'utilisation de ses données astrophotographiques, Ch. Richardson de l'Observatoire de Paris pour son aide efficace lors de la mise au point de la technique

d'observation nouvelle des satellites galiléens à l'Observatoire de Meudon et M. Catoire du Service des Calculs et de Mécanique Céleste du Bureau des Longitudes pour ses conseils lors de la rédaction de ce travail.

Je remercie tous les observateurs qui ont bien voulu participer à la campagne d'observations "PHEMU79" et qui ont apportés ainsi des données précieuses utilisées dans le présent travail.

Je remercie enfin toutes les personnes non citées ci-dessus qui m'ont aidé ou qui ont participé à la réalisation de ce travail.

ANNEXES

ANNEXE A

THEORIE DES ERREURS :

APPLICATION AUX OBSERVATIONS PHOTOGRAPHIQUES

DES SATELLITES GALILEENS DE JUPITER

Théorie des erreurs

La confrontation entre l'observation et le calcul nous amène à évoquer la notion d'erreur qui lui est liée. Cette erreur représente la différence que l'on remarque entre 2 résultats qui devraient théoriquement être égaux. Ainsi, deux mesures successives d'une même quantité diffèrent, de même les résultats déduits des observations ne coïncident pas avec leur valeur obtenue par le calcul. Les erreurs sont de 2 types : systématique ou accidentelle.

Les erreurs systématiques

L'erreur systématique, par définition, peut et doit être déterminée et éliminée. Ce type d'erreur provient soit de l'observation qui n'a, par exemple, pas été réduite convenablement, soit des théories utilisées pour le calcul. Une phase non corrigée, une mauvaise détermination de l'échelle entraînent une erreur systématique. Une modélisation adéquate de ces effets permet alors l'élimination de l'erreur systématique induite. De mauvaises constantes dans la théorie ont un effet similaire. La correction de ces constantes, c'est-à-dire un meilleur ajustement de la théorie sur les observations élimine également les erreurs systématiques. Ensuite, il est important de dépister des erreurs systématiques qui subsistent après les corrections envisagées précédemment. On peut ainsi mettre en évidence des effets imprévus mais essentiels : par exemple déceler une mauvaise utilisation des techniques d'observation ou une lacune grave dans le développement de la théorie.

Les erreurs accidentelles.

L'erreur accidentelle ou aléatoire a pour cause, par définition, des phénomènes que l'on ne peut mettre en équation même s'ils sont identifiables.

Il est impossible de corriger cette erreur a priori mais on peut en déterminer la grandeur a posteriori, ce qui permet d'apprécier la qualité et la fiabilité de l'ensemble d'observations affecté de cette erreur ou des résultats que l'on tire de cet ensemble d'observations.

Détermination de l'erreur accidentelle.

Soit une série de n observations indépendantes. Chaque observation se traduit par la connaissance d'une quantité Q_o^i (ou de plusieurs quantités, mais nous dirons alors qu'il s'agit de plusieurs observations). Le calcul nous donne par ailleurs pour chaque observation une quantité Q_c^i qui doit être égale à Q_o^i . Nous supposons que les erreurs systématiques ont déjà été éliminées. Ainsi on aura la relation d'observation :

$$Q_o^i - Q_c^i = r_i \quad (1)$$

où r_i est le résidu de l'observation i dû à l'erreur accidentelle. Nous considérerons qu'un estimateur de l'écart-type de la série, ou erreur standard, ou erreur quadratique moyenne, ou dispersion, est donné par la formule (Linnick 1963):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n}} \quad (2)$$

Cet estimateur ne sera pas biaisé dans la mesure où les quantités Q_o^i de la relation (1) sont rapportées à une origine elle-même observée (quantités relatives et non absolues). Sinon, le dénominateur devra être $n-1$. L'écart probable (ou erreur probable) d'une observation (souvent confondu à tort avec l'écart-type) est :

$$e = 0,6745 \sigma \quad (3)$$

Cela signifie que la probabilité pour une observation d'avoir un écart à la valeur réelle inférieure à e est de 50% pourvu que la loi de répartition des

erreurs soit gaussienne (Levallois 1969).

Application aux observations photographiques des satellites galiléens.

La donnée d'observation est ici la mesure des positions des satellites sur la plaque photographique. Par rapport à une origine arbitraire ou non, dans un repère donné, on mesure 2 coordonnées (par exemple X et Y de la figure 4) permettant de repérer un satellite. Sur une plaque où sont présents les 4 satellites on a donc les 8 valeurs mesurées-observées X_o^α, Y_o^α , $\alpha = 1, 4$. On supposera l'absence d'erreur systématique sauf dans le cas d'un centre de référence arbitraire, impliquant par définition une erreur de centre systématique.

a) Cas où le centre de référence est arbitraire

Dans ce cas, seules 6 de ces valeurs sont indépendantes. Quand on les identifie à une valeur calculée, le centre est inconnu et il faut le choisir en liaison avec les 8 quantités observées. On choisit par exemple comme origine l'un des satellites ou le centre de gravité des satellites observés. De plus, étant donné que l'on dispose de 2 données par satellite pour chaque observation, l'écart-type d'une série d'observations pourra être calculé pour chaque satellite ou pour chaque composante séparément ou bien pour l'ensemble complet des données.

$$\text{Soient, } \hat{X} = \left(\sum_{\alpha=1}^4 X_o^\alpha \right) / 4 \quad \text{et} \quad \hat{Y} = \left(\sum_{\alpha=1}^4 Y_o^\alpha \right) / 4 \quad \text{et} \quad X_c, Y_c, \alpha = 1, 4$$

les coordonnées calculées des satellites par rapport à leur centre de gravité (défini par des \hat{X} et \hat{Y} théoriques). On a les 8 relations d'observation :

$$\left. \begin{aligned} (X_o^\alpha - \hat{X}) - X_c^\alpha &= X_{r_i}^\alpha \\ (Y_o^\alpha - \hat{Y}) - Y_c^\alpha &= Y_{r_i}^\alpha \end{aligned} \right\} \quad \alpha = 1, 4, \text{ observation } i \quad (4)$$

Ces 8 équations ne sont pas indépendantes du fait de l'introduction de \hat{X} et \hat{Y} comme nous l'avons vu précédemment mais sont équivalentes à 6 équations

indépendantes . L'écart-type σ_x ou σ_y relatif à une composante est :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 (x_{r_i}^{\alpha})^2}{3 N}} \quad \text{et} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 (y_{r_i}^{\alpha})^2}{3 N}} \quad (5)$$

L'écart-type σ_{α} relatif à l'un des satellites seulement est :

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(x_{r_i}^{\alpha})^2 + (y_{r_i}^{\alpha})^2]}{2 N}} \quad (6)$$

L'écart-type σ général est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 [(x_{r_i}^{\alpha})^2 + (y_{r_i}^{\alpha})^2]}{2, 3 \times N}} \quad (7)$$

Notons enfin que si les 4 satellites n'ont pas été tous observés, les dénominateurs sont respectivement, dans les formules (5), (6) et (7) : $2 N$, $2 N$ (inchangé), $2 \times 2 \times N$ dans le cas de 3 satellites observés et N, N (inchangé), $2 \times 1 \times N$ dans le cas de 2 satellites. Si un seul satellite est observé avec un centre de référence arbitraire, l'observation est bien entendu inutilisable.

b) Cas où le centre de référence est connu

C'est le cas où les positions des satellites sont repérées au centre de la planète Jupiter et où l'on désire conserver l'information donnée par la planète que l'on ne considère pas entachée d'erreur systématique (sinon on se ramène au cas a)).

Les relations d'observations (4) sont alors :

$$\left. \begin{aligned} X_o^{\alpha} - X_c^{\alpha} &= x_{r_i}^{\alpha} \\ Y_o^{\alpha} - Y_c^{\alpha} &= y_{r_i}^{\alpha} \end{aligned} \right\} \alpha = 1, 4, \text{ observation } i \quad (8)$$

Ces 8 équations sont indépendantes.

On a aussi, comme précédemment :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 (x r_i^\alpha)^2}{4 N}} \quad \text{et} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 (y r_i^\alpha)^2}{4 N}} \quad (9)$$

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(x r_i^\alpha)^2 + (y r_i^\alpha)^2]}{2 N}} \quad (10)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 [(x r_i^\alpha)^2 + (y r_i^\alpha)^2]}{2 \times 4 \times N}} \quad (11)$$

Si les 4 satellites n'ont pas été tous observés, les dénominateurs sont respectivement, dans les formules (9), (10) et (11) : $3N$, $2N$ (inchangé), $2 \times 2 \times N$ pour 2 satellites observés et N , $2N$ et $2 \times 1 \times N$ pour un seul satellite observé.

Si le nombre de satellites observés varie d'une observation à une autre - ce qui est souvent le cas - le $3N$ des dénominateurs (cas a)) et le $4N$ (cas b)) deviennent respectivement $\sum_{i=1}^N (\mathcal{N}_s^i - 1)$ et $\sum_{i=1}^N \mathcal{N}_s^i$

où \mathcal{N}_s^i est le nombre de satellites observés lors de l'observation i .

On applique le même principe dans le cas où les 2 composantes X et Y n'ont pas toujours été observées toutes deux. C'est un cas assez rare mais qui se produit parfois (rejet d'une mesure aberrante ou perte des données).

Cas où les résidus sont entachés d'erreurs systématiques

a) Moyenne non nulle des résidus provenant d'une simple erreur de centrage

Jusqu'ici nous avons supposé que les résidus r_i n'étaient pas entachés d'erreur systématique. Supposons qu'il existe une telle erreur systématique entraînant que :

$$\left. \begin{aligned} \left(\sum_{i=1}^N x_{r_i}^{\alpha} \right) / N &= \hat{x}_r^{\alpha} \neq 0 \\ \left(\sum_{i=1}^N y_{r_i}^{\alpha} \right) / N &= \hat{y}_r^{\alpha} \neq 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

On peut alors remplacer $x_{r_i}^{\alpha}$ et $y_{r_i}^{\alpha}$ des formules (5), (6), (7) et (9), (10), (11) respectivement par $x_{r_i}^{\alpha} - \hat{x}_r^{\alpha}$ et $y_{r_i}^{\alpha} - \hat{y}_r^{\alpha}$. Ainsi l'écart-type sera meilleur mais cela n'est justifié que si l'on a une idée de l'origine de cette erreur systématique. Si cette erreur est aléatoire pour une très longue période de temps (et apparaît comme systématique sur une courte période sans possibilité de correction), il ne convient pas de l'éliminer de la sorte. Notons que les formules (5), (6), (7) et (9), (10), (11) transformées, voient également leurs dénominateurs modifiés, les $8N$ équations (8) cessant d'être indépendantes : seules $2 \times 4 \times (N-1)$ d'entre elles le sont. Les dénominateurs deviennent :

formule :	dénominateur
(5) \longrightarrow	$3(N-1)$ (5')
(6) \longrightarrow	$2(N-1)$ (6')
(7) \longrightarrow	$2 \times 3 \times (N-1)$ (7')
(9) \longrightarrow	$4(N-1)$ (9')
(10) \longrightarrow	$2 \times (N-1)$ (10')
(11) \longrightarrow	$2 \times 4 \times (N-1)$ (11')

b) Cas où la correction des erreurs systématiques exige la modification de paramètres liés au calcul des positions théoriques : les écarts-type dits "après solution".

Supposons maintenant que les résidus r_i des équations (4) ou (8) sont affectés d'erreurs systématiques importantes dues à la mauvaise connaissance de quantités nécessaires à la réduction ou de constantes de la théorie utilisée pour la détermination des positions calculées. Dès lors, la différence constatée entre l'observation et le calcul est considérée comme venant des mauvaises valeurs des quantités sus-dites. Pour déterminer de bonnes valeurs, on écrira, pour chaque observation, les équations suivantes :

$$\left. \begin{aligned} X_o^\alpha - X_c^\alpha &= F_x (\dots \Delta q_k \dots) \\ Y_o^\alpha - Y_c^\alpha &= F_y (\dots \Delta q_k \dots) \end{aligned} \right\} \alpha = 1, 4 \text{ pour chaque observation } i \quad (13)$$

où Δq_k sont les corrections cherchées ($k = 1, p$). Les inconnues Δq_k peuvent être liées à l'un des satellites ou non, et à l'une ou l'autre des composantes ; il en est de même des fonctions F_x et F_y .

Pour pouvoir résoudre le système d'équations, il faut linéariser les fonctions F_x et F_y , ce qui est toujours possible si l'on connaît des valeurs approchées des Δq_k . On a alors un système de $8N$ équations (N observations des 4 satellites selon 2 composantes X et Y) avec p inconnues Δq_k ($k = 1, p$). Ce système peut alors se résoudre par la méthode des moindres carrés. Nous supposons cette méthode applicable et ne rentrerons pas dans les détails techniques liés à cette méthode ou aux problèmes de pondération qui sont évoqués dans le chapitre 6 (2ème partie).

La méthode des moindres carrés donne des valeurs aux inconnues Δq_k , $k = 1, p$. Nous désignerons ces valeurs par $\bar{\Delta q}_k$. Il est alors possible de déterminer un écart-type (dit "après solution") permettant de se rendre compte de la diminution d'influence des erreurs systématiques que l'on a tenté d'éliminer. On considère alors le résidu "après solution" des équations (13):

$$\left. \begin{aligned} X_o^\alpha - X_c^\alpha - F_x (\dots \bar{\Delta}q_k, \dots) &= x r_i^\alpha \\ Y_o^\alpha - Y_c^\alpha - F_y (\dots \bar{\Delta}q_k, \dots) &= y r_i^\alpha \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \alpha = 1, 4 \\ \text{et } k = 1, p \text{ pour} \\ \text{chaque observation } i \end{array} \quad (14)$$

On remarque que le système (14) est en fait une généralisation des systèmes (4) et (8). Dans le cas du système (4), la fonction F_x est la même quel que soit α et est la correction \hat{X} nécessaire pour ramener le centre de référence arbitraire au centre de gravité des satellites observés par rapport auquel on a calculé X_c^α (de même pour Y). Dans la cas du système (8) les fonctions F_x et F_y sont identiquement nulles. D'où la définition de l'écart-type après solution :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 [(x r_i^\alpha)^2 + (y r_i^\alpha)^2]}{(2 \times 4 \times N) - p}} \quad (15)$$

Dans le cas du système (4), on a $p = 2N$ (2 inconnues \hat{X} et \hat{Y} par observation) et le dénominateur devient donc $2 \times 3 \times N$. On a de même σ_x , σ_y et σ_α . Pour ces derniers cas, il faut alors vérifier si les inconnues sont toujours présentes dans les équations concernant les différents satellites et composants.

Pour en terminer avec la définition de l'écart-type, signalons que l'on peut ajouter aux systèmes (14), (8) ou (4) des équations supplémentaires qui sont des contraintes que doivent satisfaire les inconnues. Cela revient à diminuer le nombre d'inconnues du nombre de ces équations.

La définition (15) de l'écart-type peut être ainsi généralisée (cas des observations photographiques des satellites galiléens).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^4 [(x r_i^\alpha)^2 + (y r_i^\alpha)^2]}{(2 \times 4 \times N) - p + r}} \quad (16)$$

de même que la définition (2) (cas général) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n-p+r}} \quad (17)$$

où l'on a :

n = nombre d'observations

p = nombre d'inconnues introduites pour éliminer les erreurs systématiques

r = nombre d'équations supplémentaires liant les inconnues introduites.

Les erreurs sur la détermination des corrections Δq_k

La présence d'erreur accidentelle lors des observations implique que l'on commette une erreur sur la détermination de chacune des valeurs Δq_k calculées lors de la résolution du système (13). Ce système de $8N$ équations à p inconnues peut en général être résolu par la méthode des moindres carrés (pourvu que $8N$ soit très supérieur à p , en particulier) qui transforme tout d'abord la matrice $8N \times p$ en matrice carrée $p \times p$ symétrique dite matrice normale (pour plus de détails sur la méthode des moindres carrés on se reportera à Levallois 1969, à Linnick 1963 ou à Van der Waerden 1967). La résolution du système se fait donc ensuite par inversion de la matrice normale.

Soit $A^{-1} = [a_{ij}]$ la matrice inverse de la matrice normale et a_{kk} le terme de la diagonale principale de cette matrice inverse correspondant à l'inconnue Δq_k de rang k ; l'erreur moyenne sur Δq_k est donnée par $\sigma \sqrt{a_{kk}}$, où σ est l'écart-type "après solution" de la série d'observation. L'erreur probable sur Δq_k est alors $0,6745 \times \sigma \sqrt{a_{kk}}$ (cf (3)).

La corrélation entre les variables Δq_k

Il est important de savoir si 2 inconnues introduites pour la recherche des erreurs systématiques sont bien indépendantes c'est-à-dire de savoir si elles sont corrélées ou non et si oui, de quelle manière. Par exemple, 2 coefficients inconnus de termes périodiques dont la période est très proche, seront étroitement corrélés si la durée de l'intervalle de distribution des observations est trop courte. Par l'intermédiaire des corrélations, on saura ainsi s'il est licite d'effectuer une résolution pour ces deux inconnues simultanément.

Si $A^{-1} = [a_{ij}]$ est la matrice inverse de la matrice normale, pour la corrélation entre l'inconnue de rang i et celle de rang j nous prendrons la définition suivante :

$$\frac{a_{ij}}{\sqrt{a_{ii} \times a_{jj}}}$$

Pour plus de détails sur les corrélations on se reportera à Van der Waerden 1967.

Cas de séries d'observations particulières

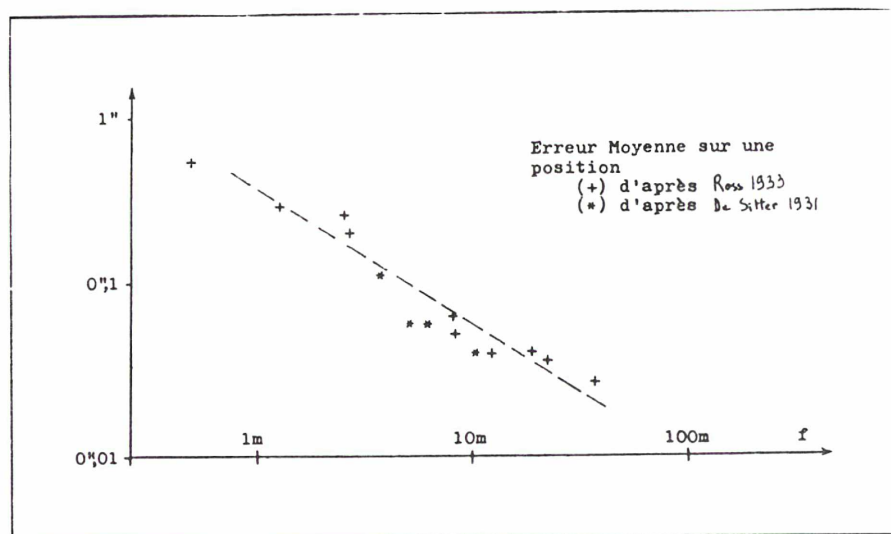
Il peut arriver que certaines séries d'observations ne contiennent pas les données brutes mais des moyennes de plusieurs observations : au lieu de donner les 5 ou 6 clichés d'une plaque photographique, on donnera seulement leur moyenne. Il est évident que dans ce cas, l'écart-type de la série ne contiendra pas toute l'erreur accidentelle du fait des moyennes effectuées. Dans ce cas, si le nombre de relations d'observation est ramené de N à N/n par l'effet des moyennes, l'écart-type, pour être comparable à ceux des séries normales devra être, non σ , mais $\sigma\sqrt{n}$.

Notons cependant l'intérêt de l'écart-type calculé à partir de moyennes entre les observations. On élimine ainsi une bonne part de l'erreur accidentelle et il est alors plus facile de voir si les erreurs systématiques

sont bien toutes éliminées et donc de comparer diverses corrections tendant à éliminer ces erreurs.

L'écart-type "attendu" des séries d'observations

Lorsque l'écart-type n'est dû qu'à l'erreur accidentelle, l'instrumentation utilisée pour les observations est responsable de la grandeur de cet écart-type. En particulier, cette grandeur est théoriquement directement fonction de la distance focale du télescope utilisé. Cette correspondance a été étudiée par S. Ferraz-Mello à partir de données de Ross et De Sitter (Ferraz-Mello 1967, Ross 1933, De Sitter 1931) et est montrée sur la figure suivante :



Notons que la réduction des observations ainsi que d'autres causes comme la distance zénithale trop grande lors des observations engendrent également des erreurs. De toutes façons il est intéressant de voir où se situe l'écart-type d'une série sur la figure ci-dessus, cela permet d'apprécier la qualité de la série.

Références :

- Ferraz-Mello, S. 1967 : Thèse de doctorat ès-sciences, 2e sujet, Faculté des Sciences de Paris
 Ross, F. E. , 1933 : Ap. J. , vol. 77 , p. 243
 De Sitter, W. , 1931 : Monthly Notices of the R. A. S. , Vol. 91, p. 706
 Levallois, J. J. , 1969 : Géodésie générale, tome I, Editions Eyrolles, Paris
 Linnick, Y. V. , 1963 : Méthode des moindres carrés, Dunod, Paris
 Van Der Waerden, B. L. , 1967 : Statistique mathématique, Dunod, Paris.

ANNEXE B

LES OBSERVATIONS :

On trouvera ci-après:

- chaque observation individuelle ou point moyen avec la date UT correspondante
- les (O-C) correspondant à cette observation, calculés avec les éphémérides SV2 et G-5 (cf chapitre 1, 2ème partie)

N. B. :

- les données sont en secondes d'arc dans un repère tangentiel à la sphère céleste (cf figure 4, chapitre 3, 1ère partie); elles sont corrigées de la réfraction différentielle.
- les astérisques indiquent qu'il n'y a pas eu d'observation pour le satellite ou la composante concerné.
- les tables 1 à 5 (cf chapitre 2) reprennent certaines caractéristiques de ces séries d'observations.

SERIES D'OBSERVATIONS ANCIENNES effectuées à Helsingfors (Finlande) de 1891 à 1897 et à Pulkovo (Russie) de 1895

à 1910 sur une lunette "Carte du Ciel" (f=3,4m)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)						Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1891-9-22	20	36	8			-104.70	-56.90	161.61	*****	-51.33	-29.72	81.05	*****	0.19	-0.50	0.30	*****	-0.03	-0.25	0.29	*****	0.24	-0.59	0.35	*****	0.03	-0.24	0.21	*****
1891-9-22	20	40	36			-105.78	-57.09	162.87	*****	-51.67	-29.71	81.39	*****	-0.16	-0.32	0.47	*****	-0.05	-0.07	0.12	*****	-0.11	-0.40	0.52	*****	0.02	-0.06	0.05	*****
1891-9-24	20	37	13			-81.69	*****	81.69	*****	-33.89	*****	33.89	*****	-0.44	*****	0.44	*****	-0.08	*****	0.08	*****	-0.40	*****	0.40	*****	-0.08	*****	0.08	*****
1891-10-3	18	57	15			107.58	*****	-107.58	*****	49.45	*****	-49.45	*****	0.11	*****	-0.11	*****	-0.02	*****	0.02	*****	0.18	*****	-0.18	*****	-0.05	*****	0.05	*****
1891-10-3	21	31	53			45.03	109.13	-154.16	*****	22.27	*****	-69.46	*****	0.10	0.18	-0.28	*****	-0.11	-0.09	0.20	*****	0.13	0.20	-0.33	*****	-0.14	-0.11	0.25	*****
1891-10-5	20	37	5			-208.00	37.57	*****	170.43	-90.12	24.76	*****	65.36	-0.53	0.05	*****	0.48	0.05	0.11	*****	-0.16	-0.56	0.07	*****	0.50	-0.05	0.01	*****	0.04
1891-10-13	21	39	22			-59.70	-8.16	67.86	*****	-30.49	-6.93	37.42	*****	-0.11	0.03	0.08	*****	-0.04	0.05	-0.01	*****	-0.09	-0.05	0.14	*****	0.02	0.07	-0.09	*****
1891-10-29	19	19	51			32.90	-220.41	187.51	*****	14.34	-95.96	81.62	*****	0.16	-0.87	0.72	*****	-0.09	0.01	0.09	*****	0.19	-0.93	0.74	*****	-0.04	-0.05	0.08	*****
1891-10-31	18	14	7			60.49	143.17	-183.64	-20.02	23.85	61.83	-89.46	3.79	0.24	0.55	-0.75	-0.04	-0.07	0.02	0.02	0.03	0.36	0.55	-0.78	-0.13	-0.01	0.03	0.09	-0.12
1891-11-2	17	52	48			37.93	48.44	-86.36	*****	11.46	23.12	-34.57	*****	0.11	0.20	-0.31	*****	-0.12	-0.00	0.12	*****	0.14	0.13	-0.27	*****	-0.08	-0.06	0.15	*****
1891-12-3	18	47	17			140.16	-90.04	*****	-50.12	62.38	-46.84	*****	-15.54	0.09	-0.07	*****	-0.02	-0.18	0.13	*****	0.05	0.06	-0.01	*****	-0.05	-0.15	0.17	*****	-0.02
1891-12-5	16	33	32			-62.13	8.51	*****	53.62	-31.04	1.78	*****	29.26	0.04	-0.02	*****	-0.01	0.01	0.01	*****	-0.02	0.05	0.02	*****	-0.07	0.00	0.02	*****	-0.02
1891-12-19	18	49	49			83.51	153.86	*****	-237.37	35.37	68.34	*****	-103.71	-0.01	-0.04	*****	0.04	-0.16	-0.27	*****	0.43	-0.03	0.00	*****	0.03	-0.11	-0.20	*****	0.31
1891-12-22	16	21	18			46.32	*****	-46.32	*****	19.34	*****	-19.34	*****	-0.01	*****	0.01	*****	-0.14	*****	0.14	*****	-0.05	*****	0.05	*****	-0.17	*****	0.17	*****
1892-8-21	22	43	51			165.02	175.26	-261.90	-78.37	81.95	73.50	-101.20	-54.25	-0.22	-0.02	0.16	0.09	-0.03	-0.02	-0.09	0.14	-0.31	-0.01	0.10	0.22	-0.02	0.08	-0.06	0.01
1892-8-22	22	57	2			82.38	29.39	5.19	-116.97	39.01	9.14	22.40	-70.55	-0.13	-0.04	-0.04	0.21	-0.05	-0.10	0.07	0.07	-0.23	-0.07	0.01	0.29	0.01	-0.05	0.12	-0.08
1892-8-24	22	52	21			-47.23	236.99	317.58	-507.34	-17.10	98.80	141.00	-222.70	0.13	-0.27	-0.31	0.45	0.01	-0.02	0.35	-0.33	0.01	-0.30	-0.23	0.52	0.03	0.07	0.40	-0.50
1892-8-25	21	25	38			127.68	*****	363.14	-490.82	49.44	*****	148.99	-198.43	-0.04	*****	-0.15	0.19	0.05	*****	0.13	-0.18	0.03	*****	-0.19	0.16	0.14	*****	0.20	-0.34
1892-8-31	0	2	24			29.86	-166.66	-61.59	198.39	-4.56	-72.99	-19.25	96.80	0.04	0.04	-0.06	-0.02	0.07	0.05	0.15	-0.27	0.10	-0.10	0.14	-0.14	0.07	0.03	0.09	-0.13
1892-9-6	23	48	24			125.18	-114.70	*****	-10.47	60.42	-30.24	*****	-30.18	-0.10	0.05	*****	0.04	-0.10	0.01	*****	0.09	-0.09	-0.10	*****	0.20	-0.04	-0.00	*****	0.05
1892-9-7	23	33	2			-144.66	167.74	219.23	-242.31	-56.45	78.80	109.41	-131.76	0.12	-0.04	-0.17	0.09	-0.13	-0.14	0.08	0.19	0.01	-0.13	-0.12	0.23	-0.09	-0.07	0.11	0.06
1892-9-13	0	46	55			126.50	102.11	-41.41	-187.21	44.87	26.96	-10.54	-61.29	-0.06	-0.08	0.09	0.05	-0.06	-0.05	0.14	-0.03	-0.04	-0.02	0.13	-0.07	-0.02	0.02	0.14	-0.10
1892-9-14	23	34	23			-219.19	90.79	128.40	*****	-100.97	38.09	62.88	*****	0.09	0.02	-0.11	*****	-0.02	-0.06	0.08	*****	0.06	-0.05	-0.01	*****	-0.01	-0.04	0.05	*****
1892-9-18	23	13	27			*****	37.64	-460.14	422.50	*****	16.69	-204.96	188.28	*****	-0.09	0.05	0.04	*****	0.09	0.05	-0.14	*****	-0.02	-0.00	0.02	*****	0.03	-0.04	0.01
1892-9-20	22	24	5			21.45	-256.20	-189.88	424.63	11.33	-107.12	-63.53	159.31	0.01	0.03	-0.07	0.03	-0.03	-0.02	0.14	-0.09	-0.05	-0.06	0.06	0.05	-0.07	-0.09	0.08	0.09
1892-9-23	23	25	57			-67.38	-163.92	283.51	-52.20	-10.81	-64.05	118.66	-43.80	0.01	-0.07	-0.01	0.07	-0.01	-0.08	-0.10	0.19	-0.09	-0.04	-0.09	0.23	-0.02	-0.07	-0.01	0.10
1892-9-26	21	59	53			*****	274.15	-18.41	-255.74	*****	110.11	3.21	-113.33	*****	-0.17	0.03	0.14	*****	-0.12	-0.02	0.14	*****	-0.14	-0.03	0.17	*****	-0.00	0.05	-0.05
1892-10-1	21	57	47			88.84	-104.63	13.05	2.74	28.63	-37.73	-21.72	30.82	-0.08	0.10	0.04	-0.05	0.00	0.10	-0.01	-0.09	0.09	0.02	0.00	-0.11	0.01	0.01	0.02	-0.04
1892-10-3	18	54	17			29.08	-3.12	-387.96	362.00	4.43	-15.94	-169.77	181.28	-0.06	-0.09	0.10	0.05	0.04	-0.03	0.06	-0.07	0.05	-0.01	0.07	-0.10	0.02	-0.06	-0.02	0.06
1892-10-17	22	36	18			149.50	133.67	-260.21	-22.95	55.90	43.21	-119.88	20.77	-0.01	-0.13	0.10	0.05	-0.02	-0.05	0.09	-0.02	0.10	-0.07	0.06	-0.09	-0.00	-0.04	0.08	-0.04
1892-10-18	21	51	13			60.70	-115.77	-157.76	212.83	21.94	-67.72	-67.85	113.63	-0.19	0.02	0.09	0.08	-0.14	0.08	0.15	-0.09	-0.27	0.06	0.24	-0.03	-0.19	0.05	0.14	0.01
1892-10-25	20	40	26			6.88	-104.38	-193.21	290.70	14.76	-48.10	-69.04	102.38	0.08	-0.08	-0.02	0.02	0.03	-0.07	0.01	0.03	-0.04	-0.07	0.03	0.08	-0.00	-0.08	0.01	0.07
1892-10-26	18	58	33			83.92	-46.57	-45.71	8.36	31.47	-6.82	2.93	-27.58	0.03	0.11	-0.06	-0.08	-0.16	-0.14	0.17	0.13	0.07	-0.10	0.03	0.00	-0.08	-0.17	0.16	0.09
1892-11-3	18	23	9			-125.84	132.45	108.02	-114.63	-64.59	48.87	50.76	-35.04	0.15	-0.07	-0.16	0.08	-0.03	0.02	0.12	-0.10	0.10	-0.06	-0.01	-0.02	-0.06	0.04	0.07	-0.06
1892-11-24	21	40	41			-270.66	-16.47	-91.45	378.58	-124.12	-7.17	-30.16	161.44	-0.02	0.01	-0.15	0.15	0.14	0.06	0.18	-0.38	-0.07	-0.01	-0.01	0.09	0.07	0.01	0.08	-0.16
1892-11-25	18	59	40			-164.05	-140.03	29.34	274.74	-75.44	-68.29	26.77	116.96	-0.01	-0.07	-0.07	0.15	0.09	0.03	0.14	-0.25	0.03	-0.07	-0.04	0.07	0.06	-0.00	0.03	-0.08
1892-12-10	19	12	55			-113.61	-162.99	276.60	*****	-44.73	-80.45	125.18	*****	-0.04	0.04	-0.01	*****	0.02	0.04	-0.06	*****	-0.11	0.10	0.02	*****	0.00	0.03	-0.03	*****
1892-12-20	17	49	6			*****	292.18	-28.82	-263.36	*****	126.12	-19.32	-106.80	*****	-0.04	0.02	0.01	*****	-0.08	0.00	0.07	*****	0.02	-0.04	0.02	*****	-0.02	0.09	-0.07
1892-12-21	19	9	20			246.77	12.99	-80.50	-179.27	110.76	-3.60	-37.12	-70.04	-0.07	-0.02	0.06	0.03	-0.10	-0.08	0.17	0.01	-0.11	0.01	0.10	-0.00	-0.09	-0.06	0.22	-0.06
1893-1-7	17	53	40			-33.00	*****	300.76	-267.76	-25.41	*****	135.31	-109.91	-0.01	*****	0.09	-0.07	-0.11	*****	-0.01	0.12	0.01	*****	0.13	-0.14	-0.05	*****	-0.01	0.06
1893-1-25	19	5	24			45.56	57.13	-112.37	9.68	21.12	13.91	-57.91	22.88	0.04	-0.11	-0.01	0.07	-0.00	-0.05	0.00	0.05	0.02	-0.01	-0.01	-0.00	-0.02	-0.06	0.03	0.05
1893-2-14	17	37	22			-98.07	-7.79	-96.29	192.15	-35.97	-0.53	-57.21	93.71	-0.04	-0.00	-0.03	0.07	0.03	0.08	0.01	-0.12	-0.04	0.05	-0.03	0.02	-0.06	0.04	0.02	-0.01
1893-3-11	18	17	37			125.68	178.56	-40.96	-263.28	51.36	76.04	-4.45	-122.95	-0.11	-0.02	0.06	0.07	-0.13	-0.19	0.12	0.20	-0.15	-0.06	0.09	0.13	-0.08	-0.12	0.13	0.07
1893-10-20	23	43	25			139.85	*****	152.75	-292.59	11.26	*****	38.56	-49.82	-0.10	*****	-0.04	0.15	0.05	*****	0.06	-0.11	-0.03	*****	0.01	0.02	0.06	*****	-0.03	-0.03
1893-10-21	21	57	24			-185.77	136.84	245.44	-196.50	-46.46	18.94	49.53	-22.01	-0.07	-0.06	-0.13	0.12	0.28	0.24	0.29	-0.82	0.03	-0.01	-0.06	0.05	0.18	0.23	0.28	-0.69

date (UT)				Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5										
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1893	-11	-7	21	59	26	*****	95.60	-113.47	17.87	*****	27.11	-55.98	28.87	*****	-0.09	-0.10	0.19	*****	0.14	0.12	-0.26	*****	-0.10	-0.10	0.20	*****	0.05	0.08	-0.13	
1893	-11	-8	21	8	16	*****	184.39	-363.13	178.73	*****	29.95	-97.60	67.64	*****	-0.08	0.03	0.05	*****	0.0	0.22	-0.22	*****	0.00	0.02	-0.02	*****	-0.03	0.09	-0.06	
1893	-11	-9	17	43	50	*****	-71.86	-309.11	380.97	*****	-39.85	-69.64	109.49	*****	0.05	-0.01	-0.04	*****	0.09	0.32	-0.41	*****	0.15	0.01	-0.16	*****	0.04	0.17	-0.21	
1893	-11	-13	22	31	13	*****	-185.20	-314.75	89.70	*****	-28.87	-68.20	10.49	*****	0.08	-0.08	-0.03	0.03	0.02	0.05	-0.09	0.03	0.01	-0.06	-0.09	0.15	-0.05	0.05	-0.01	0.01
1893	-11	-15	21	23	18	*****	216.38	-329.89	113.51	*****	63.69	-72.08	8.40	*****	-0.03	0.01	0.02	*****	-0.03	-0.17	0.20	*****	-0.05	-0.10	0.15	*****	0.08	-0.13	0.05	
1893	-12	-5	18	33	8	*****	258.64	-15.29	175.53	*****	-418.88	74.34	13.57	-0.17	0.10	-0.22	0.29	0.05	-0.07	0.05	-0.03	-0.12	0.01	-0.31	0.42	0.08	-0.05	0.16	-0.20	
1893	-12	-17	17	37	36	*****	-79.67	-13.45	93.12	*****	-17.85	12.58	5.28	*****	0.08	-0.22	0.14	*****	0.02	-0.03	0.01	*****	0.03	-0.24	0.21	*****	0.07	-0.02	-0.05	
1893	-12	-18	18	22	48	*****	-156.16	-166.84	236.26	*****	-34.51	-44.02	7.37	*****	-0.03	-0.08	0.02	0.09	-0.07	0.00	-0.18	0.24	-0.01	-0.06	-0.09	0.16	0.01	0.02	-0.10	0.08
1894	-1	-24	17	50	21	*****	114.74	211.20	-325.94	*****	49.60	47.53	-97.13	*****	0.28	-0.09	-0.19	*****	-0.00	0.07	-0.07	*****	0.23	-0.14	-0.09	*****	0.02	0.19	-0.21	
1894	-2	-2	18	43	51	*****	-113.51	*****	-344.61	458.12	-36.31	*****	-95.93	132.24	-0.07	*****	-0.04	0.11	0.10	*****	0.17	-0.27	0.01	*****	-0.08	-0.07	0.09	*****	0.05	-0.15
1894	-2	-7	18	33	23	*****	25.81	-122.55	96.74	*****	5.16	-20.06	14.90	*****	-0.14	0.08	0.06	*****	0.01	0.06	-0.06	*****	-0.03	0.02	0.02	*****	0.03	-0.01	-0.03	*****
1894	-2	-8	20	51	55	*****	244.73	-74.31	-170.42	*****	79.77	-22.66	-57.11	*****	-0.01	0.02	-0.01	*****	-0.05	-0.05	0.10	*****	-0.03	-0.08	0.11	*****	0.03	0.04	-0.07	
1894	-2	-9	18	28	19	*****	197.94	*****	-52.66	-145.28	56.75	*****	-9.07	-47.68	0.04	*****	-0.03	-0.01	-0.05	*****	0.00	0.05	0.08	*****	-0.12	0.04	0.08	*****	0.03	-0.10
1894	-2	-22	17	42	3	*****	-160.39	52.23	207.43	*****	-32.23	26.75	-35.62	41.10	-0.08	-0.06	0.15	-0.01	-0.07	0.01	0.08	-0.02	-0.13	-0.07	0.11	0.09	-0.10	0.03	0.15	-0.08
1894	-4	-10	19	26	39	*****	-56.02	34.45	21.58	*****	-16.66	0.93	15.72	*****	-0.33	0.10	0.23	*****	-0.03	-0.03	0.06	*****	-0.29	0.08	0.21	*****	0.03	-0.05	0.02	*****
1894	-4	-13	19	34	1	*****	-100.32	-24.83	*****	125.15	-14.50	0.29	*****	0.03	0.08	*****	-0.11	0.03	-0.02	*****	-0.00	-0.03	0.08	*****	-0.04	0.03	0.02	*****	-0.05	
1894	-12	-6	23	30	16	139.34	-78.53	-74.67	13.86	3.12	18.70	-3.88	-17.95	-0.06	-0.04	-0.08	0.18	-0.09	-0.11	-0.05	0.24	-0.11	-0.06	-0.15	0.32	-0.00	-0.04	0.02	0.03	
1894	-12	-15	23	17	29	117.03	53.34	-342.34	171.97	-8.38	-17.27	14.01	11.64	-0.04	0.08	0.10	-0.14	0.03	0.11	0.06	-0.20	-0.07	0.16	0.09	-0.17	0.04	0.06	-0.11	0.00	
1894	-12	-17	22	29	15	-206.73	*****	*****	206.73	-1.17	*****	*****	1.17	-0.05	*****	*****	-0.05	0.03	*****	*****	-0.03	0.08	*****	*****	-0.08	0.01	*****	*****	-0.01	
1894	-12	-28	19	1	29	203.04	246.71	-60.65	-389.09	-10.41	3.34	-9.39	16.47	0.15	-0.00	0.08	0.08	0.03	0.02	0.21	-0.26	0.04	-0.06	-0.04	0.05	0.06	-0.03	0.15	-0.17	
1895	-1	-2	18	44	1	-98.00	-192.92	94.00	196.92	0.23	-7.05	-7.89	14.71	0.04	0.06	-0.05	-0.05	0.10	0.23	-0.01	-0.32	0.06	0.13	-0.11	-0.08	0.08	0.13	-0.00	-0.21	
1895	-1	-24	17	36	43	-158.11	-210.04	194.54	173.60	7.36	3.62	-1.15	-9.84	0.09	-0.11	0.01	0.01	-0.16	-0.05	-0.11	0.32	0.10	-0.09	-0.09	0.08	-0.16	0.01	0.04	0.10	
1895	-1	-28	18	44	51	*****	80.43	185.45	-265.88	*****	1.61	12.21	-13.81	*****	-0.01	-0.05	0.06	*****	0.02	0.21	-0.23	*****	-0.06	-0.00	0.06	*****	0.07	0.18	-0.26	
1895	-1	-29	17	50	36	*****	195.26	284.92	-480.18	*****	4.10	7.10	-11.20	*****	0.01	-0.06	0.05	*****	0.16	0.06	-0.22	*****	-0.04	0.01	0.03	*****	0.13	0.07	-0.21	
1895	-2	-22	18	1	26	-56.57	-303.31	-19.14	379.03	1.41	-0.42	-13.57	12.58	0.06	-0.06	-0.09	0.10	0.07	0.02	0.07	-0.16	0.02	-0.06	-0.13	0.17	0.02	-0.01	0.08	-0.10	
1895	-3	-9	17	52	2	-101.60	7.43	-119.52	213.69	-7.01	5.38	-14.40	16.03	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.04	0.08	0.10	-0.23	0.14	-0.02	-0.11	-0.01	-0.01	0.01	0.06	-0.07	
1895	-3	-16	18	13	33	2.25	*****	-2.25	*****	3.52	*****	-3.52	*****	-0.02	*****	0.02	*****	-0.01	*****	0.01	*****	0.09	*****	-0.09	*****	-0.01	*****	0.01	*****	
1895	-3	-19	19	5	58	260.03	19.20	41.56	-320.80	-1.68	4.18	8.90	-11.41	0.01	0.03	-0.11	0.07	0.07	-0.07	0.21	-0.20	-0.02	-0.02	-0.07	0.08	-0.14	-0.06	0.16	-0.24	
1895	-3	-22	18	28	38	47.35	-80.69	320.92	-287.57	2.70	-2.55	-8.49	8.34	0.07	-0.06	-0.09	0.07	0.18	0.01	0.14	-0.33	0.01	-0.01	-0.06	0.07	0.07	-0.01	0.18	-0.24	
1895	-11	-27	23	16	5	131.36	75.21	302.05	-508.63	-41.15	-21.21	-94.66	157.02	0.12	0.01	0.05	-0.19	0.03	0.17	0.13	-0.34	0.12	0.01	0.06	-0.19	0.05	0.06	0.16	-0.26	
1895	-11	-28	23	51	25	-51.10	206.76	288.38	-444.03	18.14	-66.53	-92.09	140.48	0.05	0.10	-0.03	-0.12	0.09	0.11	0.11	-0.31	-0.02	0.12	-0.01	-0.08	0.01	0.07	0.10	-0.18	
1896	-1	-11	22	36	42	-74.05	-165.11	*****	239.17	22.82	51.28	*****	-74.10	-0.06	0.01	*****	0.05	-0.01	-0.12	*****	0.13	-0.04	-0.01	*****	0.05	0.01	-0.01	*****	0.00	
1896	-1	-15	22	32	49	102.94	-10.20	289.10	-381.85	-29.06	5.87	-81.43	104.62	0.15	-0.04	0.03	-0.14	0.10	0.12	-0.00	-0.22	0.03	-0.04	0.10	-0.09	0.10	0.06	0.02	-0.18	
1896	-1	-17	21	10	37	61.61	145.47	310.86	-517.93	-15.06	-43.84	-90.90	149.79	0.40	0.01	-0.16	-0.24	0.12	0.21	0.10	-0.43	0.28	0.07	-0.14	-0.21	0.12	0.12	0.08	-0.32	
1896	-1	-20	23	7	57	-43.63	285.93	-242.29	*****	13.00	-83.76	70.76	*****	0.05	-0.04	-0.02	*****	-0.02	0.00	0.02	*****	0.03	0.02	-0.05	*****	-0.03	0.06	-0.02	*****	
1896	-1	-23	20	49	59	-176.93	-130.48	57.02	250.40	47.09	36.76	-17.22	-66.63	-0.03	0.06	-0.01	-0.02	0.04	0.12	-0.01	-0.15	0.08	0.00	-0.02	-0.06	0.01	0.08	0.09	-0.18	
1896	-1	-26	20	52	29	13.72	-155.47	-268.33	410.08	-3.32	46.99	72.84	-116.50	-0.02	-0.00	-0.04	0.06	-0.17	-0.07	0.20	0.04	-0.04	0.00	-0.11	0.14	0.00	-0.03	0.22	-0.18	
1896	-1	-30	22	57	29	21.69	73.46	256.28	-351.43	-5.61	-17.05	-68.42	91.08	-0.02	-0.03	0.03	0.02	0.06	0.08	-0.08	-0.07	0.09	-0.11	0.01	0.01	0.04	0.06	0.04	-0.13	
1896	-2	-1	22	36	14	128.12	-1.57	270.34	-396.89	-33.68	2.70	-75.59	106.57	0.19	0.14	-0.06	-0.27	0.12	0.10	0.16	-0.39	0.30	0.15	-0.17	-0.28	0.02	0.08	0.20	-0.29	
1896	-2	-10	21	34	42	-175.42	92.37	-403.50	486.55	45.56	-25.18	107.17	-127.55	-0.08	0.01	0.03	0.03	-0.02	0.07	0.03	-0.08	0.03	0.02	-0.03	0.04	-0.04	0.15	0.05	-0.16	
1896	-2	-11	21	20	15	150.15	86.37	-236.52	*****	-39.57	-26.49	66.06	*****	-0.03	-0.03	0.05	*****	-0.04	0.02	0.02	*****	-0.05	0.05	0.01	*****	0.05	0.00	-0.05	*****	
1896	-2	-14	19	29	48	-227.51	82.18	209.97	-64.65	63.23																				

date (UT)					Coordonnées observées									Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1897-	4-25	20	35	19	43.22	*****	122.35	-165.56	-19.40	*****	-56.92	76.32	0.03	*****	-0.08	0.05	-0.07	*****	0.19	-0.12	-0.00	*****	-0.07	0.07	-0.07	*****	0.26	-0.19	
1897-	4-26	20	23	9	-123.59	152.03	257.32	-285.75	51.30	-66.59	-110.37	125.66	-0.15	0.11	0.04	-0.01	-0.06	-0.03	0.05	0.04	-0.20	0.13	0.04	0.03	-0.08	-0.04	0.08	0.04	
1897-	4-28	20	24	4	130.12	32.99	122.71	-285.83	-57.94	-14.81	-47.28	120.03	-0.08	0.03	0.13	-0.08	0.02	0.12	0.13	-0.27	-0.10	0.02	0.05	0.03	0.07	0.05	0.05	-0.16	
1897-	5- 8	21	26	33	-89.49	-174.42	-132.32	396.23	38.50	76.45	50.58	-165.53	0.00	0.02	-0.04	0.01	-0.16	0.03	0.04	0.08	0.05	0.06	-0.07	-0.04	-0.17	0.07	0.18	-0.07	
1897-	5-15	21	25	34	155.50	65.25	54.00	-274.75	-64.35	-24.25	-27.11	115.70	0.00	0.03	0.15	-0.18	0.16	0.06	-0.01	-0.22	0.03	0.05	0.09	-0.18	0.05	-0.00	0.02	-0.07	
1897-	5-17	22	9	25	-78.15	167.46	261.84	-351.15	36.36	-71.64	-111.69	146.97	-0.11	0.23	0.09	-0.20	-0.12	0.14	-0.02	-0.00	-0.13	0.19	0.10	-0.17	-0.22	0.11	-0.01	0.13	
1897-	5-18	21	59	9	76.46	*****	192.95	-269.41	-31.27	*****	-78.87	110.15	0.07	*****	0.00	-0.07	-0.08	*****	0.13	-0.05	0.07	*****	-0.04	-0.02	-0.15	*****	0.10	0.05	
1897-	5-20	21	44	37	121.51	*****	-121.51	*****	-53.46	*****	53.46	*****	0.00	*****	-0.00	*****	-0.10	*****	0.10	*****	0.09	*****	-0.09	*****	-0.11	*****	0.11	*****	
1895-	12-27	22	38	18	67.82	*****	127.68	-195.49	-17.17	*****	-38.80	55.97	0.08	*****	-0.13	0.05	-0.22	*****	-0.03	0.25	0.07	*****	-0.18	0.11	-0.12	*****	0.01	0.11	
1895-	12-27	23	2	2	71.47	*****	125.62	-197.09	-18.17	*****	-38.17	56.34	-0.33	*****	0.07	0.26	0.06	*****	-0.11	0.05	-0.33	*****	0.01	0.31	0.15	*****	-0.07	-0.08	
1896-	1- 1	22	7	27	*****	17.64	329.69	-347.33	*****	-4.01	-99.26	103.27	*****	0.13	0.05	-0.18	*****	0.19	0.12	-0.31	*****	0.10	0.06	-0.16	*****	0.07	0.11	-0.18	
1896-	1-20	20	37	22	-45.87	285.20	-248.02	8.69	11.66	-84.63	70.50	2.47	0.03	0.07	0.08	-0.18	0.12	0.04	0.06	-0.22	0.03	0.09	0.02	-0.14	0.01	0.03	-0.04	0.01	
1896-	1-27	19	36	39	-132.03	170.91	-353.56	314.68	37.68	-47.46	100.50	-90.71	-0.09	-0.05	0.03	0.11	0.07	-0.08	-0.06	0.07	-0.03	-0.04	-0.06	0.13	0.08	0.04	-0.03	-0.10	
1896-	1-27	19	44	25	-133.03	171.98	-353.22	314.28	37.94	-47.83	100.41	-90.53	-0.18	-0.03	0.03	0.18	0.06	-0.12	-0.07	0.13	-0.12	-0.02	-0.06	0.20	0.08	-0.00	-0.04	-0.04	
1896-	2- 1	21	19	44	*****	43.16	317.88	-361.04	*****	-9.24	-88.07	97.31	*****	0.18	0.03	-0.20	*****	0.18	0.12	-0.31	*****	0.22	-0.05	-0.17	*****	0.12	0.12	-0.25	
1896-	2- 1	21	25	48	*****	43.03	317.44	-360.47	*****	-9.19	-87.98	97.17	*****	0.24	-0.05	-0.19	*****	0.16	0.13	-0.30	*****	0.29	-0.13	-0.16	*****	0.10	0.13	-0.23	
1896-	2- 3	21	31	23	79.84	382.67	-137.06	-325.45	-22.17	-105.17	37.85	89.49	0.03	0.05	0.11	-0.20	0.13	0.08	0.08	-0.29	0.10	0.06	0.02	-0.18	0.02	0.07	-0.01	-0.08	
1896-	2- 3	21	39	56	78.47	383.47	-137.16	-324.78	-21.75	-105.43	37.97	89.21	0.02	0.09	0.15	-0.26	0.16	0.06	0.16	-0.38	0.09	0.10	0.06	-0.25	0.05	0.05	0.07	-0.16	
1896-	2- 4	20	36	10	244.80	150.92	-133.09	-262.63	-67.29	-45.29	38.69	73.88	0.08	0.10	0.01	-0.19	0.05	0.09	0.19	-0.33	0.06	0.16	-0.03	-0.18	0.08	0.01	0.06	-0.15	
1896-	2- 6	20	4	44	-16.41	-98.00	114.41	*****	2.43	28.09	-30.51	*****	0.07	-0.08	0.02	*****	0.01	0.12	-0.13	*****	0.14	-0.15	0.01	*****	0.02	0.05	-0.07	*****	
1896-	2- 6	20	32	5	-22.56	-93.28	115.85	*****	4.02	26.84	-30.86	*****	0.01	-0.03	0.02	*****	-0.05	0.15	-0.10	*****	0.09	-0.10	0.01	*****	-0.05	0.08	-0.04	*****	
1896-	2- 7	22	20	19	-218.38	-0.04	147.32	71.10	59.17	-4.19	-42.62	-12.36	0.15	0.01	-0.10	-0.07	0.02	0.05	-0.01	-0.06	0.02	0.08	-0.08	-0.03	-0.01	-0.02	0.01	0.02	
1896-	2- 7	22	36	55	-214.45	-3.31	145.49	72.28	58.17	-3.32	-42.16	-12.69	0.12	0.08	-0.07	-0.13	0.07	0.03	-0.03	-0.06	-0.00	0.15	-0.05	-0.09	0.04	-0.03	-0.01	0.01	
1896-	2-19	20	58	21	116.52	38.77	161.74	-317.03	-31.41	-10.13	-38.78	80.31	-0.01	0.07	0.06	-0.13	0.15	0.11	0.13	-0.39	0.01	0.08	0.04	-0.12	0.03	0.08	0.12	-0.22	
1896-	2-19	21	23	41	113.67	36.85	166.17	-316.68	-30.62	-9.50	-40.08	80.20	0.10	0.16	0.07	-0.33	0.14	0.16	0.04	-0.34	0.11	0.16	0.05	-0.32	0.02	0.13	0.03	-0.18	
1896-	2-22	19	31	10	59.74	-87.94	188.70	-160.49	-16.27	20.13	-52.06	48.20	-0.00	0.16	-0.03	-0.13	0.01	0.08	-0.00	-0.09	0.07	0.19	-0.13	-0.14	-0.05	-0.02	-0.00	0.07	
1896-	2-22	19	50	5	58.02	-90.42	188.15	-155.75	-15.89	20.81	-51.94	47.01	-0.02	0.17	0.02	-0.16	-0.00	0.07	-0.00	-0.06	0.06	0.20	-0.09	-0.17	-0.07	-0.04	-0.01	0.11	
1896-	2-23	18	53	48	-11.44	-131.83	*****	143.27	0.31	32.77	*****	-33.08	0.08	-0.01	*****	-0.07	0.07	-0.02	*****	-0.05	-0.01	-0.01	*****	0.02	0.01	-0.10	*****	0.08	
1896-	2-23	21	20	30	*****	-134.57	-11.05	145.62	*****	35.54	-3.22	-32.32	*****	0.09	0.09	-0.18	*****	0.09	0.18	-0.27	*****	0.08	0.01	-0.09	*****	0.02	0.11	-0.14	
1896-	2-24	18	59	52	*****	63.56	-304.69	241.13	*****	-17.17	73.91	-56.74	*****	0.02	0.02	-0.04	*****	0.03	-0.05	0.02	*****	0.03	-0.06	0.03	*****	-0.01	-0.13	0.14	
1896-	2-24	21	7	10	*****	79.52	-327.41	247.89	*****	-21.61	80.55	-58.94	*****	0.05	0.04	-0.09	*****	0.11	0.36	-0.47	*****	0.06	-0.03	-0.03	*****	0.08	0.28	-0.36	
1896-	2-25	20	19	21	-26.06	43.34	-385.35	368.06	6.28	-16.61	99.51	-89.18	0.02	0.02	0.15	-0.19	0.05	-0.31	0.21	0.04	-0.07	0.11	0.11	-0.15	0.14	-0.31	0.12	0.05	
1896-	2-25	20	44	39	-20.58	37.06	-385.43	368.95	4.72	-14.60	99.46	-89.58	-0.00	0.11	-0.05	-0.06	-0.07	0.08	0.13	-0.15	-0.09	0.19	-0.09	-0.02	0.02	0.08	0.04	-0.14	
1896-	2-26	20	11	14	-130.84	-215.06	-157.23	503.12	30.84	53.01	42.35	-126.20	-0.02	0.05	0.07	-0.11	0.12	0.07	0.02	-0.20	0.04	0.06	0.02	-0.12	0.07	0.11	0.06	-0.24	
1896-	2-26	20	27	51	-133.85	-216.55	-153.66	504.06	31.65	53.34	41.46	-126.45	-0.05	0.05	0.21	-0.21	0.15	-0.03	0.02	-0.13	-0.00	0.06	0.17	-0.23	0.10	0.01	0.07	-0.17	
1896-	3- 8	19	6	3	-25.06	-113.71	138.77	*****	7.63	30.75	-38.38	*****	0.09	0.00	-0.09	*****	0.00	-0.04	0.04	*****	0.06	0.05	-0.11	*****	-0.03	-0.03	0.06	*****	
1896-	3- 8	20	31	7	-10.73	-111.83	122.56	*****	4.11	30.41	-34.52	*****	0.07	0.10	-0.17	*****	0.04	-0.07	0.03	*****	0.03	0.15	-0.18	*****	0.02	-0.07	0.04	*****	
1896-	3- 9	21	1	43	128.57	151.30	-135.04	-144.83	-34.53	-36.40	30.38	40.55	-0.03	0.15	-0.05	-0.07	0.06	0.08	0.07	-0.22	0.12	0.09	-0.16	-0.04	0.00	0.02	-0.02	-0.01	
1896-	3- 9	21	21	8	123.40	155.94	-137.31	-142.03	-33.24	-37.68	31.07	39.85	-0.05	0.16	-0.01	-0.10	0.08	0.02	0.14	-0.24	0.09	0.10	-0.12	-0.08	0.02	-0.04	0.05	-0.03	
1896-	3-11	20	7	36	11.15	-82.99	-138.68	210.52	-6.18	17.05	36.15	-47.01	0.04	0.04	0.08	-0.16	0.08	-0.01	0.05	-0.12	0.11	0.05	0.02	-0.18	-0.01	-0.03	-0.00	0.05	
1896-	3-11	20	27	1	6.43	-85.52	-134.88	213.97	-4.96	17.81	35.18	-48.03	0.02	0.06	0.08	-0.16	0.13	0.07	0.04	-0.24	0.09	0.06	0.03	-0.18	0.04	0.05	-0.01	-0.08	
1896-	3-16	19	52	48	-28.66	*****	-289.09	317.76	8.02	*****	70.93	-78.95	0.04	*****	-0.12	0.08	-0.07	*****	0.07	0.00	0.15	*****	-0.25	0.10	0.04	*****	0.13	-0.16	
1896-	3-16	20	7	27	-29.57	*****	-289.16	318.73	8.18	*****	70.96	-79.14	-0.03	*****	-0.09	0.12	-0.10	*****	0.04	0.06	0.08	*****	-0.22	0.14	0.01	*****	0.10	-0.10	
1896-	3-24	19	39	23	84.11	344.05	-127.97	-300.20	-19.73	-87.03	31.68	75.08	0.09	0.02	0.10	-0.21	-0.01	0.13	0.20	-0.32	0.01	0.09	0.06	-0.16	-0.04	0.11	0.09	-0.16	
1896-	3-24	20	0	15	87.66	342.37	-130.02	-300.01	-20.45	-86.79	32.16	75.08	0.12	0.15	0.02	-0.28	0.12	0.00	0.15	-0.27	0.04	0.22	-0.03	-0.23	0.09	-0.01	0.04	-0.11	
1896-	3-29	19	31	47	-173.26	-227.20	95.83	304.64	42.18	55.53	-28.18	-69.52	-0.02	0.07	0.02	-0.07	0.15	-0.00	0.01	-0.16	-0.00	0.12	-0.06	-0.06	0.06	-0.02	0.06	-0.10	
1896-																													

date (UT)					Coordonnées observées				Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5												
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1897-2-5	21	31	48			112.49	-25.81	276.26	-362.93	-45.72	15.89	-130.17	160.00	0.01	0.18	-0.02	-0.17	0.19	0.11	0.20	-0.49	0.04	0.14	-0.04	-0.14	0.02	0.03	0.26	-0.31
1897-3-7	22	20	59			-77.89	142.88	266.31	-331.29	35.30	-67.62	-118.03	150.35	-0.02	0.03	0.10	-0.16	0.12	0.08	-0.01	-0.19	0.02	0.06	0.07	-0.15	-0.01	0.10	0.06	-0.15
1897-3-9	22	44	4			118.99	41.70	132.38	-293.07	-53.36	-19.26	-52.81	125.43	-0.00	0.04	0.14	-0.17	0.05	0.03	0.11	-0.19	0.03	0.03	0.03	-0.09	-0.02	-0.01	0.04	-0.02
1897-3-10	19	27	35			343.31	*****	-38.20	-305.11	-150.45	*****	21.05	129.40	0.24	*****	0.10	-0.34	0.29	*****	0.20	-0.49	0.24	*****	0.01	-0.25	0.27	*****	0.07	-0.34
1897-3-11	20	19	29			55.12	351.31	-101.64	-304.78	-21.88	-150.66	44.40	128.14	0.03	0.12	0.09	-0.25	0.13	0.18	0.06	-0.37	-0.00	0.18	0.02	-0.19	0.07	0.14	-0.01	-0.20
1897-3-12	1	18	16			83.19	302.43	-87.72	-297.91	-35.89	-127.30	37.40	125.79	-0.07	0.04	0.13	-0.11	-0.16	-0.13	-0.09	0.39	-0.15	0.12	0.07	-0.05	-0.15	-0.21	-0.17	0.53
1897-3-23	19	23	47			91.55	-51.07	*****	-40.48	-41.49	20.85	*****	20.64	-0.03	0.05	*****	-0.03	0.17	-0.07	*****	-0.10	0.00	0.03	*****	-0.03	0.11	-0.06	*****	-0.06
1897-3-23	22	48	21			40.23	-65.49	91.64	-66.38	-20.25	26.03	-37.28	31.50	-0.15	-0.03	0.23	-0.05	0.01	-0.11	0.20	-0.10	-0.09	-0.02	0.11	0.01	-0.05	-0.11	0.21	-0.06
1897-3-27	19	18	53			63.92	-2.05	274.60	-336.47	-25.26	4.16	-121.54	142.64	0.11	0.02	0.25	-0.38	0.14	0.11	0.11	-0.36	0.06	-0.02	0.27	-0.31	0.10	0.00	0.12	-0.22
1897-3-31	23	1	52			105.88	-21.69	-209.43	125.24	-44.91	7.57	96.89	-59.56	-0.02	0.18	-0.10	-0.06	-0.13	0.01	0.16	-0.04	-0.00	0.14	-0.16	0.02	-0.06	-0.02	0.08	0.00
1897-4-2	19	50	36			-4.31	*****	-290.86	295.18	3.96	*****	122.71	-126.67	0.05	*****	-0.01	-0.04	-0.09	*****	-0.12	0.21	0.06	*****	-0.02	-0.04	-0.02	*****	-0.07	0.09
1897-4-6	19	24	18			-45.20	-206.62	2.91	248.91	16.66	87.39	-0.60	-103.44	-0.15	-0.02	-0.05	0.22	0.04	-0.13	-0.01	0.10	-0.08	0.02	-0.14	0.20	0.03	-0.09	0.07	-0.01
1897-4-7	19	34	36			*****	-67.73	-126.72	194.45	*****	22.53	55.66	-78.19	*****	-0.02	-0.06	0.08	*****	-0.09	-0.04	0.13	*****	-0.05	-0.11	0.16	*****	-0.04	-0.03	0.06
1897-4-9	19	15	42			164.66	110.97	-131.54	-144.09	-72.92	-44.82	51.11	66.63	0.06	-0.01	-0.01	-0.04	0.00	0.08	-0.04	-0.05	-0.00	0.07	-0.05	-0.02	0.07	0.03	-0.04	-0.05
1897-4-10	19	35	21			111.17	40.51	*****	-151.68	-48.87	-17.42	*****	66.29	0.02	0.02	*****	-0.05	0.10	0.07	*****	-0.16	0.02	-0.00	*****	-0.01	0.06	0.03	*****	-0.09
1897-4-13	19	49	30			157.01	-3.03	213.81	-367.79	-66.26	4.13	-87.32	149.45	0.04	0.15	0.05	-0.24	0.12	0.09	0.21	-0.42	0.09	0.18	-0.05	-0.21	0.01	0.02	0.19	-0.22
1897-4-15	19	40	0			-63.20	-242.07	-181.94	-123.33	-22.59	-104.78	81.30	46.07	0.01	0.12	0.09	-0.22	0.15	0.03	0.03	-0.22	0.08	0.09	-0.01	-0.17	0.02	0.05	-0.03	-0.04
1897-4-23	20	19	16			16.51	41.76	-275.79	217.53	-10.52	-16.60	113.40	-86.28	-0.35	0.24	-0.11	0.23	0.00	-0.07	-0.04	0.11	-0.42	0.33	-0.15	0.24	0.14	-0.07	-0.02	-0.05
1898-3-16	22	26	18			-34.52	137.98	139.94	-243.40	11.25	-54.42	-49.11	92.28	0.05	-0.14	0.21	-0.11	-0.31	0.19	0.20	-0.07	-0.01	-0.03	0.13	-0.09	-0.24	0.13	0.10	0.01
1898-3-25	23	2	42			*****	22.44	-234.21	211.78	*****	-28.04	108.64	-80.60	*****	0.16	-0.08	-0.08	*****	-0.10	0.04	0.06	*****	0.16	-0.14	-0.02	*****	-0.08	0.03	0.05
1898-3-26	21	29	16			*****	216.16	-214.15	-2.01	*****	-108.80	86.79	22.01	*****	0.01	-0.03	0.03	*****	0.08	-0.05	-0.03	*****	0.04	-0.09	0.06	*****	0.08	-0.04	-0.04
1898-3-27	22	11	54			126.62	38.15	*****	-164.77	-75.04	-15.63	*****	90.66	0.10	-0.05	*****	-0.05	-0.04	0.13	*****	-0.10	-0.00	0.02	*****	-0.02	-0.02	0.02	*****	-0.00
1898-4-11	20	0	41			*****	-203.22	125.25	77.97	*****	94.73	-78.03	-16.70	*****	0.02	-0.02	0.00	*****	0.03	-0.05	0.01	*****	0.01	-0.05	0.04	*****	-0.03	0.04	-0.01
1898-4-14	20	31	26			249.09	44.52	*****	-293.60	-126.54	-18.16	*****	144.70	0.05	0.00	*****	-0.05	0.05	0.15	*****	-0.19	-0.01	0.04	*****	-0.03	-0.01	0.04	*****	-0.03
1898-4-23	21	40	45			-7.72	25.83	-392.36	374.24	10.60	-17.46	187.99	-181.14	-0.07	0.09	-0.02	0.00	-0.04	-0.17	-0.10	0.31	-0.02	0.13	-0.05	-0.06	-0.05	-0.06	-0.01	0.12
1898-4-24	20	45	4			-169.55	11.93	-256.04	413.66	77.64	4.58	110.77	-192.99	-0.01	-0.16	0.07	0.07	-0.24	0.01	-0.05	0.28	-0.05	-0.01	0.05	0.02	-0.13	-0.00	0.07	0.06
1898-4-25	20	28	2			-66.94	-270.76	-25.71	363.40	35.99	132.71	-4.44	-164.26	-0.16	-0.03	0.06	0.13	0.01	-0.00	-0.12	-0.12	-0.11	-0.02	0.04	0.09	-0.02	-0.00	0.05	-0.03
1898-4-28	19	50	6			44.06	-58.26	31.37	-17.16	-36.27	27.51	-11.12	19.87	0.15	-0.09	-0.01	-0.04	-0.20	0.10	0.12	-0.02	0.08	0.00	-0.10	0.02	-0.14	0.04	0.08	0.02
1898-4-29	21	2	47			48.05	-7.84	-22.32	-17.89	-29.66	-7.35	15.14	21.86	-0.10	0.02	0.04	0.04	-0.06	-0.00	0.09	-0.03	-0.08	-0.00	-0.04	0.12	-0.04	-0.03	0.02	0.05
1898-5-1	20	34	1			56.56	281.77	-37.40	-300.92	-30.56	-127.71	6.20	152.06	-0.07	-0.10	0.03	0.14	0.02	0.13	-0.01	-0.14	-0.13	-0.02	-0.02	0.18	0.02	0.03	-0.01	-0.04
1898-5-2	21	23	14			190.13	-15.23	191.89	-366.79	-84.44	14.21	-105.53	175.76	-0.06	0.03	0.06	-0.02	0.17	0.03	0.05	-0.25	-0.05	0.02	0.03	0.00	0.04	-0.08	0.11	-0.08
1898-5-16	21	26	26			175.26	-26.09	*****	-149.17	-90.13	11.08	*****	79.05	-0.01	0.01	*****	-0.00	0.06	0.06	*****	-0.12	-0.03	0.02	*****	0.01	0.01	-0.01	*****	0.00
1898-5-19	20	22	18			*****	151.42	246.18	-397.60	*****	-69.27	-112.08	181.35	*****	0.07	0.08	-0.15	*****	0.11	0.08	-0.19	*****	0.14	-0.01	-0.13	*****	0.02	0.00	-0.02
1904-10-3	21	58	41			102.24	82.62	344.12	-528.98	44.08	27.34	153.03	-224.45	-0.05	-0.05	0.06	0.05	-0.15	-0.12	-0.21	0.48	-0.06	-0.03	0.04	0.05	-0.04	0.04	-0.18	0.18
1904-10-9	23	4	41			-219.02	83.50	62.73	72.79	-104.18	25.52	30.52	48.14	0.08	-0.11	-0.03	0.05	0.14	0.07	0.07	-0.28	0.08	-0.15	0.06	0.02	0.05	-0.01	0.13	-0.07
1904-10-11	22	25	41			-201.81	-334.94	151.33	385.42	-78.34	-143.89	46.06	176.17	0.23	-0.17	-0.08	0.02	0.43	0.31	-0.21	-0.52	0.18	-0.16	-0.03	0.00	0.21	0.32	-0.17	-0.36
1904-10-30	21	21	41			-278.07	-114.76	*****	392.83	-122.52	-34.03	*****	156.55	-0.42	0.40	*****	0.03	0.03	0.41	*****	-0.44	-0.33	0.33	*****	-0.01	0.05	0.23	*****	-0.28
1904-11-18	19	55	41			63.96	91.73	-320.54	164.84	37.51	42.10	-135.37	55.76	-0.01	-0.03	-0.02	0.06	-0.17	-0.14	0.21	0.10	-0.01	0.05	-0.06	0.02	-0.12	-0.05	0.19	-0.03
1904-11-30	20	49	41			-65.02	-361.78	101.16	325.64	-26.70	-155.92	29.52	153.10	-0.05	-0.02	0.06	0.00	0.26	0.68	-0.16	-0.78	-0.09	-0.01	0.11	-0.01	0.17	0.61	-0.14	-0.64
1904-12-8	18	29	41			52.18	*****	234.18	-286.36	31.52	*****	97.57	-129.08	-0.09	*****	0.06	0.03	-0.13	*****	-0.31	0.44	-0.06	*****	0.01	0.05	-0.06	*****	-0.15	0.21
1904-12-19	20	10	41			-268.49	-50.08	*****	318.57	-113.12	-15.47	*****	128.58	0.04	0.07	*****	-0.12	0.23	0.20	*****	-0.43	0.04	0.08	*****	-0.12	0.14	0.12	*****	-0.25
1904-12-28	18	3	41			20.64	-48.08	374.78	-347.34	11.28	-31.27	160.69	-140.71	0.11	-0.08	0.02	-0.05	0.05	-0.12	-0.21	0.28	0.04	-0.03	0.05	-0.05	-0.08	0.05	-0.18	0.20
1904-12-30	18	8	41			*****	169.43	-40.87	-128.56	*****	72.60	-38.50	-34.10	*****	0.13	-0.18	0.05	*****	0.01	-0.12	0.11	*****	0.13	-0.17	0.04	*****	-0.08	-0.06	0.14
1905-1-4	18	45	41			-226.67	-259.51	131.31	354.88	-93.15	-120.29	60.27	153.17	-0.06	0.05	0.01	-0.00	0.22	0.01	0.02	-0.25	-0.12	0.12	0.05	-0.05	0.03	0.13	-0.02	-0.14
1905-1-6	18	18	41			*****	-99.32	*****	99.32	*****	-32.13	*****	32.13	*****	0.01	*****	-0.01	*****	0.12	*****	-0.12	*****	0.01	*****	-0.01	*****	0.06	*****	-0.06
1905-1-8																													

date (UT)					Coordonnées observées						Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5										
an	mois	jr	hr	m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1906-	1-20	20	0	41	79.81	-212.75	180.28	-47.33	16.73	-51.58	24.26	10.59	0.03	0.16	-0.12	-0.12	0.01	0.18	-0.01	-0.18	0.03	0.17	-0.08	-0.11	0.00	-0.01	0.05	-0.03	-0.03
1906-	1-21	16	40	41	-147.17	29.50	*****	117.66	-50.06	5.26	*****	44.80	-0.16	0.11	*****	0.05	-0.03	0.18	*****	-0.15	-0.10	0.05	*****	0.05	-0.10	0.06	*****	0.04	
1906-	1-23	19	51	41	-77.23	-147.58	-279.88	504.69	-19.42	-45.35	-66.86	131.63	0.05	-0.01	0.07	-0.11	0.12	-0.01	0.08	-0.19	-0.02	0.02	0.10	-0.10	0.06	0.00	-0.05	-0.01	
1906-	1-30	19	24	41	95.98	75.77	-92.78	-78.97	31.51	18.12	-13.03	-36.60	0.03	-0.14	0.06	0.05	-0.02	-0.09	0.03	0.08	-0.02	-0.11	0.08	0.06	0.00	0.05	0.02	-0.07	
1906-	2- 8	18	49	41	-229.43	2.18	*****	227.26	-59.36	-4.64	*****	64.01	0.11	-0.06	*****	-0.05	0.07	0.10	*****	-0.17	0.06	-0.07	*****	0.00	-0.03	0.04	*****	-0.01	
1906-	2-21	17	57	41	255.14	-23.83	-92.54	-138.77	52.39	-9.64	-20.88	-21.86	0.01	0.00	-0.04	0.03	0.09	0.13	0.02	-0.24	-0.02	0.01	0.00	0.01	0.14	0.03	-0.06	-0.11	
1906-	2-24	18	20	41	-142.44	-220.94	200.38	163.01	-32.95	-59.78	39.02	53.71	0.20	-0.17	0.03	-0.06	0.03	0.21	-0.13	-0.11	0.12	-0.12	0.05	-0.05	-0.07	0.17	-0.11	0.02	
1906-	3- 3	17	20	41	-117.30	-126.59	250.95	-7.07	-17.16	-28.27	63.49	-18.06	0.17	-0.01	-0.04	-0.12	-0.16	-0.22	0.07	0.31	0.10	0.04	-0.04	-0.10	-0.17	-0.12	0.17	0.12	
1907-	2-13	18	39	41	-163.16	96.24	-375.36	442.28	7.40	-5.01	3.22	-5.60	0.22	-0.10	0.03	-0.15	0.01	0.03	-0.11	0.08	0.13	-0.09	0.04	-0.08	0.01	0.13	-0.22	0.08	
1907-	2-14	18	16	41	*****	-106.20	-389.68	495.87	*****	-2.41	14.79	-12.37	*****	-0.39	0.21	0.17	*****	-0.04	-0.18	0.22	*****	-0.40	0.18	0.22	*****	0.04	-0.24	0.19	
1907-	3- 1	18	25	41	*****	-219.01	-222.28	441.29	*****	-0.60	7.86	-7.26	*****	0.15	0.01	-0.15	*****	0.02	0.08	-0.10	*****	0.12	-0.03	-0.09	*****	-0.10	0.06	0.04	
1907-	3- 5	18	45	41	21.50	-233.17	-2.75	214.43	4.38	15.32	-5.82	-13.88	0.07	0.12	-0.20	0.01	-0.16	-0.09	-0.08	0.33	0.06	0.07	-0.12	-0.01	-0.06	-0.15	0.03	0.18	
1907-	3- 6	18	53	41	-116.68	160.11	-167.05	123.62	10.36	2.56	1.53	-14.45	0.12	0.08	-0.13	-0.06	0.14	-0.40	0.11	0.15	0.08	0.06	-0.07	-0.06	0.19	-0.27	0.11	-0.03	
1907-	3-15	18	29	41	85.46	-6.42	-79.05	*****	-2.58	-3.60	6.19	*****	-0.01	-0.01	0.02	*****	-0.14	0.11	0.02	*****	-0.06	0.01	0.05	*****	-0.07	0.06	0.01	*****	
1907-	12-17	22	23	41	59.69	-127.84	68.15	*****	-20.25	44.05	-23.80	*****	-0.11	0.06	0.06	*****	-0.09	-0.03	0.11	*****	-0.01	-0.07	0.07	*****	-0.04	-0.06	0.11	*****	
1908-	1-25	19	55	41	233.69	67.66	16.19	-317.53	-74.49	-21.09	-3.55	99.13	-0.15	0.19	0.04	-0.08	0.12	0.24	0.03	-0.39	-0.03	0.09	-0.06	-0.01	0.07	0.11	0.05	-0.22	
1908-	2- 6	21	17	41	227.03	*****	-104.15	-122.88	-67.13	*****	33.08	34.05	0.09	*****	-0.10	0.01	-0.04	*****	0.06	-0.03	0.12	*****	-0.09	-0.03	0.02	*****	-0.01	-0.01	
1908-	2-13	21	30	41	164.15	-11.26	-132.13	-20.76	-49.66	2.06	37.65	9.95	0.05	0.15	-0.15	-0.05	0.07	-0.00	0.10	-0.17	0.02	0.08	-0.14	0.05	0.07	0.02	-0.05	-0.04	
1908-	2-24	21	1	41	83.28	91.76	252.17	-427.22	-23.57	-25.41	-74.45	-420.42	-0.24	0.11	0.13	0.00	0.14	0.03	-0.04	-0.13	-0.13	0.06	0.10	-0.03	0.05	0.09	0.00	-0.14	
1908-	3- 8	19	35	41	-78.90	-146.18	-72.70	297.78	22.64	41.35	23.35	-87.33	-0.23	-0.22	0.04	0.41	-0.04	0.04	-0.02	0.03	-0.18	-0.25	0.02	0.42	0.03	-0.03	0.11	-0.11	
1908-	3-18	20	57	41	-31.17	-134.44	165.60	*****	8.81	38.73	-47.53	*****	-0.08	-0.05	0.12	*****	0.02	0.13	-0.15	*****	-0.18	-0.13	0.14	*****	0.03	0.08	-0.11	*****	
1908-	3-19	20	31	41	*****	-219.62	-9.63	229.24	*****	59.95	-0.70	-59.25	*****	0.16	-0.22	0.05	*****	0.03	0.11	-0.14	*****	0.07	-0.19	0.12	*****	-0.04	0.09	-0.05	
1908-	3-20	18	16	41	*****	-19.80	-290.26	310.06	*****	4.15	78.53	-82.68	*****	-0.00	0.04	-0.04	*****	-0.00	0.11	-0.10	*****	-0.04	0.02	0.02	*****	0.13	0.00	-0.14	
1908-	3-21	19	5	41	-44.97	41.74	-401.69	404.93	11.76	-12.73	111.58	-110.61	0.14	-0.01	-0.10	-0.04	-0.02	0.08	0.10	-0.16	0.08	0.04	-0.13	0.01	0.02	0.17	0.06	-0.25	
1908-	3-22	21	17	41	-318.42	*****	*****	318.42	87.58	*****	*****	-87.58	-0.19	*****	*****	0.19	-0.05	*****	*****	0.05	-0.17	*****	*****	0.17	0.04	*****	*****	-0.04	
1908-	3-24	20	4	41	-284.70	10.58	98.00	176.13	79.97	-2.24	-26.93	-50.80	-0.08	0.11	-0.04	0.00	-0.03	-0.02	-0.16	0.20	-0.10	0.15	-0.03	-0.02	-0.04	0.12	-0.04	-0.04	
1908-	3-26	18	11	41	-21.78	-131.13	152.91	*****	7.51	36.86	-44.36	*****	0.19	-0.04	-0.15	*****	-0.09	0.08	0.01	*****	0.14	-0.09	-0.05	*****	-0.03	-0.00	0.03	*****	
1908-	3-27	18	11	41	143.33	*****	-50.41	-92.92	-37.97	*****	15.22	22.75	-0.22	*****	0.03	0.19	0.12	*****	-0.05	-0.07	-0.13	*****	0.01	0.12	0.17	*****	-0.11	-0.06	
1908-	3-29	18	36	41	156.54	98.45	3.18	-258.17	-43.40	-26.70	2.21	67.89	-0.09	-0.16	0.31	-0.05	0.15	0.14	-0.01	-0.24	0.01	-0.22	0.26	-0.05	0.10	0.03	0.00	-0.13	
1908-	3-30	19	1	41	277.19	63.02	*****	-340.21	-75.76	-16.79	*****	92.55	0.10	0.15	*****	-0.24	0.05	0.14	*****	-0.19	0.09	0.11	*****	-0.20	0.03	0.06	*****	-0.09	
1908-	3-31	19	39	41	-67.22	215.16	290.55	-438.49	18.79	-59.44	-80.28	120.94	-0.09	0.16	0.08	-0.15	0.13	0.15	0.05	-0.33	-0.11	0.15	0.07	-0.11	0.01	0.19	0.06	-0.26	
1908-	4- 1	18	46	41	99.49	35.13	270.50	-405.12	-27.93	-9.38	-76.59	113.90	0.11	-0.23	0.17	-0.05	0.04	0.25	0.03	-0.32	0.10	-0.27	0.19	-0.02	-0.00	0.18	0.03	-0.20	
1908-	4- 3	18	40	41	100.33	*****	-79.84	-20.49	-29.52	*****	19.87	9.65	-0.16	*****	0.12	0.05	0.08	*****	0.13	-0.21	-0.14	*****	0.07	0.07	0.07	*****	0.01	-0.08	
1908-	4- 4	19	49	41	*****	159.60	-288.72	129.12	*****	-46.24	78.66	-32.42	*****	-0.07	-0.11	0.18	*****	0.00	0.09	-0.09	*****	-0.07	0.17	0.24	*****	0.06	-0.03	-0.03	
1908-	4- 6	19	5	41	-45.13	-259.19	*****	304.31	11.41	70.12	*****	-81.53	0.00	-0.11	*****	0.11	-0.04	-0.03	*****	0.07	-0.03	-0.16	*****	0.19	0.01	-0.05	*****	0.04	
1908-	4- 7	19	25	41	-292.64	-40.90	24.85	308.68	80.31	10.48	-7.14	-83.65	-0.27	0.01	0.21	0.05	0.05	-0.12	-0.08	0.15	-0.25	-0.01	0.19	0.06	0.01	0.01	0.01	-0.02	
1908-	4-10	19	26	41	-18.52	*****	-180.18	198.70	6.15	*****	50.30	-56.45	-0.20	*****	0.07	0.13	-0.01	*****	-0.01	0.03	-0.14	*****	0.08	0.06	0.09	*****	-0.00	-0.09	
1908-	4-13	19	30	41	154.44	-51.97	46.67	-149.14	-41.94	14.99	-9.98	36.93	-0.04	0.08	0.02	-0.05	-0.06	0.06	0.02	-0.02	-0.06	0.06	0.03	-0.03	-0.04	-0.02	0.08	-0.03	
1908-	4-15	19	38	41	105.44	92.53	276.83	-474.80	-28.36	-24.59	-77.75	130.70	0.13	-0.03	0.06	-0.16	0.11	0.07	-0.20	0.02	0.11	-0.02	0.09	-0.18	0.07	0.03	-0.18	0.07	
1908-	4-16	19	9	41	35.89	-15.59	326.08	-346.38	-8.64	5.21	-92.72	96.15	0.15	-0.05	0.03	-0.13	0.09	0.11	0.12	-0.32	0.12	-0.12	0.12	-0.12	0.08	-0.03	0.12	-0.17	
1908-	4-21	19	50	41	-158.04	10.84	58.86	88.33	42.67	-4.54	-17.00	-21.13	-0.24	0.21	0.07	-0.03	0.12	-0.07	-0.09	0.04	-0.20	0.15	0.02	0.03	0.03	-0.01	-0.06	0.03	
1909-	3-29	19	59	41	-73.24	192.71	-256.69	137.22	27.82	-84.75	109.18	-52.25	-0.10	0.00	-0.04	0.14	-0.02	0.03	0.06	-0.07	-0.15	0.06	-0.05	0.14	-0.02	0.04	0.09	-0.11	
1909-	4- 4	20	28	41	308.07	*****	-39.43	-268.64	-136.44	*****	23.82	112.61	-0.11	*****	0.18	-0.07	-0.11	*****	0.17	-0.06	-0.10	*****	0.10	-0.00	-0.11	*****	0.04	0.07	
1909-	4- 7	18	37	41	-23.76	-116.45	140.20	*****	12.94	52.25	-65.20	*****	-0.01	-0.01	0.02	*****	0.02	0.05	-0.07	*****	-0.04	-0.01	0.05	*****	-0.03	0.02	0.01	*****	
1909-	4- 8	20	3	41	*****	-69.04	74.51	-5.47	*****	32.90	-31.10	-1.79	*****	0.03	0.02	-0.06	*****	-0.05	-0.07	0.12	*****	-0.00	0.01	-0.01	*****	0.03	-0.06	-0.03	
1909-	5- 7	20	14	41	-42.06	178.36	289.40	-425.70	17.50	-74.37	-126.55	183.42	0.04	-0.06	-0.01	0.03	0.06	0.09	0.03	-0.18	-0.06	-0.05	0.01	0.10	0.02	0.05	-0.00	-0.07	
1910-	4- 1	22	3	41	-169.58	-194.11	189.43	174.26	75.28</																				

SERIE D'OBSERVATIONS DE ZO-SE (Chine) effectuées par Chevalier en 1917-1918 (f=7,lm)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)						Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1917-11-23	12	59	44			8.15	-8.15	*****	*****	4.75	-4.75	*****	*****	0.00	-0.00	*****	*****	-0.20	0.20	*****	*****	0.02	-0.02	*****	*****	-0.14	0.14	*****	*****
1917-11-23	13	2	20			8.17	-8.17	*****	*****	4.81	-4.81	*****	*****	-0.04	0.04	*****	*****	-0.16	0.16	*****	*****	-0.02	0.02	*****	*****	-0.11	0.11	*****	*****
1917-11-25	12	55	15			-228.76	102.74	126.02	*****	-44.28	16.20	28.08	*****	-0.05	0.20	-0.14	*****	-0.76	0.47	0.28	*****	-0.08	0.19	-0.11	*****	-0.89	0.56	0.33	*****
1917-11-25	13	2	54			-229.33	103.00	126.33	*****	-43.73	15.72	28.02	*****	-0.46	0.55	-0.08	*****	-0.33	0.10	0.23	*****	-0.49	0.54	-0.05	*****	-0.46	0.18	0.28	*****
1917-12-11	11	59	31			-114.89	-188.98	303.87	*****	-11.82	-36.03	47.85	*****	0.34	0.22	-0.56	*****	0.24	0.69	-0.94	*****	0.25	0.20	-0.46	*****	0.16	0.58	-0.74	*****
1917-12-15	12	29	8			191.62	-101.94	-89.68	*****	32.78	-24.71	-8.07	*****	0.10	-0.04	-0.06	*****	-0.46	0.34	0.12	*****	0.05	-0.03	-0.03	*****	-0.42	0.33	0.10	*****
1917-12-22	12	39	41			185.14	-86.77	-98.38	*****	34.92	-23.83	-11.09	*****	0.54	-0.13	-0.42	*****	0.17	-0.10	-0.06	*****	0.49	-0.10	-0.39	*****	0.20	-0.11	-0.09	*****
1918-1-17	10	8	2			-108.39	115.05	-6.66	*****	-20.72	36.74	-16.03	*****	-0.42	0.62	-0.20	*****	0.02	0.29	-0.31	*****	-0.47	0.51	-0.05	*****	-0.05	0.33	-0.28	*****
1918-1-17	11	7	18			-46.54	*****	46.54	*****	-1.15	*****	1.15	*****	-0.02	*****	0.02	*****	0.05	*****	-0.05	*****	-0.12	*****	0.12	*****	-0.01	*****	0.01	*****
1918-1-20	10	9	47			*****	20.53	-20.53	*****	*****	0.25	-0.25	*****	*****	-0.00	0.00	*****	*****	-0.11	0.11	*****	*****	-0.02	0.02	*****	*****	-0.07	0.07	*****
1918-1-20	11	5	32			*****	21.88	-21.88	*****	*****	0.63	-0.63	*****	*****	0.09	-0.09	*****	*****	-0.09	0.09	*****	*****	0.07	-0.07	*****	*****	-0.05	0.05	*****
1918-1-22	10	8	43			-170.85	*****	170.85	*****	-40.39	*****	40.39	*****	-0.43	*****	0.43	*****	-0.28	*****	0.28	*****	-0.40	*****	0.40	*****	-0.30	*****	0.30	*****
1918-1-24	10	28	40			-90.08	*****	90.08	*****	-25.38	25.38	*****	*****	-0.20	0.20	*****	*****	-0.36	0.36	*****	*****	-0.16	0.16	*****	*****	-0.40	0.40	*****	*****
1918-1-27	10	21	21			156.44	-54.35	-102.09	*****	22.00	-9.97	-12.03	*****	-0.59	0.16	0.43	*****	-0.42	0.12	0.29	*****	-0.53	0.11	0.41	*****	-0.30	0.10	0.20	*****
1918-1-28	10	10	47			-163.31	68.59	-11.98	106.70	-40.85	6.36	-0.05	34.55	0.73	0.19	0.22	-1.14	0.49	-0.21	0.13	-0.41	0.67	0.19	0.22	-1.08	0.33	-0.17	0.09	-0.25
1918-1-28	12	13	22			*****	8.28	-61.15	52.88	*****	-8.92	-12.25	21.17	*****	-0.07	0.02	0.05	*****	0.01	0.33	-0.34	*****	-0.08	-0.00	0.09	*****	0.00	0.24	-0.24
1918-1-29	10	4	3			*****	-165.98	*****	165.98	*****	-49.18	*****	49.18	*****	-0.02	*****	0.02	*****	0.26	*****	-0.26	*****	-0.05	*****	0.05	*****	0.15	*****	-0.15
1918-1-29	11	52	16			-200.84	-145.56	123.61	222.79	-50.22	-41.92	27.75	64.39	0.17	-0.15	-0.09	0.07	-0.13	0.08	0.02	0.03	0.23	-0.20	-0.12	0.08	-0.13	-0.06	0.05	0.13
1918-1-31	11	12	48			-74.49	*****	74.49	*****	-9.42	*****	9.42	*****	-0.04	*****	0.04	*****	-0.38	*****	0.38	*****	-0.11	*****	0.11	*****	-0.42	*****	0.42	*****
1918-1-32	11	17	43			88.14	147.90	-236.04	*****	23.81	32.04	-55.84	*****	-0.13	-0.31	0.44	*****	-0.13	-0.31	0.44	*****	-0.18	-0.37	0.56	*****	-0.11	-0.28	0.39	*****
1918-3-11	12	1	38			12.65	*****	-12.65	*****	-4.58	*****	4.58	*****	0.03	*****	-0.03	*****	0.06	*****	-0.06	*****	0.05	*****	-0.05	*****	0.07	*****	-0.07	*****

SERIES D'OBSERVATIONS DITES "de DE SITTER " où seule la composante X est donnée, effectuées au Cap (Afrique du Sud) de 1913 à 1915, à Greenwich (Grande-Bretagne) en 1916-1917 (f=6,9m), à Leyde (Pays-Bas) en 1922 (f=5,2m) et à Johannesburg (Afrique du Sud) en 1927 et 1928 (f=10,9m)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial jovien de la date et rapportées au centre de gravité des satellite

date (UT)					Coordonnées observées										Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5 observé							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1913	4	21	3	28	6	84.85	-4.35	-156.31	75.82	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.08	-0.02	0.01	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.06	-0.01	0.05	*****	*****	*****	*****	
1913	4	23	3	54	53	-114.99	30.36	-73.67	158.30	*****	*****	*****	*****	0.16	-0.12	0.04	-0.08	*****	*****	*****	*****	0.10	-0.08	-0.01	-0.01	*****	*****	*****	*****	
1913	4	27	3	55	6	-25.41	27.46	-322.12	320.07	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.01	0.11	-0.09	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.05	0.14	-0.13	*****	*****	*****	*****	
1913	4	29	3	14	10	83.56	-80.72	-179.17	176.33	*****	*****	*****	*****	-0.12	0.06	0.04	0.02	*****	*****	*****	*****	0.03	0.05	-0.05	-0.03	*****	*****	*****	*****	
1913	4	31	3	41	18	-54.29	46.26	264.40	-256.37	*****	*****	*****	*****	-0.15	-0.00	-0.02	0.18	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.02	-0.05	0.10	*****	*****	*****	*****	
1913	5	2	3	18	34	145.04	-137.88	352.70	-359.86	*****	*****	*****	*****	0.05	-0.06	-0.09	0.11	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.04	-0.02	0.06	*****	*****	*****	*****	
1913	5	3	4	12	4	1.64	167.83	230.05	-399.51	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.03	-0.06	0.12	*****	*****	*****	*****	0.00	-0.06	0.01	0.05	*****	*****	*****	*****	
1913	5	5	2	1	34	135.66	171.15	-51.00	-255.80	*****	*****	*****	*****	0.05	-0.11	0.01	0.05	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.11	0.03	0.05	*****	*****	*****	*****	
1913	5	9	23	28	27	-158.99	-168.52	85.75	241.76	*****	*****	*****	*****	-0.11	0.02	0.07	0.01	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.06	0.07	0.01	*****	*****	*****	*****	
1913	5	17	23	47	21	86.15	215.67	-16.66	-285.16	*****	*****	*****	*****	0.11	-0.17	-0.07	0.14	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.14	0.01	0.09	*****	*****	*****	*****	
1913	5	19	23	43	11	364.43	34.72	-78.88	-320.27	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.04	0.09	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.02	0.06	-0.01	*****	*****	*****	*****	
1913	5	21	4	33	58	71.53	281.25	70.09	-422.88	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.09	0.02	0.06	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.03	-0.04	0.08	*****	*****	*****	*****	
1913	5	21	23	53	23	122.11	200.34	170.32	-492.76	*****	*****	*****	*****	-0.08	-0.10	0.04	0.13	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.10	-0.03	0.10	*****	*****	*****	*****	
1913	5	24	2	13	36	-23.74	-77.28	254.94	-153.92	*****	*****	*****	*****	-0.20	0.17	-0.13	0.16	*****	*****	*****	*****	-0.09	0.09	-0.12	0.12	*****	*****	*****	*****	
1913	5	25	23	6	5	-73.15	68.44	-240.31	245.03	*****	*****	*****	*****	-0.10	-0.04	0.15	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.09	0.15	-0.04	*****	*****	*****	*****	
1913	8	19	19	2	57	39.53	-226.36	-332.83	519.66	*****	*****	*****	*****	0.04	0.14	0.36	-0.55	*****	*****	*****	*****	-0.03	0.18	0.35	-0.51	*****	*****	*****	*****	
1913	8	29	18	14	53	-7.99	177.48	208.78	-378.27	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.24	-0.06	0.28	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.16	-0.11	0.26	*****	*****	*****	*****	
1913	8	30	18	51	48	139.08	-161.71	337.18	-314.55	*****	*****	*****	*****	-0.17	0.18	-0.35	0.34	*****	*****	*****	*****	-0.09	0.15	-0.37	0.31	*****	*****	*****	*****	
1913	9	1	17	50	53	-53.87	110.67	-10.86	-45.94	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.10	0.08	0.04	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.12	0.03	0.00	*****	*****	*****	*****	
1913	9	3	18	36	1	-47.67	-113.03	-287.13	447.83	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.16	0.27	-0.37	*****	*****	*****	*****	0.04	0.07	0.23	-0.35	*****	*****	*****	*****	
1913	9	4	17	31	52	-38.05	13.20	-356.50	381.36	*****	*****	*****	*****	0.07	-0.02	0.32	-0.37	*****	*****	*****	*****	0.05	-0.05	0.29	-0.28	*****	*****	*****	*****	
1913	9	6	17	32	59	-56.76	-366.17	87.01	335.92	*****	*****	*****	*****	0.08	0.29	-0.04	-0.33	*****	*****	*****	*****	0.11	0.29	-0.06	-0.33	*****	*****	*****	*****	
1913	9	8	17	25	7	-86.50	43.59	-37.02	79.93	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.01	0.05	-0.07	*****	*****	*****	*****	0.13	-0.02	0.03	-0.14	*****	*****	*****	*****	
1913	9	10	20	18	50	106.10	32.55	-129.12	-9.53	*****	*****	*****	*****	-0.21	0.02	0.18	0.01	*****	*****	*****	*****	-0.09	-0.05	0.18	-0.05	*****	*****	*****	*****	
1913	9	11	18	48	17	181.94	226.61	-142.98	-265.57	*****	*****	*****	*****	-0.14	-0.23	0.12	0.25	*****	*****	*****	*****	-0.14	-0.25	0.14	0.25	*****	*****	*****	*****	
1913	9	12	21	6	59	0.88	207.71	158.89	-367.48	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.27	-0.08	0.42	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.18	-0.11	0.36	*****	*****	*****	*****	
1913	9	15	19	34	4	73.16	204.70	142.82	-420.69	*****	*****	*****	*****	-0.15	-0.24	-0.10	0.49	*****	*****	*****	*****	-0.05	-0.27	-0.12	0.44	*****	*****	*****	*****	
1913	9	17	20	51	7	94.83	-13.54	-149.78	68.49	*****	*****	*****	*****	-0.25	0.07	0.23	-0.06	*****	*****	*****	*****	-0.14	-0.01	0.21	-0.06	*****	*****	*****	*****	
1913	9	20	21	8	15	-36.58	-326.57	73.71	289.43	*****	*****	*****	*****	0.04	0.27	0.00	-0.32	*****	*****	*****	*****	0.06	0.27	-0.02	-0.30	*****	*****	*****	*****	
1913	9	22	19	14	35	-152.04	-55.66	-73.16	280.86	*****	*****	*****	*****	0.08	0.03	0.14	-0.25	*****	*****	*****	*****	0.15	-0.01	0.13	-0.27	*****	*****	*****	*****	
1913	9	24	21	25	8	11.01	-129.33	-240.08	358.40	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.15	0.28	-0.33	*****	*****	*****	*****	0.02	0.09	0.26	-0.37	*****	*****	*****	*****	
1914	5	22	4	40	1	-30.17	174.31	128.15	-272.29	*****	*****	*****	*****	-0.12	-0.01	0.14	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.04	-0.02	0.12	-0.05	*****	*****	*****	*****	
1914	5	29	2	13	17	-83.23	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	-0.09	*****	*****	0.09	*****	*****	*****	*****	-0.05	*****	*****	0.05	*****	*****	*****	*****	
1914	5	29	2	51	41	-97.14	12.79	*****	84.35	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.02	*****	0.04	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.07	*****	0.05	*****	*****	*****	*****	
1914	6	3	2	48	52	-27.66	-3.81	-378.62	410.09	*****	*****	*****	*****	-0.12	0.00	0.03	0.09	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.03	0.03	0.04	*****	*****	*****	*****	
1914	6	3	3	38	24	-33.79	-6.93	-374.04	414.76	*****	*****	*****	*****	-0.15	0.01	0.01	0.13	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.02	0.00	0.08	*****	*****	*****	*****	
1914	6	4	4	48	53	*****	-159.51	-229.07	388.58	*****	*****	*****	*****	*****	-0.07	0.01	0.05	*****	*****	*****	*****	*****	-0.04	-0.02	0.06	*****	*****	*****	*****	
1914	6	5	4	52	16	-121.36	*****	*****	121.36	*****	*****	*****	*****	-0.13	*****	*****	0.13	*****	*****	*****	*****	-0.05	*****	*****	0.05	*****	*****	*****	*****	
1914	6	6	4	42	11	-63.72	17.80	45.91	*****	*****	*****	*****	*****	0.06	-0.04	-0.03	*****	*****	*****	*****	0.05	-0.00	-0.05	*****	*****	*****	*****	*****		
1914	6	6	4	10	39	-90.23	-57.89	355.97	-207.85	*****	*****	*****	*****	-0.05	-0.01	0.08	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.02	0.01	0.11	-0.10	*****	*****	*****	*****	
1914	6	7	2	32	11	250.33	278.07	-120.32	-408.09	*****	*****	*****	*****	-0.03	0.01	0.04	-0.02	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.01	0.06	-0.09	*****	*****	*****	*****	
1914	6	10	2	32	11	250.33	278.07	-120.32	-408.09	*****	*****	*****	*****	-0.05	0.00	0.03	0.02	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.02	0.05	-0.05	*****	*****	*****	*****	
1914	6	10	3	13	40	246.12	275.13	-118.71	-402.53	*****	*****	*****	*****	-0.12	*****	0.16	-0.04	*****	*****	*****	*****	0.00	*****	0.04	-0.04	*****	*****	*****	*****	
1914	6	12	4	46	22	132.39	*****	96.71	-229.10	*****	*****	*****	*****	-0.12	-0.02	0.10	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.03	0.09	0.01	*****	*****	*****	*****	
1914	6	14	3	12	32	-141.47	-80.10	291.79	-70.22	*****	*****	*****	*****	-0.10	-0.02	0.10	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.05	0.01	0.05	*****	*****	*****	*****	*****	
1914	6	14	3	58	43	-166.56	-108.81	275.37	*****	*****	*****	*****	*****	-0.08	0.02	0.06	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.05	0.00	0.00	*****	*****	*****	*****		
1914	6	20	4	3	44	-169.25	-11.56	-73.77	254.58	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.09	0.03	-0.02	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.05	0.00	0.00	*****	*****	*****	*****	
1914	6	20	4	42	23	-161.85	-14.89	-70.53	247.28	*****	*****	*****	*****	0.06	-0.10	0.04	-0.00	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.05	0.01	0.02	*****	*****	*****	*****	
1914	6	21	4	28	43	-282.74	*****	148.55	134.19	*****	*****	*****	*****	-0.23	*****	0.11	0.12	*****	*****	*****	*****	-0.16	*****	0.11	0.05	*****	*****	*****	*****	
1914	6	21	4	56	22	-285.50	*****	152.38	133.12	*****	*****	*****	*****	-0.17	*****	0.13	0.04	*****	*****	*****	*****	-0.11	*****	0.13	-0.02	*****	*****	*****	*****	

date (UT)					Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5								
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1914-	6-22	4	5	58		48.95	-275.72	191.81	34.96	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.03	0.08	-0.06	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.05	0.16	-0.11	*****	*****	*****	*****
1914-	6-22	4	37	49		52.78	-272.28	188.53	30.97	*****	*****	*****	*****	0.06	-0.10	0.03	0.02	*****	*****	*****	*****	0.06	-0.13	0.11	-0.04	*****	*****	*****	*****
1914-	6-23	1	21	40		-102.93	92.97	71.39	-61.43	*****	*****	*****	*****	-0.12	0.03	0.09	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.03	0.20	-0.09	*****	*****	*****	*****
1914-	6-23	1	59	28		-104.31	104.15	65.52	-65.37	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.03	0.06	-0.03	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.03	0.17	-0.11	*****	*****	*****	*****
1914-	6-24	2	44	34		189.21	235.06	-178.84	-245.43	*****	*****	*****	*****	0.01	0.01	-0.04	0.02	*****	*****	*****	*****	0.05	0.01	0.03	-0.09	*****	*****	*****	*****
1914-	6-24	3	27	50		190.31	234.17	-179.10	-245.38	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.02	0.05	-0.06	*****	*****	*****	*****	0.07	-0.02	0.12	-0.17	*****	*****	*****	*****
1914-	9-21	21	9	5		-16.25	-241.66	257.91	*****	*****	*****	*****	0.12	-0.11	-0.01	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.04	0.01	*****	*****	*****	*****	
1914-	9-22	19	1	42		-141.43	-189.39	229.47	101.35	*****	*****	*****	*****	-0.13	0.15	-0.02	0.00	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.01	-0.00	0.03	*****	*****	*****	*****
1914-	9-23	19	19	27		-82.11	13.10	-120.22	189.23	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.04	0.02	-0.07	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.08	0.06	-0.02	*****	*****	*****	*****
1914-	9-24	18	43	13		-187.13	-12.57	-264.85	464.55	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.07	0.05	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.02	0.03	0.01	*****	*****	*****	*****
1914-	9-25	18	48	20		89.22	-255.62	-385.10	551.49	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.01	0.04	-0.02	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.03	-0.00	0.01	*****	*****	*****	*****
1914-	9-28	18	11	26		-159.14	-227.41	166.83	219.72	*****	*****	*****	*****	0.17	-0.11	0.01	-0.07	*****	*****	*****	*****	0.07	0.00	0.02	-0.10	*****	*****	*****	*****
1914-10-	3	20	14	30		191.27	*****	65.62	-256.89	*****	*****	*****	*****	0.07	*****	0.04	-0.11	*****	*****	*****	*****	0.08	*****	0.03	-0.11	*****	*****	*****	*****
1914-10-	6	22	15	44		1.46	-71.61	369.49	-299.34	*****	*****	*****	*****	-0.17	0.08	0.09	0.00	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.06	0.12	0.00	*****	*****	*****	*****
1914-10-	7	20	43	34		22.19	120.63	83.25	-226.08	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.01	-0.00	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.07	0.07	0.03	*****	*****	*****	*****
1914-10-	9	18	17	9		151.70	-149.47	-271.74	269.51	*****	*****	*****	*****	0.10	-0.08	0.02	-0.05	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.05	0.03	-0.02	*****	*****	*****	*****
1914-10-10	18	36	29			-130.29	*****	-278.41	408.71	*****	*****	*****	*****	0.00	*****	0.00	-0.00	*****	*****	*****	*****	0.01	*****	-0.06	0.05	*****	*****	*****	*****
1914-10-13	20	34	11			*****	-395.15	92.70	302.45	*****	*****	*****	*****	0.02	0.07	0.03	-0.10	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.01	0.08	-0.07	*****	*****	*****	*****
1914-10-15	19	57	22			-127.06	72.87	-143.58	197.77	*****	*****	*****	*****	-0.08	-0.12	0.15	0.06	*****	*****	*****	*****	-0.04	-0.07	0.16	-0.05	*****	*****	*****	*****
1914-10-16	18	28	41			168.48	-92.39	-211.51	135.42	*****	*****	*****	*****	0.05	0.08	-0.02	0.04	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.01	0.03	-0.02	*****	*****	*****	*****
1914-10-17	18	53	29			35.02	95.57	-133.91	3.32	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.0	0.09	-0.03	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.10	0.11	-0.04	*****	*****	*****	*****
1914-10-20	18	17	28			166.17	-105.66	400.16	-460.67	*****	*****	*****	*****	-0.13	0.07	-0.06	0.12	*****	*****	*****	*****	-0.03	0.01	-0.03	0.06	*****	*****	*****	*****
1915-	7- 5	4	49	53		-198.03	89.58	97.40	11.06	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.01	-0.00	0.05	*****	*****	*****	*****	-0.04	-0.06	-0.01	0.11	*****	*****	*****	*****
1915-	7- 6	3	9	17		-82.06	-100.56	112.90	69.72	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.06	0.02	0.03	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.07	0.01	0.05	*****	*****	*****	*****
1915-	7-16	2	2	53		88.44	346.48	-68.64	-366.29	*****	*****	*****	*****	0.19	-0.02	-0.12	-0.05	*****	*****	*****	*****	0.11	-0.02	0.00	-0.09	*****	*****	*****	*****
1915-	7-19	3	17	35		-12.02	194.38	175.17	-357.52	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.07	0.05	-0.02	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.01	0.03	0.00	*****	*****	*****	*****
1915-	7-20	3	0	2		52.74	89.43	223.23	-365.41	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.02	-0.02	-0.01	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.01	-0.01	0.00	*****	*****	*****	*****
1915-	7-21	2	36	30		-115.53	-138.46	324.39	-70.40	*****	*****	*****	*****	0.05	0.00	-0.01	-0.05	*****	*****	*****	*****	-0.00	0.01	0.03	-0.04	*****	*****	*****	*****
1915-	7-26	4	6	20		-252.95	-77.32	-108.85	439.13	*****	*****	*****	*****	-0.15	0.05	0.02	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.05	-0.01	0.12	*****	*****	*****	*****
1915-	7-27	2	56	16		-160.13	-87.72	4.03	243.82	*****	*****	*****	*****	0.13	-0.10	0.01	-0.04	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.08	0.03	-0.04	*****	*****	*****	*****
1915-	7-31	23	43	10		183.97	45.51	-48.54	-180.94	*****	*****	*****	*****	0.20	-0.08	-0.10	-0.02	*****	*****	*****	*****	0.16	-0.02	-0.10	-0.04	*****	*****	*****	*****
1915-	7-32	0	35	39		196.99	38.35	-45.51	-189.83	*****	*****	*****	*****	0.19	-0.06	0.03	-0.16	*****	*****	*****	*****	0.14	-0.00	0.03	-0.17	*****	*****	*****	*****
1915-	8- 2	4	34	30		121.68	251.51	*****	-373.19	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.13	*****	-0.03	*****	*****	*****	*****	0.02	0.03	*****	-0.05	*****	*****	*****	*****
1915-	8- 5	3	17	59		205.84	-95.55	245.98	-356.27	*****	*****	*****	*****	-0.01	0.01	-0.02	0.01	*****	*****	*****	*****	-0.00	-0.12	0.11	0.00	*****	*****	*****	*****
1915-	8- 6	2	14	29		-51.55	244.23	-29.18	-163.49	*****	*****	*****	*****	0.14	-0.10	-0.12	0.07	*****	*****	*****	*****	0.08	-0.18	0.03	0.08	*****	*****	*****	*****
1915-	8- 6	3	16	19		-46.88	250.96	-45.76	-158.32	*****	*****	*****	*****	-0.00	0.10	-0.14	0.04	*****	*****	*****	*****	-0.08	0.03	0.01	0.05	*****	*****	*****	*****
1915-	8-11	2	13	21		-309.09	-263.29	150.67	421.71	*****	*****	*****	*****	-0.08	-0.10	0.05	0.13	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.10	0.06	0.11	*****	*****	*****	*****
1915-	8-11	3	1	59		-313.88	-270.35	156.22	428.01	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.11	0.05	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.11	0.07	0.06	*****	*****	*****	*****
1915-	8-12	1	58	53		-61.18	-392.58	38.98	414.78	*****	*****	*****	*****	0.08	0.02	-0.02	-0.09	*****	*****	*****	*****	0.05	-0.07	0.11	-0.08	*****	*****	*****	*****
1915-	8-13	1	16	30		-251.75	18.05	-163.47	397.17	*****	*****	*****	*****	-0.05	0.10	-0.07	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.00	0.09	-0.01	*****	*****	*****	*****
1915-	8-13	1	58	42		-250.67	28.34	-171.58	393.91	*****	*****	*****	*****	0.02	0.08	-0.03	-0.06	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.02	0.13	-0.09	*****	*****	*****	*****
1915-11-	8	18	49	25		314.18	21.98	-106.57	-229.59	*****	*****	*****	*****	-0.08	0.04	0.05	0.00	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.02	0.03	-0.04	*****	*****	*****	*****
1915-11-	8	19	56	35		300.94	32.74	-99.17	-234.51	*****	*****	*****	*****	-0.15	0.05	0.04	0.06	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.01	0.02	0.02	*****	*****	*****	*****
1915-11-	9	19	48	30		91.10	284.53	43.99	-419.62	*****	*****	*****	*****	0.11	0.02	-0.05	-0.08	*****	*****	*****	*****	0.08	0.00	-0.03	-0.05	*****	*****	*****	*****
1915-11-11	19	10	19			133.60	-99.20	419.84	-454.25	*****	*****	*****	*****	0.20	-0.22	-0.05	0.07	*****	*****	*****	*****	0.11	-0.17	-0.00	0.06	*****	*****	*****	*****
1915-11-12	19	6	4			94.35	132.52	*****	-226.86	*****	*****	*****	*****	-0.12	0.13	*****	-0.02	*****	*****	*****	*****	-0.02	0.00	*****	0.02	*****	*****	*****	*****
1915-11-15	18	45	0			171.46	-147.35	-272.61	248.50	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.04	0.04	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.05	-0.03	0.01	0.07	*****	*****	*****	*****
1915-11-15	19	44	45			160.95	-144.49	-271.56	255.10	*****	*****	*****	*****	-0.08	-0.00	-0.01	0.09	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.08	-0.04	0.14	*****	*****	*****	*****
1915-11-16	19	7	29			-153.35	38.94	-207.54	321.95	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.00	-0.02	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.00	-0.08	-0.03	0.11	*****	*****	*****	*****
1915-11-17	19	12	59			-176.61	-55.68	-73.70	305.98	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.07	0.05	0.05	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.06	-0.01	0.05	*****	*****	*****	*****
1915-11-18	20	1	44			*****	-412.36	76.52	335.84	*****	*****	*****	*****	*****	0.01	0.08	-0.08	*****	*****	*****	*****	*****	0.02	0.07	-0.09	*****	*****	*****	*****
1915-11-19	19	31	56			-237.00	-250.12	95.96	391.17	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.12	-0.02	-0.04												

date (UT)					Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1916	7	16	2	25 50	-56.85	226.80	-203.33	33.38	*****	*****	*****	*****	-0.14	0.07	0.16	-0.09	*****	*****	*****	*****	-0.13	0.02	0.23	-0.13	*****	*****	*****	*****
1916	7	20	2	18 8	*****	187.79	313.58	-501.36	*****	*****	*****	*****	*****	0.05	0.02	-0.07	*****	*****	*****	*****	*****	0.05	0.07	-0.11	*****	*****	*****	*****
1916	7	20	3	34 57	*****	186.59	314.30	-500.89	*****	*****	*****	*****	*****	-0.00	-0.03	0.03	*****	*****	*****	*****	*****	-0.00	0.01	-0.01	*****	*****	*****	*****
1916	7	21	2	24 13	69.68	-5.57	319.36	-383.47	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.00	0.08	-0.02	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.01	0.12	-0.09	*****	*****	*****	*****
1916	7	26	2	43 54	-99.95	*****	-52.66	152.61	*****	*****	*****	*****	-0.08	*****	0.11	-0.03	*****	*****	*****	*****	-0.06	*****	0.08	-0.03	*****	*****	*****	*****
1916	7	29	2	26 48	-60.84	-269.65	-87.00	417.49	*****	*****	*****	*****	0.76	0.82	-0.79	-0.79	*****	*****	*****	*****	0.67	0.72	-0.64	-0.75	*****	*****	*****	*****
1916	7	29	2	42 54	-57.56	-268.57	-90.61	416.74	*****	*****	*****	*****	0.50	0.48	-0.65	-0.33	*****	*****	*****	*****	0.41	0.38	-0.50	-0.29	*****	*****	*****	*****
1916	7	30	2	29 0	-160.11	67.61	-290.00	382.50	*****	*****	*****	*****	-0.03	0.04	-0.04	0.03	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.07	0.03	0.02	*****	*****	*****	*****
1916	7	30	2	49 8	-162.86	72.09	-291.41	382.18	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.05	-0.04	0.05	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.05	0.03	0.03	*****	*****	*****	*****
1916	7	31	2	35 13	60.24	43.28	-361.09	257.57	*****	*****	*****	*****	0.04	0.02	-0.03	-0.03	*****	*****	*****	*****	0.02	0.06	-0.02	-0.05	*****	*****	*****	*****
1916	7	31	2	52 52	62.73	40.58	-359.75	256.44	*****	*****	*****	*****	0.08	-0.02	0.00	-0.06	*****	*****	*****	*****	0.06	0.02	0.01	-0.09	*****	*****	*****	*****
1916	8	2	2	45 20	65.24	*****	51.04	-116.29	*****	*****	*****	*****	-0.01	*****	-0.01	0.02	*****	*****	*****	*****	0.04	*****	0.00	-0.04	*****	*****	*****	*****
1916	8	4	2	35 36	*****	17.43	343.00	-360.42	*****	*****	*****	*****	*****	-0.01	0.03	-0.02	*****	*****	*****	*****	*****	0.01	0.09	-0.10	*****	*****	*****	*****
1916	8	4	2	52 52	*****	15.89	343.78	-359.67	*****	*****	*****	*****	*****	0.10	-0.03	-0.06	*****	*****	*****	*****	*****	0.12	0.03	-0.15	*****	*****	*****	*****
1916	8	8	2	37 21	94.82	46.64	7.98	-149.44	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.01	0.09	-0.06	*****	*****	*****	*****	-0.01	0.01	0.05	-0.05	*****	*****	*****	*****
1916	8	8	2	57 47	93.42	43.70	10.50	-147.61	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.01	0.08	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.01	0.05	0.01	*****	*****	*****	*****
1916	8	13	3	4 20	-145.74	-8.77	-263.38	417.89	*****	*****	*****	*****	-0.08	0.06	-0.07	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.09	-0.01	0.10	*****	*****	*****	*****
1916	8	21	3	13 42	205.34	318.31	-175.17	-348.47	*****	*****	*****	*****	0.10	-0.05	0.00	-0.05	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.02	0.07	-0.08	*****	*****	*****	*****
1916	8	22	3	27 4	164.01	134.06	-1.32	-296.76	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.01	0.05	-0.00	*****	*****	*****	*****	-0.02	0.05	0.02	-0.05	*****	*****	*****	*****
1916	8	22	3	43 16	162.25	132.16	1.65	-296.06	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.04	0.06	0.00	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.07	0.03	-0.04	*****	*****	*****	*****
1916	8	27	1	23 1	35.26	*****	-85.18	49.92	*****	*****	*****	*****	-0.04	*****	-0.07	0.11	*****	*****	*****	*****	-0.05	*****	-0.02	0.07	*****	*****	*****	*****
1916	8	27	1	42 29	31.63	*****	-86.80	55.17	*****	*****	*****	*****	-0.08	*****	-0.05	0.13	*****	*****	*****	*****	-0.09	*****	-0.00	0.09	*****	*****	*****	*****
1916	8	28	2	49 19	*****	137.50	-366.67	229.17	*****	*****	*****	*****	*****	-0.00	-0.08	0.08	*****	*****	*****	*****	*****	-0.05	-0.06	0.11	*****	*****	*****	*****
1916	8	28	3	5 18	*****	136.45	-367.89	231.44	*****	*****	*****	*****	*****	0.06	-0.08	0.02	*****	*****	*****	*****	*****	0.00	-0.06	0.05	*****	*****	*****	*****
1916	8	31	3	33 59	-344.76	-38.53	-5.28	388.56	*****	*****	*****	*****	-0.01	0.03	-0.01	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.03	0.02	0.03	*****	*****	*****	*****
1916	11	27	20	9 1	-0.82	262.45	23.66	-285.30	*****	*****	*****	*****	0.12	-0.09	-0.06	0.03	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.12	0.13	-0.03	*****	*****	*****	*****
1916	11	28	19	26 11	210.06	271.77	-130.81	-351.02	*****	*****	*****	*****	-0.13	-0.10	0.11	0.13	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.14	0.16	0.03	*****	*****	*****	*****
1916	11	30	19	15 46	199.84	*****	137.05	-336.89	*****	*****	*****	*****	-0.23	*****	0.02	0.22	*****	*****	*****	*****	-0.14	*****	-0.06	0.19	*****	*****	*****	*****
1916	12	4	17	53 57	-151.63	103.47	*****	48.16	*****	*****	*****	*****	0.70	-0.69	*****	-0.01	*****	*****	*****	*****	0.66	-0.73	*****	0.08	*****	*****	*****	*****
1916	12	8	20	25 57	-167.88	-48.22	-126.51	342.61	*****	*****	*****	*****	0.17	0.01	0.01	-0.19	*****	*****	*****	*****	0.11	0.03	0.00	-0.14	*****	*****	*****	*****
1916	12	9	19	33 26	-302.21	-212.40	145.38	369.23	*****	*****	*****	*****	0.15	-0.04	-0.00	-0.11	*****	*****	*****	*****	0.16	-0.04	0.01	-0.13	*****	*****	*****	*****
1916	12	9	19	55 48	-303.13	-215.81	148.99	369.95	*****	*****	*****	*****	0.16	0.07	-0.07	-0.16	*****	*****	*****	*****	0.17	0.07	-0.06	-0.18	*****	*****	*****	*****
1916	12	9	20	16 9	-303.73	-219.11	152.22	370.63	*****	*****	*****	*****	0.15	0.01	-0.06	-0.09	*****	*****	*****	*****	0.15	0.01	-0.05	-0.11	*****	*****	*****	*****
1916	12	13	18	10 20	116.71	36.95	-144.91	-8.75	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.11	0.06	-0.04	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.06	0.10	-0.07	*****	*****	*****	*****
1916	12	19	19	0 57	161.28	221.82	-147.86	-235.24	*****	*****	*****	*****	-0.09	-0.11	0.01	0.19	*****	*****	*****	*****	-0.11	-0.17	0.12	0.16	*****	*****	*****	*****
1916	12	19	19	33 39	159.25	219.87	-150.80	-228.32	*****	*****	*****	*****	-0.09	-0.14	0.02	0.21	*****	*****	*****	*****	-0.10	-0.20	0.12	0.18	*****	*****	*****	*****
1916	12	21	18	35 47	93.27	-85.23	-195.11	187.08	*****	*****	*****	*****	-0.23	0.11	0.12	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.14	0.02	0.06	0.06	*****	*****	*****	*****
1916	12	21	19	2 48	83.85	-81.00	-192.59	189.75	*****	*****	*****	*****	-0.24	0.13	0.10	0.02	*****	*****	*****	*****	-0.15	0.03	0.04	0.09	*****	*****	*****	*****
1916	12	23	18	44 51	-244.68	-133.74	79.53	298.89	*****	*****	*****	*****	0.06	0.02	-0.02	-0.06	*****	*****	*****	*****	0.10	-0.01	-0.06	-0.04	*****	*****	*****	*****
1916	12	25	20	42 45	-281.20	-92.81	-40.10	414.11	*****	*****	*****	*****	0.10	0.11	0.02	-0.23	*****	*****	*****	*****	0.06	0.01	0.17	-0.24	*****	*****	*****	*****
1916	12	25	20	58 43	-281.33	-89.00	-43.18	413.51	*****	*****	*****	*****	0.10	0.15	0.00	-0.25	*****	*****	*****	*****	0.06	0.05	0.16	-0.26	*****	*****	*****	*****
1916	12	30	19	26 29	-39.36	73.68	234.26	-268.58	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.13	-0.07	0.19	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.12	-0.08	0.11	*****	*****	*****	*****
1917	1	4	18 7	3 290.02	10.79	*****	-97.27	-203.54	*****	*****	*****	*****	-0.17	0.07	0.02	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.02	-0.02	0.10	*****	*****	*****	*****
1917	1	4	18 23 0	286.78	12.04	-96.38	-202.45	*****	*****	*****	*****	*****	-0.24	0.03	0.10	0.11	*****	*****	*****	*****	-0.16	-0.02	0.05	0.13	*****	*****	*****	*****
1922	3	14	1	42 15	9.03	-103.59	321.12	-226.56	*****	*****	*****	*****	-0.13	0.09	0.02	0.07	*****	*****	*****	*****	-0.09	0.07	-0.10	0.12	*****	*****	*****	*****
1922	3	23	0	50 2	-239.64	69.54	108.63	61.48	*****	*****	*****	*****	-0.07	0.05	0.05	-0.03	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.08	0.10	-0.12	*****	*****	*****	*****
1922	3	24	1	6 4	147.90	-105.10	-22.93	-19.87	*****	*****	*****	*****	0.07	-0.03	-0.04	-0.01	*****	*****	*****	*****	0.06	0.05	-0.00	-0.12	*****	*****	*****	*****
1922	4	3	0	8 48	-137.17	57.25	-223.17	303.09	*****	*****	*****	*****	0.08	-0.07	0.01	-0.02	*****	*****	*****	*****	-0.02	0.05	-0.09	0.07	*****	*****	*****	*****
1922	4	19	22	7 34	-203.70	84.74	172.63	*****	*****	*****	*****	*****	-0.11	0.02	0.06	0.03	*****	*****	*****	*****	-0.03	-0.07	0.04	0.07	*****	*****	*****	*****
1922	4	20	22	20 33	*****	-193.81	-95.05	288.86	*****	*****	*****	*****	*****	-0.05	0.07	-0.02	*****	*****	*****	*****	*****	0.00	0.05	-0.05	*****	*****	*****	*****
1922	4	21	22	23 37	-113.08	-246.40	-174.39	533.86	*****	*****	*****	*****	-0.07	0.08	0.09	-0.10	*****	*****	*****	*****	-0.00	0.04	0.06	-0.10	*****	*****	*****	*****
1922	4	22	21	25 50	-7.44	*****	-421.02	428.46	*****	*****	*****	*****	0.24	*****	0.17	-0.41	*****	*****	*****	*****	0.20	*****	0.16	-0.36	*****	*****	*****	*****
1922	5	2	21	26 50	-17.45	-72.03	298.49	-209.01	*****	*****	*****	*****	0.01	0.05	-0.03	-0.03	*****	*****	*****	*****	0.01	0.01	-0.10	0.08	*****	*****	*****	*****
1922	5	4	22																									

date (UT)					Coordonnées observées									Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1922-	5-22	21	22	14		5.74	-32.69	-247.35	274.30	*****	*****	*****	*****	0.14	-0.28	0.08	0.06	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.15	-0.00	0.13	*****	*****	*****	*****
1922-	5-24	21	20	5		-190.32	*****	-32.11	222.43	*****	*****	*****	*****	-0.01	*****	0.01	0.00	*****	*****	*****	*****	-0.02	*****	-0.03	0.05	*****	*****	*****	*****
1922-	5-27	21	8	48		-32.23	-115.53	-156.03	303.80	*****	*****	*****	*****	0.09	0.13	-0.11	-0.12	*****	*****	*****	*****	0.05	0.07	-0.03	-0.08	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 2	3	56	44		*****	-173.27	162.52	10.75	*****	*****	*****	*****	*****	0.00	-0.02	0.02	*****	*****	*****	*****	*****	0.19	-0.07	-0.11	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 3	3	31	0		59.98	-186.81	170.01	-43.18	*****	*****	*****	*****	0.06	0.09	-0.08	-0.06	*****	*****	*****	*****	-0.00	0.10	-0.00	-0.09	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 4	3	21	11		-13.19	176.79	-7.28	-156.31	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.02	0.05	0.03	*****	*****	*****	*****	-0.00	-0.07	0.11	-0.04	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 5	3	25	36		226.03	256.08	-182.89	-299.21	*****	*****	*****	*****	-0.04	-0.10	0.06	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.08	0.05	0.05	-0.02	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 7	3	38	30		282.23	90.07	*****	-372.30	*****	*****	*****	*****	-0.17	0.07	*****	0.11	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.04	*****	0.10	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 8	3	22	46		-21.60	239.68	242.94	-461.02	*****	*****	*****	*****	0.12	-0.16	-0.10	0.13	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.13	-0.08	0.16	*****	*****	*****	*****
1927-	7- 9	3	17	18		*****	*****	356.56	-356.56	*****	*****	*****	*****	*****	*****	-0.13	0.13	*****	*****	*****	*****	*****	*****	-0.13	0.13	*****	*****	*****	*****
1927-	7-10	3	30	28		74.71	-153.05	255.56	-177.23	*****	*****	*****	*****	0.16	-0.01	-0.18	0.04	*****	*****	*****	*****	0.04	0.00	-0.13	0.10	*****	*****	*****	*****
1927-	7-11	3	12	7		-51.35	79.19	-26.86	-0.97	*****	*****	*****	*****	-0.14	0.08	0.03	0.04	*****	*****	*****	*****	-0.06	-0.08	0.07	0.07	*****	*****	*****	*****
1927-	7-12	3	2	32		56.22	128.60	-322.22	137.40	*****	*****	*****	*****	0.02	-0.05	-0.00	0.03	*****	*****	*****	*****	-0.09	0.04	-0.01	0.06	*****	*****	*****	*****
1927-	7-13	3	4	16		-78.59	-79.95	-258.38	416.91	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.06	0.21	-0.08	*****	*****	*****	*****	-0.11	0.08	0.08	-0.05	*****	*****	*****	*****
1927-	7-14	3	2	56		28.36	-225.17	-211.89	408.70	*****	*****	*****	*****	-0.10	0.13	0.11	-0.15	*****	*****	*****	*****	-0.03	0.04	0.04	-0.06	*****	*****	*****	*****
1927-	7-15	2	59	20		-303.21	-21.51	-43.91	368.63	*****	*****	*****	*****	0.15	-0.02	0.02	-0.15	*****	*****	*****	*****	0.09	-0.04	0.02	-0.07	*****	*****	*****	*****
1927-	7-16	2	52	31		-184.73	-189.47	67.86	306.34	*****	*****	*****	*****	-0.06	0.02	0.04	0.00	*****	*****	*****	*****	-0.04	0.16	-0.04	-0.09	*****	*****	*****	*****
1927-	7-20	2	13	57		44.24	67.43	-171.25	59.59	*****	*****	*****	*****	-0.11	-0.07	0.19	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.08	0.12	0.10	-0.13	*****	*****	*****	*****
1927-	7-21	2	12	14		254.74	-40.55	-42.62	-171.57	*****	*****	*****	*****	-0.09	0.07	0.06	-0.04	*****	*****	*****	*****	-0.04	0.05	0.04	-0.06	*****	*****	*****	*****
1927-	7-22	2	6	22		-45.74	234.92	190.18	-379.37	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.17	-0.06	0.20	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.19	-0.04	0.18	*****	*****	*****	*****
1927-	7-23	2	0	48		114.22	117.61	318.96	-550.79	*****	*****	*****	*****	-0.16	-0.01	-0.07	0.24	*****	*****	*****	*****	-0.14	0.15	-0.13	0.11	*****	*****	*****	*****
1928-	8-17	3	16	31		116.18	78.04	-325.58	131.36	*****	*****	*****	*****	-0.05	-0.11	0.15	0.01	*****	*****	*****	*****	-0.09	-0.05	0.09	0.05	*****	*****	*****	*****
1928-	8-19	3	5	42		-133.34	*****	-143.40	276.74	*****	*****	*****	*****	-0.07	*****	0.08	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.02	*****	0.00	0.02	*****	*****	*****	*****
1928-	8-23	2	44	3		-165.56	77.72	-217.57	305.41	*****	*****	*****	*****	-0.04	0.04	0.12	-0.12	*****	*****	*****	*****	-0.02	-0.05	0.24	-0.18	*****	*****	*****	*****
1928-	8-24	2	35	43		101.74	100.83	-347.75	145.18	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.14	0.21	-0.10	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.04	0.22	-0.17	*****	*****	*****	*****
1928-	8-25	2	22	18		24.44	-31.30	-101.31	108.18	*****	*****	*****	*****	0.01	-0.11	0.09	0.01	*****	*****	*****	*****	-0.01	-0.02	0.06	-0.03	*****	*****	*****	*****
1928-	8-31	1	59	7		228.93	276.16	-202.88	-302.21	*****	*****	*****	*****	-0.00	-0.15	0.03	0.13	*****	*****	*****	*****	-0.11	-0.08	0.05	0.13	*****	*****	*****	*****
1928-	9- 7	1	45	56		-46.86	48.21	-444.73	443.38	*****	*****	*****	*****	0.16	-0.07	0.23	-0.31	*****	*****	*****	*****	0.03	0.00	0.28	-0.32	*****	*****	*****	*****
1928-	9- 8	1	31	12		-104.44	-110.54	-295.80	510.78	*****	*****	*****	*****	0.00	-0.00	0.26	-0.25	*****	*****	*****	*****	0.03	0.09	0.17	-0.29	*****	*****	*****	*****
1928-	9- 9	1	39	26		78.97	-197.73	-153.41	272.17	*****	*****	*****	*****	-0.02	0.11	0.06	-0.16	*****	*****	*****	*****	0.03	0.09	0.03	-0.15	*****	*****	*****	*****
1928-	9-12	1	16	53		33.57	-130.91	333.67	-236.33	*****	*****	*****	*****	0.16	-0.02	-0.20	0.07	*****	*****	*****	*****	0.02	0.04	-0.08	0.02	*****	*****	*****	*****
1928-	9-14	1	8	22		206.83	361.47	-131.09	-437.21	*****	*****	*****	*****	0.10	-0.20	-0.07	0.17	*****	*****	*****	*****	-0.04	-0.13	0.03	0.14	*****	*****	*****	*****
1928-	9-17	0	55	59		-84.61	216.22	200.65	-332.26	*****	*****	*****	*****	0.03	-0.16	-0.13	0.27	*****	*****	*****	*****	-0.08	-0.04	-0.13	0.24	*****	*****	*****	*****
1928-	9-18	1	3	46		24.72	12.54	242.13	-279.39	*****	*****	*****	*****	-0.08	-0.04	-0.13	0.24	*****	*****	*****	*****	-0.09	0.03	-0.18	0.24	*****	*****	*****	*****
1928-	9-19	1	2	17		-96.44	-217.91	275.94	38.42	*****	*****	*****	*****	0.21	-0.07	-0.24	0.09	*****	*****	*****	*****	0.04	-0.03	-0.19	0.18	*****	*****	*****	*****
1928-	9-20	0	24	13		-66.54	*****	-84.27	150.81	*****	*****	*****	*****	-0.09	*****	0.10	-0.01	*****	*****	*****	*****	-0.07	*****	0.10	-0.03	*****	*****	*****	*****
1928-	9-26	0	45	38		-187.49	-263.76	245.58	205.67	*****	*****	*****	*****	0.22	0.08	-0.14	-0.17	*****	*****	*****	*****	0.11	0.17	-0.07	-0.21	*****	*****	*****	*****
1928-	9-29	0	35	1		231.43	*****	-96.33	-135.10	*****	*****	*****	*****	-0.18	*****	0.10	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.05	*****	0.08	-0.03	*****	*****	*****	*****
1928-10- 3	0	12	0			-20.59	-49.24	459.77	-390.14	*****	*****	*****	*****	0.06	-0.08	-0.28	0.30	*****	*****	*****	*****	-0.04	0.00	-0.25	0.29	*****	*****	*****	*****
1928-10- 3	23	37	21			173.01	-71.87	183.08	-284.22	*****	*****	*****	*****	-0.24	0.15	-0.19	0.28	*****	*****	*****	*****	-0.20	0.02	-0.10	0.28	*****	*****	*****	*****
1928-10- 5	0	3	46			-34.01	253.05	-147.00	-72.04	*****	*****	*****	*****	0.12	-0.15	-0.05	0.08	*****	*****	*****	*****	-0.07	-0.17	0.10	0.15	*****	*****	*****	*****

SERIES D'OBSERVATIONS DITES "de DE SITTER" effectuées à Greenwich (Grande-Bretagne) en 1918-1919 et au Cap (Afrique du Sud)

en 1924 (f=6,9m)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0
et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)				Coordonnées observées							Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5								
an	mois	jr	hr m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1918-10-23	1	58	19	-15.30	-4.77	170.00	-149.93	3.09	-7.31	-32.31	36.53	0.09	0.09	-0.10	-0.08	-0.03	0.13	0.06	-0.16	-0.05	0.10	-0.04	-0.01	0.00	0.01	0.05	-0.06
1918-10-23	2	22	4	-59.12	-59.18	118.30	*****	14.37	5.51	-19.88	*****	0.10	0.03	-0.13	*****	-0.09	0.08	0.01	*****	-0.02	0.06	-0.05	*****	-0.02	-0.01	0.03	*****
1918-10-30	2	43	32	-134.00	-85.00	88.75	130.25	27.70	11.85	-12.95	-26.60	0.06	0.07	-0.00	-0.13	-0.17	0.01	-0.08	0.24	-0.05	0.11	0.10	-0.16	-0.05	-0.01	0.01	0.05
1918-10-30	3	5	28	-127.43	-88.69	87.57	123.56	26.76	12.35	-12.78	-26.33	0.11	0.05	-0.12	-0.04	-0.18	0.01	-0.07	0.23	-0.01	0.09	-0.01	-0.08	-0.05	-0.01	0.02	0.04
1918-11-9	4	48	27	-42.80	278.12	-235.31	*****	6.28	-39.47	33.19	*****	0.04	-0.00	-0.04	*****	-0.05	0.12	-0.07	*****	0.00	0.01	-0.01	*****	-0.07	0.20	-0.13	*****
1918-11-9	5	7	44	-41.98	277.91	-235.92	*****	6.30	-39.65	33.35	*****	-0.01	0.01	0.00	*****	-0.04	0.12	-0.08	*****	-0.05	0.02	0.03	*****	-0.06	0.20	-0.13	*****
1918-11-14	2	49	56	-169.09	-277.82	30.77	416.14	25.85	39.28	-8.20	-56.92	-0.11	0.06	0.03	0.02	-0.12	-0.16	-0.08	0.36	-0.06	0.01	0.10	-0.05	-0.10	-0.16	0.00	0.26
1918-11-14	3	14	51	-172.13	-277.66	30.55	419.25	26.36	39.39	-8.25	-57.50	-0.06	0.08	-0.06	0.04	-0.13	-0.17	-0.06	0.36	-0.02	0.04	0.01	-0.03	-0.11	-0.16	0.02	0.25
1918-11-16	2	28	13	-126.28	176.65	-318.25	267.87	20.05	-17.74	46.81	-49.12	-0.03	0.04	-0.12	0.11	-0.10	-0.03	-0.12	0.24	0.01	0.02	-0.11	0.07	-0.10	0.13	-0.13	0.11
1918-11-16	3	0	50	-126.51	181.39	-318.32	265.43	20.63	-18.72	46.98	-48.90	-0.06	0.06	-0.06	0.05	-0.10	-0.03	-0.12	0.24	-0.03	0.05	-0.04	0.02	-0.10	0.13	-0.14	0.11
1918-11-22	2	38	54	241.58	40.95	103.71	-386.24	-30.19	-0.94	-24.02	55.15	0.11	-0.02	-0.09	0.00	0.15	-0.05	0.22	-0.32	0.00	-0.08	0.04	0.04	0.18	-0.01	0.05	-0.22
1918-11-22	3	10	48	248.05	44.60	94.99	-387.65	-31.33	-1.29	-22.81	55.43	0.13	-0.04	-0.14	0.05	0.15	-0.05	0.22	-0.32	0.03	-0.11	-0.01	0.08	0.18	-0.01	0.06	-0.23
1918-11-23	2	46	2	74.93	354.89	-120.94	-308.88	-14.60	-46.46	11.74	49.32	-0.06	0.09	0.00	-0.03	0.12	0.18	0.06	-0.35	-0.02	0.04	-0.01	-0.02	0.00	0.24	-0.07	-0.17
1918-11-23	3	11	58	70.43	358.51	-122.66	-306.27	-13.83	-47.23	12.06	49.00	-0.05	0.02	0.05	-0.03	0.11	0.19	0.05	-0.35	-0.01	-0.03	0.05	-0.01	-0.00	0.25	-0.08	-0.17
1918-12-7	23	25	45	223.50	348.75	-157.02	-415.24	-24.31	-48.40	22.74	49.96	0.09	0.06	-0.05	-0.09	0.07	0.29	0.02	-0.37	-0.02	0.12	-0.03	-0.07	0.13	0.24	-0.10	-0.26
1918-12-7	23	58	39	232.58	341.96	-157.66	-416.88	-25.60	-47.78	23.04	50.34	0.11	0.01	0.00	-0.12	0.06	0.29	0.02	-0.36	0.00	0.07	0.02	-0.09	0.13	0.23	-0.11	-0.26
1918-12-10	23	49	56	-156.30	184.20	291.53	-319.42	14.55	-25.70	-39.26	50.40	0.03	0.06	-0.03	-0.05	0.04	0.14	0.07	-0.25	-0.02	0.02	-0.02	0.01	-0.13	0.12	0.13	-0.12
1918-12-31	23	52	54	-317.59	-59.10	32.41	344.28	25.51	7.26	-2.01	-30.76	-0.16	0.07	-0.04	0.13	-0.05	-0.09	-0.08	0.22	-0.11	-0.01	-0.04	0.16	-0.17	-0.02	0.02	0.17
1919-1-8	21	38	54	64.01	148.08	326.97	-539.06	0.48	-15.02	-28.43	42.97	0.02	0.12	-0.16	0.02	0.01	0.21	0.09	-0.31	-0.07	0.14	-0.07	-0.01	0.06	0.13	0.15	-0.34
1919-1-16	20	38	58	-218.30	-264.20	150.05	332.45	16.81	17.09	-19.80	-14.10	-0.04	0.10	-0.06	-0.01	-0.08	-0.04	-0.02	0.14	-0.02	0.14	-0.02	-0.01	-0.15	-0.12	0.06	0.21
1919-1-16	21	5	52	-221.96	-266.55	149.98	338.52	17.30	17.39	-19.94	-14.75	-0.04	0.13	-0.10	0.01	-0.08	-0.04	-0.02	0.14	-0.02	0.06	-0.05	0.01	-0.15	-0.12	0.07	0.21
1919-1-17	20	27	4	-24.98	-294.18	-114.96	434.13	2.96	29.31	-1.89	-30.38	0.18	-0.02	-0.14	-0.02	-0.06	-0.24	0.02	0.27	0.10	-0.12	-0.00	0.02	0.03	-0.17	-0.06	0.20
1919-1-18	20	41	9	-238.43	83.96	-352.64	507.11	20.49	-2.45	24.08	-42.12	-0.00	0.03	-0.04	0.01	-0.12	-0.08	-0.11	0.32	-0.03	-0.00	0.01	0.03	-0.16	0.07	-0.16	0.25
1919-1-18	21	6	5	-238.56	87.49	-356.02	507.09	20.74	-2.97	24.48	-42.26	-0.02	0.06	-0.03	-0.00	-0.12	-0.08	-0.11	0.31	-0.06	0.03	0.02	0.01	-0.15	0.07	-0.16	0.25
1919-2-7	20	29	24	*****	-228.92	117.47	111.44	*****	25.83	-9.48	-16.35	*****	-0.01	-0.06	0.06	*****	-0.18	-0.02	0.20	*****	-0.08	0.10	-0.01	*****	-0.09	0.05	0.04
1919-2-7	21	4	44	15.52	-228.18	108.72	103.94	8.14	22.92	-12.05	-19.00	0.11	-0.06	-0.12	0.07	-0.05	-0.21	0.02	0.23	-0.00	-0.10	0.07	0.03	0.05	-0.14	0.05	0.03
1919-2-7	21	32	36	23.37	-225.90	103.21	99.33	7.46	23.00	-11.72	-18.74	0.02	-0.00	-0.08	0.06	-0.04	-0.21	0.02	0.23	-0.08	-0.05	0.12	0.02	0.07	-0.14	0.04	0.03
1919-2-8	20	23	58	-32.07	150.91	-87.43	-31.40	4.98	2.19	3.14	-10.31	-0.10	0.09	-0.09	0.11	-0.00	-0.08	0.01	0.08	-0.04	0.01	0.02	0.01	-0.03	0.08	-0.03	-0.03
1919-2-10	20	26	43	124.92	90.80	-14.18	-201.54	-5.75	-8.79	10.83	3.71	-0.07	0.02	-0.01	0.05	0.06	0.07	0.03	-0.16	-0.06	0.04	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	-0.11
1919-2-11	19	49	12	303.17	74.58	*****	-377.75	-20.84	1.64	*****	19.20	-0.05	-0.03	*****	0.07	0.19	-0.02	*****	-0.17	0.03	-0.08	*****	0.06	0.19	-0.01	*****	-0.18
1919-2-11	20	20	57	299.29	80.88	*****	-380.17	-20.88	1.38	*****	19.50	-0.10	0.09	*****	0.01	0.19	-0.03	*****	-0.16	-0.02	0.03	*****	-0.01	0.19	-0.01	*****	-0.18
1919-2-12	20	9	27	-37.91	258.57	295.20	-515.86	2.56	-17.29	-16.61	31.34	0.08	0.02	-0.11	0.00	0.06	0.17	0.10	-0.33	0.01	0.04	-0.06	0.01	-0.05	0.16	0.15	-0.26
1919-2-12	20	40	0	-34.53	257.14	296.10	-518.71	2.55	-17.44	-16.81	31.70	0.14	-0.04	-0.13	0.03	0.05	0.17	0.10	-0.32	0.06	-0.02	-0.08	0.04	-0.05	0.17	0.15	-0.26
1919-2-13	19	23	1	110.16	*****	368.25	-478.40	-10.97	*****	-26.89	37.86	-0.01	*****	-0.08	0.09	0.13	*****	0.13	-0.25	0.04	*****	-0.07	0.03	0.05	*****	0.14	-0.19
1919-2-25	21	4	19	191.13	-72.78	-30.75	-87.60	-11.16	9.58	12.28	-10.70	0.05	0.03	-0.01	-0.07	0.03	-0.14	0.01	0.10	0.08	-0.01	0.02	-0.09	0.12	-0.08	0.01	-0.06
1919-3-2	18	50	34	*****	362.82	-67.81	-295.01	*****	-23.30	-1.81	25.11	*****	0.05	-0.06	0.01	*****	0.19	0.09	-0.28	*****	0.01	-0.01	0.00	*****	0.20	-0.06	-0.14
1919-3-2	21	4	4	161.44	307.43	-134.22	-334.65	-8.27	-21.60	2.40	27.47	0.08	-0.04	-0.13	0.09	0.04	0.19	0.07	-0.31	-0.02	-0.05	-0.05	0.12	0.07	0.18	-0.08	-0.17
1919-3-6	19	24	46	-79.08	-78.20	94.04	63.24	1.19	-2.69	-7.17	8.67	0.01	0.02	-0.09	0.06	-0.04	0.12	-0.05	-0.03	0.01	-0.02	-0.10	0.11	-0.03	0.01	-0.00	0.02
1919-3-6	19	55	11	-80.54	-83.35	96.39	67.50	1.18	-2.38	-7.32	8.52	0.03	0.02	-0.08	0.02	-0.04	0.12	-0.06	-0.02	0.04	-0.03	-0.09	0.07	-0.03	0.01	-0.00	0.02
1919-3-20	20	31	50	46.48	84.69	181.63	-312.80	-6.13	-12.16	-12.15	30.44	0.07	0.06	-0.06	-0.05	0.02	0.18	0.03	-0.23	0.05	0.02	-0.07	-0.00	0.02	0.07	0.05	-0.15
1919-3-20	20	58	7	46.83	80.34	183.30	-310.47	-6.26	-11.93	-12.27	30.46	0.01	0.03	-0.04	0.00	0.03	0.18	0.03	-0.23	-0.01	0.01	-0.05	0.05	0.03	0.07	0.05	-0.15
1919-3-24	19	53	51	*****	-20.67	-345.39	366.06	*****	-5.71	22.17	-16.46	*****	0.00	-0.04	0.04	*****	0.04	-0.11	0.06	*****	-0.03	-0.05	0.08	*****	0.02	-0.16	0.14
1924-7-16	19	11	58	125.59	-109.47	-135.65	119.53	-18.69	25.94	33.72	-40.96	0.03	-0.06	0.05	-0.02	-0.04	0.00	-0.09	0.12	-0.03	-0.03	0.07	-0.02	0.01	0.04	0.02	-0.07
1924-7-16	19	57	46	133.07	-117.40	-142.78	127.11	-19.09	26.62	34.45	-41.98	-0.01	-0.01	0.02	-0.00	-0.03	-0.00	-0.09	0.12	-0.06	0.02	0.04	-0.00	0.01	0.03	0.02	-0.06
1924-7-16	20	30	44	137.66	-122.75	-147.60	132.68	-19.25	27.04	34.93	-42.73	-0.05	-0.03	0.09	-0.01	-0.02	0.00	-0.10	0.12	-0.10	-0.01	0.11	-0.01	0.01	0.04	0.01	-0.06
1924-7-17	18	35	1	-54.73	-66.60	-245.58	366.91	15.80	7.91	43.36	-																

date (UT)					Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5								
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1924	7	18	18	48	12	-0.53	49.44	-379.39	330.48	9.71	-5.12	50.30	-54.88	-0.08	0.05	0.06	-0.03	0.07	-0.05	-0.12	0.09	-0.04	0.11	-0.09	0.02	0.01	-0.02	0.00	0.00
1924	7	18	19	29	8	-6.62	51.94	-376.88	331.56	10.91	-5.24	49.41	-55.07	-0.16	0.07	0.07	0.02	0.08	-0.06	-0.12	0.09	-0.11	0.14	-0.09	0.06	0.02	-0.03	0.00	0.00
1924	7	18	20	8	4	-13.12	54.23	-374.04	332.93	12.12	-5.32	48.50	-55.30	-0.16	0.05	0.02	0.09	0.09	-0.06	-0.11	0.09	-0.10	0.12	-0.14	0.13	0.02	-0.02	0.01	0.00
1924	7	19	12	35	37	-274.58	-99.22	*****	373.80	35.18	24.84	*****	-60.03	0.09	0.01	*****	-0.10	0.01	-0.02	*****	0.02	0.02	0.05	*****	-0.07	0.05	-0.03	*****	-0.03
1924	7	19	19	10	25	-267.97	-107.23	*****	375.21	33.85	26.14	*****	-59.99	0.03	0.06	*****	-0.09	0.01	-0.03	*****	0.02	-0.05	0.11	*****	-0.05	0.06	-0.03	*****	-0.03
1924	7	19	19	42	9	-251.39	-114.90	*****	376.29	32.58	27.35	*****	-59.93	0.06	0.01	*****	-0.07	0.00	-0.02	*****	0.01	-0.02	0.06	*****	-0.03	0.06	-0.03	*****	-0.03
1924	7	20	18	19	23	-95.59	-363.79	69.09	390.29	18.91	53.21	-19.01	-53.11	-0.15	0.16	0.06	-0.07	0.03	0.03	0.05	-0.11	-0.05	0.19	-0.10	-0.04	-0.04	0.06	-0.00	-0.02
1924	7	20	18	47	53	-101.85	-363.55	74.26	391.14	19.94	52.72	-19.57	-53.09	-0.23	0.07	0.15	0.01	0.04	0.05	0.04	-0.13	-0.12	0.10	-0.01	0.04	-0.03	0.07	-0.01	-0.03
1924	7	20	19	16	48	-108.35	-362.91	79.36	391.90	20.99	52.18	-20.12	-53.06	-0.19	0.08	0.14	-0.04	0.03	0.05	0.05	-0.12	-0.08	0.11	-0.02	-0.01	-0.04	0.07	-0.01	-0.02
1924	7	22	18	7	44	*****	-44.50	-70.81	115.31	*****	-3.29	12.17	-8.88	*****	0.02	-0.00	-0.01	*****	-0.08	0.14	-0.07	*****	0.04	0.03	-0.07	*****	-0.07	0.02	0.05
1924	7	22	18	37	21	-203.33	25.00	-4.62	182.95	24.31	-11.46	4.20	-17.05	-0.16	0.10	0.08	-0.03	0.05	-0.10	0.12	-0.07	-0.09	0.10	0.10	-0.10	-0.05	-0.06	0.03	0.08
1924	7	22	19	5	49	-207.25	27.70	-4.74	184.29	24.60	-11.58	4.21	-17.23	-0.25	0.02	0.19	0.03	0.06	-0.09	0.10	-0.08	-0.18	0.02	0.21	-0.05	-0.04	-0.05	0.02	0.07
1924	7	24	19	8	10	38.03	0.68	-146.95	108.24	-9.39	-13.38	18.40	4.37	-0.17	0.17	0.02	-0.01	0.04	0.10	-0.08	-0.07	-0.12	0.20	0.02	-0.09	-0.03	0.01	-0.03	0.05
1924	7	24	19	34	13	36.18	5.83	-147.51	105.50	-9.28	-14.17	18.47	4.98	-0.13	0.13	0.02	-0.02	0.04	0.11	-0.08	-0.06	-0.08	0.16	0.02	-0.10	-0.03	0.02	-0.03	0.05
1924	7	25	18	48	3	185.07	210.40	-213.35	-182.12	-28.21	-39.43	19.62	48.03	-0.10	0.06	0.01	0.03	0.10	-0.00	-0.07	-0.03	-0.06	0.15	-0.07	-0.03	0.00	-0.05	-0.01	0.06
1924	7	25	19	16	46	184.20	214.06	-211.43	-186.83	-27.77	-39.77	19.02	48.51	-0.11	0.15	-0.01	-0.03	0.11	-0.02	-0.07	-0.03	-0.06	0.25	-0.09	-0.09	0.00	-0.06	-0.01	0.07
1924	7	25	19	54	8	182.39	218.63	-208.50	-192.52	-27.09	-40.17	18.18	49.08	-0.14	0.10	0.01	0.03	0.12	-0.01	-0.07	-0.04	-0.08	0.19	-0.08	-0.03	0.00	-0.05	-0.01	0.06
1924	7	26	18	14	2	-0.00	225.14	60.57	-285.71	-4.71	-25.66	-26.53	56.89	-0.05	-0.11	-0.04	0.20	0.03	0.01	0.02	-0.06	-0.02	0.01	-0.18	0.19	0.03	-0.01	-0.01	-0.00
1924	7	26	18	40	37	2.74	219.78	65.88	-288.40	-5.39	-24.62	-27.22	57.24	0.02	-0.05	0.07	-0.04	0.02	0.01	0.00	-0.03	0.05	0.07	-0.07	-0.05	0.02	-0.02	-0.02	0.03
1924	7	26	19	3	20	5.32	215.07	70.15	-290.55	-6.01	-23.76	-27.79	57.56	0.02	0.03	-0.03	-0.03	0.02	-0.04	0.01	0.02	0.05	0.16	-0.16	-0.04	0.02	-0.07	-0.02	0.08
1924	7	26	19	27	1	8.33	209.96	74.70	-292.98	-6.68	-22.81	-28.38	57.87	0.02	0.09	0.04	-0.14	0.02	-0.04	-0.00	0.03	0.04	0.21	-0.10	-0.15	0.02	-0.08	-0.04	0.09
1924	7	27	18	40	16	192.27	-84.68	306.65	-414.23	-25.20	13.48	-56.47	68.19	-0.38	-0.02	-0.14	0.54	0.05	0.04	0.05	-0.14	-0.27	0.04	-0.28	0.50	-0.01	0.06	0.01	-0.05
1924	7	27	19	5	38	188.24	-85.24	311.72	-414.72	-24.36	13.25	-57.01	68.12	-0.13	-0.01	0.01	0.13	0.02	0.03	0.03	-0.08	-0.01	0.05	-0.12	0.09	-0.05	0.06	-0.01	0.01
1924	7	29	18	4	0	*****	236.60	240.96	-477.56	*****	-35.66	-23.87	59.53	*****	0.03	0.04	-0.06	*****	-0.12	0.10	0.02	*****	0.05	0.08	-0.12	*****	-0.03	0.06	-0.03
1924	7	29	18	27	19	*****	237.21	238.34	-475.54	*****	-35.53	-23.47	59.00	*****	0.03	0.06	-0.08	*****	-0.12	0.10	0.03	*****	0.05	0.10	-0.14	*****	-0.03	0.06	-0.03
1924	7	29	18	52	0	*****	237.75	235.49	-473.24	*****	-35.37	-23.05	58.42	*****	0.03	-0.01	-0.01	*****	-0.12	0.10	0.02	*****	0.05	0.03	-0.07	*****	-0.03	0.07	-0.04
1924	7	30	17	21	4	*****	131.16	116.41	-247.57	*****	-11.42	-5.53	16.96	*****	-0.02	0.05	-0.03	*****	-0.04	-0.03	0.07	*****	0.00	0.08	-0.08	*****	0.01	0.04	-0.05
1924	7	30	17	42	29	*****	128.44	114.71	-243.15	*****	-11.04	-5.29	16.33	*****	0.02	0.02	-0.03	*****	-0.06	-0.05	0.12	*****	0.03	0.05	-0.08	*****	-0.01	0.02	-0.00
1924	7	30	18	1	37	*****	125.94	113.22	-239.16	*****	-10.66	-5.06	15.72	*****	-0.04	0.03	0.01	*****	-0.05	-0.06	0.11	*****	-0.02	0.06	-0.03	*****	-0.00	0.02	-0.01
1924	8	2	18	6	13	-139.37	115.30	-116.41	140.49	27.58	-1.20	10.10	-36.48	-0.08	0.05	0.02	0.01	-0.01	-0.09	-0.06	0.16	-0.05	0.14	-0.15	0.07	0.04	-0.03	0.01	-0.03
1924	8	2	18	28	27	-140.01	110.45	-113.23	142.79	27.38	-0.26	9.63	-36.75	-0.04	-0.05	0.01	0.08	-0.02	-0.08	-0.06	0.15	-0.01	0.04	-0.17	0.13	0.04	-0.02	0.01	-0.04
1924	8	2	18	51	4	-140.36	105.46	-110.05	144.94	27.14	0.69	9.16	-36.99	-0.00	-0.02	-0.01	0.03	-0.02	-0.08	-0.05	0.16	0.02	0.07	-0.18	0.09	0.04	-0.02	0.02	-0.03
1924	8	3	18	12	17	-0.23	-278.28	51.48	227.03	8.59	51.45	-13.22	-46.83	-0.09	0.03	0.03	0.03	-0.01	-0.03	-0.01	0.06	-0.02	0.08	-0.14	0.08	-0.02	0.03	0.01	-0.02
1924	8	3	18	34	20	-3.27	-280.99	54.94	229.32	9.25	51.53	-13.66	-47.13	-0.15	0.03	0.10	0.02	-0.01	-0.03	-0.02	0.06	-0.07	0.07	-0.08	0.07	-0.01	0.03	-0.00	-0.02
1924	8	3	18	54	59	-6.28	-283.32	58.16	231.44	9.89	51.57	-14.06	-47.41	-0.13	0.07	0.14	-0.07	-0.01	-0.04	-0.03	0.07	-0.05	0.11	-0.04	-0.02	-0.02	0.03	-0.01	-0.00

SERIES D'OBSERVATIONS EFFECTUEES PAR PETRESCU à Bucarest (Roumanie) en 1934 (f=6,1m) et à Paris (France) en 1936 (f=3,4m)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)						Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5									
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4		
1934-	4-	7	21	16	49	-104.33	*****	104.33	*****	46.10	*****	-46.10	*****	0.23	*****	-0.23	*****	0.04	*****	-0.04	*****	0.22	*****	-0.22	*****	0.11	*****	-0.11	*****		
1934-	4-	12	20	59	9	*****	-35.05	-315.00	350.05	*****	25.14	121.79	-146.93	*****	-0.06	0.15	-0.10	*****	0.19	0.23	-0.42	*****	-0.01	0.12	-0.10	*****	0.09	0.35	-0.44	*****	
1934-	4-	13	20	55	13	*****	-125.90	125.90	*****	*****	66.66	-66.66	*****	*****	-0.06	0.06	*****	*****	-0.08	0.08	*****	*****	-0.02	0.02	*****	*****	-0.15	0.15	*****	*****	
1934-	4-	13	21	48	4	*****	-271.86	-6.57	278.43	*****	121.43	-17.16	-104.28	*****	-0.02	0.21	-0.20	*****	0.12	-0.07	-0.05	*****	-0.01	0.15	-0.14	*****	0.03	-0.02	-0.01	*****	
1934-	4-	17	19	45	39	85.79	24.46	39.08	-149.34	-46.00	-25.24	-10.47	81.71	0.07	-0.08	0.06	-0.04	-0.08	0.10	-0.17	0.16	0.08	-0.13	0.12	-0.07	-0.09	0.04	-0.24	0.29	0.19	
1934-	4-	17	22	39	31	96.58	47.06	18.31	-161.95	-51.93	-35.83	-0.59	88.36	-0.03	-0.38	0.23	0.17	0.06	0.14	-0.28	0.08	-0.04	-0.41	0.30	0.15	0.08	0.10	-0.37	0.19		
1934-	4-	18	19	49	59	254.35	238.40	-158.43	-334.32	-113.06	-119.01	69.56	162.50	-0.03	-0.25	0.16	0.12	-0.05	-0.11	-0.51	0.67	-0.01	-0.27	0.18	0.10	-0.24	0.01	-0.51	0.75		
1934-	4-	18	21	6	47	245.34	253.26	-159.53	-339.07	-107.99	-125.21	69.64	163.56	0.05	-0.26	0.17	0.04	-0.14	-0.31	0.12	0.33	0.08	-0.29	0.18	0.02	-0.35	-0.19	0.13	0.41		
1934-	4-	18	21	45	41	239.37	260.70	-159.42	-340.64	-104.74	-128.18	69.05	163.87	-0.26	-0.37	0.23	0.40	0.07	-0.28	0.08	0.13	-0.22	-0.39	0.24	0.38	-0.15	-0.16	0.09	0.21		
1934-	4-	19	20	26	57	93.23	303.25	-37.96	-358.52	-45.59	-124.09	4.33	165.36	0.11	-0.47	0.11	0.25	-0.04	-0.18	-0.02	0.25	0.06	-0.41	0.10	0.26	0.03	-0.34	0.02	0.29		
1934-	4-	19	21	18	48	102.94	292.30	-33.57	-361.67	-50.23	-118.14	1.97	166.40	0.24	-0.07	-0.14	-0.04	-0.04	-0.02	-0.14	0.19	0.18	-0.01	-0.15	-0.02	0.04	-0.18	-0.09	0.23		
1934-	4-	19	21	41	43	107.45	287.16	-31.46	-363.15	-52.47	-115.57	1.02	167.02	0.22	0.05	-0.06	-0.21	-0.12	-0.09	-0.11	0.32	0.16	0.10	-0.07	-0.19	-0.04	-0.26	-0.06	0.36		
1934-	4-	20	20	59	57	*****	172.15	*****	-172.15	*****	-70.34	*****	70.34	*****	-0.05	*****	0.05	*****	0.01	*****	-0.01	*****	-0.08	*****	0.08	*****	-0.07	*****	0.07	*****	
1934-	4-	20	19	49	9	*****	7.08	331.61	-338.69	*****	-2.33	-145.22	147.55	*****	0.02	-0.09	0.07	*****	-0.11	-0.14	0.25	*****	0.02	-0.15	0.13	*****	-0.01	-0.19	0.21	*****	
1934-	4-	21	19	49	9	*****	7.08	331.61	-338.69	*****	-2.33	-145.22	147.55	*****	0.02	-0.09	0.07	*****	-0.11	-0.14	0.25	*****	0.02	-0.15	0.13	*****	-0.01	-0.19	0.21	*****	
1934-	4-	21	20	48	0	*****	11.84	329.71	-341.55	*****	-4.51	-144.07	148.58	*****	0.07	-0.16	0.09	*****	0.05	-0.39	0.34	*****	0.08	-0.22	0.15	*****	0.16	-0.46	0.29	*****	
1934-	4-	21	21	52	50	*****	16.85	327.86	-344.70	*****	-7.33	-142.10	149.42	*****	-0.45	0.42	0.04	*****	-0.08	-0.14	0.21	*****	-0.45	0.36	0.09	*****	0.04	-0.21	0.16	*****	
1934-	4-	23	19	41	19	45.62	*****	85.64	-131.26	-19.87	*****	-15.28	35.15	0.08	*****	-0.14	0.05	-0.07	*****	0.02	0.06	-0.01	*****	-0.04	0.05	0.06	*****	-0.05	-0.02	*****	
1934-	4-	23	20	34	9	52.75	*****	73.79	-126.54	-22.79	*****	-10.23	33.02	-0.04	*****	-0.30	0.34	-0.18	*****	-0.10	0.27	-0.14	*****	-0.20	0.34	-0.05	*****	-0.15	0.21	*****	
1934-	4-	23	21	17	2	58.03	*****	64.96	-123.00	-24.76	*****	-6.03	30.79	0.10	*****	0.03	-0.14	-0.24	*****	0.09	0.15	0.02	*****	0.13	-0.15	-0.13	*****	0.04	0.09	*****	
1934-	4-	28	19	36	38	*****	-316.44	11.30	305.14	*****	137.69	-10.46	-127.22	*****	0.15	0.19	-0.34	*****	0.27	-0.04	-0.23	*****	0.17	0.14	-0.31	*****	0.37	-0.04	-0.33	*****	
1934-	4-	28	19	56	33	*****	-314.71	11.82	302.90	*****	136.89	-10.61	-126.29	*****	0.01	0.20	-0.21	*****	0.52	-0.06	-0.45	*****	0.03	0.15	-0.18	*****	0.62	-0.07	-0.55	*****	
1934-	4-	30	19	42	43	-115.76	*****	-20.94	136.70	35.00	*****	14.57	-49.57	0.16	*****	-0.12	-0.04	-0.10	*****	0.02	0.08	0.05	*****	0.00	-0.06	-0.01	*****	-0.14	0.15	*****	
1934-	4-	30	20	16	37	-107.32	*****	-26.06	133.38	31.39	*****	16.93	-48.32	0.12	*****	-0.22	0.10	-0.00	*****	0.17	-0.17	0.02	*****	-0.10	0.08	0.08	*****	0.01	-0.09	*****	
1934-	5-	1	19	26	55	-32.65	-129.24	-34.82	196.71	7.00	45.05	21.07	-73.11	0.12	-0.13	0.14	-0.13	-0.13	0.34	0.15	-0.36	0.15	-0.21	0.23	-0.17	-0.16	0.30	0.08	-0.22	*****	
1934-	5-	1	19	42	46	-33.35	-127.36	-35.66	196.37	7.45	44.31	21.07	-72.83	0.28	-0.18	0.15	-0.24	0.04	0.60	-0.29	-0.34	0.31	-0.26	0.23	-0.28	0.01	0.55	-0.36	-0.20	*****	
1934-	5-	2	19	38	51	189.39	*****	-203.07	13.68	-97.83	*****	86.25	11.58	0.03	*****	0.14	-0.18	0.07	*****	-0.10	-0.00	*****	0.20	-0.19	-0.03	*****	0.02	0.01	*****	*****	
1934-	5-	2	20	52	38	163.31	97.89	-236.21	-24.99	-79.40	-61.46	106.20	34.66	-0.02	0.03	0.07	-0.09	-0.10	-0.13	0.26	-0.03	-0.03	0.02	0.12	-0.11	-0.25	-0.02	0.22	0.05	*****	
1934-	5-	4	20	55	44	231.49	26.44	*****	-257.93	-110.25	-14.15	*****	124.40	0.05	0.14	*****	-0.19	-0.08	-0.05	*****	0.12	0.11	0.10	*****	-0.21	-0.19	-0.14	*****	0.33	*****	
1934-	5-	5	19	29	2	*****	13.62	336.25	-349.87	*****	*****	-11.34	-161.04	172.38	*****	-0.12	0.06	0.05	*****	0.36	-0.35	-0.02	*****	-0.10	0.02	0.08	*****	0.35	-0.42	0.06	*****
1934-	5-	5	19	48	59	*****	15.15	337.32	-352.47	*****	-12.34	-161.40	173.73	*****	-0.13	0.11	0.02	*****	0.19	-0.45	0.26	*****	-0.12	0.07	0.05	*****	0.19	-0.53	0.34	*****	
1934-	5-	5	20	31	52	*****	18.97	339.33	-358.31	*****	-14.45	-161.48	175.93	*****	0.17	0.10	-0.28	*****	-0.07	-0.07	0.14	*****	0.19	0.06	-0.25	*****	-0.07	-0.15	0.21	*****	
1934-	5-	6	19	32	5	*****	177.64	319.82	-497.46	*****	-84.41	-141.62	226.02	*****	-0.06	0.31	-0.25	*****	-0.19	-0.06	0.26	*****	-0.06	0.31	-0.26	*****	-0.07	-0.24	0.31	*****	
1934-	5-	6	19	55	1	*****	179.67	318.80	-498.47	*****	-85.04	-141.05	226.08	*****	0.14	0.33	-0.47	*****	-0.17	-0.09	0.26	*****	0.14	0.33	-0.47	*****	-0.05	-0.26	0.31	*****	
1934-	5-	8	19	27	14	99.82	-14.59	110.78	-196.01	-40.43	6.37	-33.80	67.87	0.39	0.01	-0.21	-0.19	-0.03	0.02	-0.09	0.10	0.43	-0.09	-0.12	-0.22	-0.04	0.02	-0.12	-0.13	*****	
1934-	5-	8	19	44	10	97.00	-13.95	109.38	-192.44	-39.36	5.71	-32.99	66.65	-0.06	-0.18	-0.07	0.31	-0.00	-0.14	-0.07	0.22	-0.03	-0.28	0.02	0.28	-0.00	-0.15	-0.10	0.25	*****	
1934-	5-	8	19	58	9	95.14	-13.01	108.15	-190.28	-38.64	5.46	-32.45	65.62	-0.04	0.06	0.02	-0.04	-0.10	0.02	-0.20	0.28	-0.00	-0.04	0.11	-0.07	-0.09	0.02	-0.23	0.31	*****	
1934-	5-	12	20	12	19	-148.40	-216.06	93.67	270.79	74.51	101.81	-44.63	-131.68	0.03	0.05	-0.15	0.07	0.07	0.36	-0.27	-0.16	0.02	0.08	-0.19	0.09	0.21	0.41	-0.25	-0.37	*****	
1934-	5-	12	20	33	17	-147.20	-216.14	93.70	269.65	73.81	101.43	-44.34	-130.90	-0.15	0.14	-0.01	0.02	0.17	0.07	-0.22	-0.03	-0.16	0.17	-0.05	0.04	0.32	0.12	-0.19	-0.24	*****	
1934-	5-	14	19	23	35	*****	-176.05	-59.24	235.29	*****	84.02	32.45	-116.47	*****	0.14	-0.25	0.11	*****	0.01	-0.08	0.07	*****	0.07	0.12	-0.18	0.05	*****	0.06	-0.12	0.06	*****
1934-	5-	14	19	44	31	*****	-178.22	-59.59	237.81	*****	84.85	32.62	-117.46	*****	-0.11	-0.17	0.27	*****	-0.02	-0.12	0.14	*****	-0.12	-0.09	0.22	*****	0.02	-0.15	0.13	*****	
1934-	5-	14	19	55	29	*****	-179.17	-59.78	238.95	*****	85.41	32.77	-118.18	*****	-0.04	-0.13	0.17	*****	0.10	-0.07	-0.02	*****	-0.06	-0.05	0.11	*****	0.14	-0.11	-0.03	*****	
1934-	5-	15	19	24	38	*****	-327.94	*****	327.94	*****	146.60	*****	-146.60	*****	0.06	*****	-0.06	*****	0.11	*****	-0.11	*****	0.04	*****	-0.04	*****	0.10	*****	-0.10	*****	
1934-	5-	15	19	46	35	*****	-328.51	*****	328.51	*****	146.22	*****	-146.22	*****	-0.17	*****	0.17	*****	-0.20	*****	0.20	*****	-0.19	*****	0.19	*****	-0.20	*****	0.20	*****	
1934-	5-	15	19	56	33	*****	-328.54	*****	328.54	*****	146.51	*****	-146.51	*****	-0.07	*****	0.07	*****	0.14	*****	-0.14	*****	-0.10	*****	0.10	*****	-0.10	*****	0.13		

date (UT)				Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5									
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1934-	5-19	20	1	46		-31.46	-95.55	195.27	-68.26	10.43	36.43	-104.06	57.21	0.01	0.10	0.03	-0.13	-0.13	0.06	-0.08	0.15	0.02	0.11	-0.03	-0.09	-0.10	-0.01	-0.13	0.24
1934-	5-22	19	22	2		*****	169.06	*****	-169.06	*****	-77.59	*****	77.59	*****	-0.09	*****	0.09	*****	-0.14	*****	0.14	*****	-0.12	*****	0.12	*****	-0.25	*****	0.25
1934-	5-22	19	34	0		*****	168.57	*****	-168.57	*****	-77.26	*****	77.26	*****	-0.08	*****	0.08	*****	0.01	*****	-0.01	*****	-0.11	*****	0.11	*****	-0.11	*****	0.11
1934-	5-29	19	21	28		*****	-232.34	-42.60	274.94	*****	110.41	33.80	-144.20	*****	-0.04	0.00	0.04	*****	-0.02	-0.15	0.17	*****	-0.10	0.11	-0.00	*****	0.02	-0.13	0.11
1934-	5-29	19	34	25		*****	-233.07	-43.55	276.62	*****	110.39	34.65	-145.05	*****	0.04	0.27	-0.31	*****	-0.28	0.11	0.17	*****	-0.02	0.38	-0.36	*****	-0.24	0.13	0.11
1936-	6-12	23	44	9		*****	229.51	137.64	-367.15	*****	-26.33	-9.60	35.93	*****	0.02	0.08	-0.10	*****	0.12	-0.74	0.62	*****	0.08	0.08	-0.16	*****	-0.07	-0.67	0.74
1936-	6-16	23	11	26		39.83	279.45	*****	-319.28	-1.20	-11.42	*****	12.62	0.18	-0.11	*****	-0.06	0.06	-0.74	*****	0.67	0.16	-0.04	*****	-0.12	0.21	-0.82	*****	0.62
1936-	6-16	23	49	19		41.85	272.06	*****	-313.92	-2.26	-10.02	*****	12.28	-0.42	0.05	*****	0.37	-0.44	-0.27	*****	0.71	-0.44	0.13	*****	0.31	-0.29	-0.35	*****	0.65
1936-	6-19	22	55	38		*****	54.37	0.83	-55.20	*****	1.41	17.76	-19.16	*****	-0.01	0.03	-0.02	*****	-0.14	-0.00	0.15	*****	0.00	0.03	-0.03	*****	-0.22	0.14	0.08
1936-	6-25	22	29	51		-316.76	*****	140.73	176.03	17.63	*****	-16.48	-1.15	0.20	*****	-0.03	-0.17	0.24	*****	-0.04	-0.19	0.15	*****	-0.01	-0.14	0.21	*****	-0.16	-0.05
1936-	6-25	23	12	33		-310.07	*****	139.57	170.50	16.37	*****	-15.76	-0.60	-0.13	*****	0.02	0.11	0.14	*****	0.19	-0.33	-0.19	*****	0.05	0.14	0.11	*****	0.07	-0.18
1936-	6-27	21	56	50		*****	*****	-18.29	18.29	*****	*****	-4.62	4.62	*****	*****	0.27	-0.27	*****	*****	0.22	-0.22	*****	*****	0.29	-0.29	*****	*****	0.18	-0.18
1936-	6-29	21	49	57		212.44	239.84	-161.97	-290.32	-24.58	-29.11	7.24	46.46	0.82	-0.46	0.21	-0.57	-0.27	-0.42	0.01	0.68	0.77	-0.46	0.23	-0.54	-0.33	-0.40	0.02	0.71
1936-	6-29	22	20	52		217.35	242.99	-163.11	-297.23	-24.46	-29.36	7.21	46.61	0.74	-0.65	0.25	-0.35	0.06	-0.56	0.14	0.36	0.71	-0.65	0.27	-0.33	-0.00	-0.55	0.16	0.39
1936-	7- 1	21	41	6		237.87	-47.84	299.73	-489.76	-22.32	10.89	-37.82	49.26	0.26	0.03	-0.05	-0.24	-1.00	0.22	-0.41	1.19	0.28	0.12	-0.16	-0.24	-0.98	0.28	-0.46	1.16
1936-	7- 1	22	2	1		239.07	-51.93	302.91	-490.05	-21.87	10.98	-38.10	48.99	0.17	-0.01	-0.02	-0.14	-0.72	0.17	-0.50	1.05	0.20	0.07	-0.13	-0.14	-0.70	0.24	-0.55	1.01
1936-	7- 1	22	31	57		240.37	-57.40	307.52	-490.48	-21.26	10.78	-38.56	49.03	0.13	-0.02	0.03	-0.14	-0.41	-0.21	-0.68	1.29	0.17	0.06	-0.08	-0.15	-0.39	-0.14	-0.73	1.26
1936-	7- 4	21	46	14		91.09	*****	*****	-91.09	0.48	*****	*****	-0.48	-0.11	*****	*****	0.11	-0.16	*****	*****	0.16	-0.17	*****	*****	0.17	-0.05	*****	*****	0.05
1936-	7- 4	21	58	13		50.10	*****	83.81	-133.91	-5.45	*****	11.27	-5.82	0.34	*****	-0.67	0.33	-0.14	*****	-0.43	0.56	0.25	*****	-0.61	0.36	-0.09	*****	-0.30	0.39
1936-	7- 6	22	4	19		*****	*****	-251.55	251.55	*****	*****	34.11	-34.11	*****	*****	-0.14	0.14	*****	*****	0.14	-0.14	*****	*****	-0.17	0.17	*****	*****	0.26	-0.26
1936-	7- 9	21	22	35		-289.09	-297.39	166.05	420.43	32.87	24.92	-15.13	-42.66	0.24	-0.04	0.05	-0.25	0.42	0.25	-0.05	-0.62	0.28	-0.07	0.00	-0.21	0.40	0.38	-0.19	-0.59
1936-	7-10	22	3	32		-159.22	-97.44	-23.10	279.76	14.20	3.35	8.67	-26.21	-0.03	-0.12	0.02	0.13	0.26	0.37	0.10	-0.73	0.03	-0.20	0.04	0.13	0.24	0.29	0.06	-0.60
1936-	7-11	22	25	32		-276.22	*****	*****	276.22	18.10	*****	*****	-18.10	0.13	*****	*****	-0.13	0.63	*****	*****	-0.63	0.06	*****	*****	-0.06	0.55	*****	*****	-0.55
1936-	7-16	21	17	0		-5.86	-50.28	419.89	-363.75	1.00	-3.64	-49.33	51.97	-0.09	-0.08	-0.08	0.26	-0.03	-0.08	-0.33	0.43	0.02	-0.09	-0.13	0.21	-0.04	0.05	-0.46	0.45
1936-	7-16	21	42	56		-9.30	-46.16	421.47	-366.01	1.17	-4.11	-49.09	52.03	-0.09	-0.05	-0.19	0.33	0.04	-0.07	-0.24	0.27	0.01	-0.05	-0.24	0.28	0.03	0.06	-0.38	0.29
1936-	7-17	21	34	0		128.19	157.05	281.24	-566.47	-16.14	-23.82	-23.68	63.65	0.24	-0.29	-0.26	0.30	-0.21	-0.44	-0.14	0.79	0.28	-0.35	-0.19	0.26	-0.20	-0.44	-0.16	0.80
1936-	7-18	21	7	8		12.29	238.12	191.16	-441.57	-7.94	-21.59	-10.31	39.85	-0.29	-0.22	0.71	-0.20	0.18	-0.29	-0.58	0.68	-0.35	-0.15	0.74	-0.25	0.25	-0.44	-0.47	0.66
1936-	7-25	21	10	31		-282.94	-25.90	-61.06	369.90	27.19	7.45	17.78	-52.43	0.14	-0.03	0.08	-0.19	0.25	0.10	-0.09	-0.26	0.10	0.01	0.06	-0.18	0.31	-0.08	-0.02	-0.20
1936-	7-27	20	55	41		-95.63	-75.19	-332.77	503.59	7.08	1.12	37.43	-45.63	0.13	0.28	0.88	-1.28	0.41	0.35	0.04	-0.90	0.06	0.26	0.88	-1.20	0.31	0.41	0.03	-0.75
1936-	8- 3	20	41	11		159.77	168.61	-40.00	-288.39	-19.61	-25.41	7.91	37.11	-0.12	-0.66	0.28	0.50	0.07	-0.14	0.01	0.06	-0.14	-0.65	0.29	0.51	0.02	-0.03	0.05	-0.04

SERIES D'OBSERVATIONS EFFECTUEES PAR VAN BIESBROEK à l'observatoire de Yerkes (USA) en 1961, 1962 et 1963 (f=2,3m)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)					Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5								
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1961-	9-	19	2	5	38	-105.96	*****	105.96	*****	-24.86	*****	24.86	*****	0.79	*****	-0.79	*****	0.30	*****	-0.30	*****	0.74	*****	-0.74	*****	0.26	*****	-0.26	*****
1961-	9-	28	1	1	37	100.81	-126.86	-117.50	143.55	22.92	-26.67	-21.97	25.71	0.01	-0.21	0.29	-0.09	-0.62	0.70	0.38	-0.46	0.04	-0.07	0.23	-0.20	-0.67	0.72	0.39	-0.43
1961-	10-	4	0	59	7	-211.41	33.35	36.84	141.22	-49.91	6.65	7.55	35.70	-1.35	1.26	-0.06	0.14	-0.15	0.21	-0.32	0.26	-1.23	1.26	-0.14	0.11	-0.11	0.07	-0.31	0.35
1961-	10-	6	0	45	0	41.63	0.84	-111.48	69.01	8.02	-4.19	-25.24	21.42	-0.10	-0.17	-0.03	0.30	0.05	-0.04	0.07	-0.08	-0.03	-0.22	-0.12	0.37	0.10	0.04	-0.01	-0.13
1961-	10-	7	0	51	36	193.46	212.47	-206.95	-198.99	43.18	46.78	-50.08	-39.88	0.31	0.54	-0.85	0.01	-0.08	-0.26	-0.33	0.67	0.38	0.45	-0.89	0.06	-0.11	-0.22	-0.32	0.65
1961-	10-	8	1	12	36	42.50	238.54	*****	-281.05	6.06	55.85	*****	-61.91	0.01	0.46	*****	-0.47	-0.52	0.75	*****	-0.23	-0.14	0.59	*****	-0.45	-0.39	0.67	*****	-0.29
1961-	10-	13	0	51	36	74.29	4.54	-66.46	-12.37	18.90	0.08	-11.25	-7.73	-0.21	0.09	-0.15	0.27	-0.50	-0.11	0.26	0.35	-0.05	0.09	-0.20	0.16	-0.42	-0.01	0.21	0.22
1961-	10-	16	0	40	5	-9.52	-261.33	16.48	254.37	0.91	-59.30	2.30	56.10	0.18	-0.91	-1.09	-0.37	0.06	0.00	-0.08	0.02	0.36	-0.87	0.97	-0.47	-0.01	0.03	-0.12	0.10
1961-	10-	17	1	12	36	*****	*****	-93.51	93.51	*****	*****	-20.73	20.73	*****	*****	-0.26	0.26	*****	*****	0.14	-0.14	*****	*****	-0.25	0.25	*****	*****	0.07	-0.07
1961-	10-	24	0	24	57	-44.66	*****	301.88	-257.22	-12.65	*****	68.98	-56.33	0.16	*****	1.31	-1.46	0.16	*****	0.14	-0.30	0.08	*****	1.26	-1.34	0.23	*****	0.14	-0.37
1961-	10-	27	0	1	13	*****	100.40	115.80	-216.21	*****	22.00	30.50	-52.50	*****	0.14	0.17	-0.31	*****	-0.30	0.08	0.22	*****	0.17	0.11	-0.28	*****	-0.18	0.09	0.09
1962-	5-	16	8	42	14	202.46	240.09	-88.79	-353.76	92.27	107.47	-41.24	-158.51	0.48	0.47	-0.08	-0.87	-0.28	0.18	0.21	-0.11	0.53	0.58	-0.27	-0.84	-0.25	0.20	0.20	-0.16
1962-	5-	24	9	7	15	-101.71	-87.03	-266.44	455.18	-45.20	-45.00	-118.52	208.72	-0.32	0.19	-1.09	1.22	-0.06	-1.05	0.56	0.55	-0.33	0.28	-1.16	1.21	-0.06	-0.98	0.43	0.62
1962-	6-	8	8	49	16	109.26	-162.73	-239.33	292.80	46.18	-76.41	-108.42	138.66	0.37	-0.23	-0.38	0.24	0.08	-0.19	0.07	0.03	0.51	-0.27	-0.41	0.18	0.00	-0.10	-0.02	0.12
1962-	6-	13	8	45	17	*****	-60.52	*****	60.52	*****	-21.74	*****	21.74	*****	-0.16	*****	0.16	*****	0.08	*****	-0.08	*****	-0.19	*****	0.19	*****	0.00	*****	-0.00
1962-	6-	26	8	14	15	*****	*****	-112.04	112.04	*****	*****	-56.33	56.33	*****	*****	-0.24	0.24	*****	*****	0.38	-0.38	*****	*****	-0.25	0.25	*****	*****	0.30	-0.30
1962-	6-	27	8	26	15	*****	-184.11	*****	184.11	*****	-82.36	*****	82.36	*****	-0.78	*****	0.78	*****	-0.08	*****	0.08	*****	-0.79	*****	0.78	*****	-0.22	*****	0.22
1962-	7-	6	9	1	18	*****	160.06	31.58	-191.64	*****	70.07	15.35	-85.42	*****	0.29	0.30	-0.59	*****	-0.07	0.12	-0.05	*****	0.30	0.24	-0.54	*****	0.12	0.06	-0.18
1962-	7-	12	7	53	18	*****	10.57	-286.91	276.34	*****	1.05	-137.55	136.50	*****	-0.33	-0.29	0.62	*****	0.04	0.13	-0.18	*****	-0.09	-0.46	0.55	*****	-0.00	0.02	-0.02
1962-	7-	24	8	23	17	174.63	-149.21	368.49	-393.90	78.30	-70.71	165.37	-172.96	-0.20	0.03	0.01	0.15	0.10	-0.37	0.77	-0.50	-0.08	-0.00	-0.02	0.09	0.04	-0.21	0.76	-0.60
1962-	7-	26	8	12	17	27.60	121.98	-149.58	*****	14.50	57.89	-72.39	*****	-0.02	-0.09	0.10	*****	-0.25	0.27	-0.01	*****	0.13	0.03	-0.16	*****	-0.11	0.20	-0.09	*****
1962-	7-	30	7	55	12	-275.60	-107.83	8.18	375.26	-129.72	-56.92	11.07	175.57	0.33	0.19	0.13	-0.65	-1.12	-0.36	0.31	1.17	0.43	0.35	-0.07	-0.71	-1.00	-0.44	0.19	1.25
1962-	8-	10	6	31	18	*****	200.39	-16.50	-183.89	*****	82.46	-11.66	-70.80	*****	-0.01	0.16	-0.15	*****	-1.00	0.73	0.26	*****	0.17	0.05	-0.22	*****	-0.87	0.66	0.20
1962-	8-	26	3	21	17	175.93	*****	40.39	-216.32	72.61	*****	19.19	-91.80	0.67	*****	0.39	-1.06	-1.59	*****	-0.43	2.02	0.70	*****	0.34	-1.04	-1.49	*****	-0.45	1.94
1962-	9-	23	1	41	13	37.24	-37.24	*****	*****	12.31	-12.31	*****	*****	-0.21	0.21	*****	*****	-0.08	0.08	*****	*****	-0.07	0.07	*****	*****	-0.01	0.01	*****	*****
1962-	10-	10	2	45	15	106.16	-200.07	249.46	-155.55	49.23	-86.87	114.01	-76.36	0.23	-0.27	0.21	-0.17	-0.17	0.05	-0.19	0.30	0.27	-0.32	0.04	0.00	-0.25	0.22	-0.21	0.24
1962-	10-	12	2	18	13	112.99	210.42	138.42	-461.83	50.43	95.91	55.83	-202.17	0.07	-0.07	0.49	-0.50	-0.31	0.04	0.10	0.17	0.19	-0.03	0.26	-0.43	-0.17	-0.05	0.12	0.10
1962-	10-	19	1	16	15	-63.10	2.57	-11.24	71.77	-29.19	2.60	-13.00	39.59	-0.20	-0.11	0.26	0.05	-0.16	0.12	0.21	-0.17	-0.05	-0.00	0.14	-0.09	-0.15	-0.01	0.19	-0.03
1962-	10-	25	0	32	11	-126.01	-157.29	283.31	*****	-56.78	-63.79	120.57	*****	-0.22	-0.28	0.49	*****	-0.30	0.18	0.12	*****	-0.09	-0.33	0.42	*****	-0.21	0.18	0.03	*****
1962-	10-	26	1	49	10	-42.69	9.15	33.54	*****	-17.49	8.50	9.00	*****	-0.03	0.20	-0.17	*****	-0.10	0.33	-0.24	*****	0.05	0.25	-0.30	*****	-0.07	0.26	-0.19	*****
1962-	10-	27	1	48	9	38.47	*****	*****	-38.47	22.01	*****	*****	-22.01	0.37	*****	*****	-0.37	-0.21	*****	*****	0.21	0.25	*****	*****	-0.25	-0.16	*****	*****	0.16
1962-	11-	10	0	57	11	-203.23	29.34	-55.29	229.18	-82.61	13.68	-25.11	94.04	-0.50	0.03	0.25	0.21	0.59	0.02	0.37	-0.98	-0.48	0.13	0.07	0.28	0.72	-0.08	0.30	-0.94
1962-	11-	11	1	23	12	139.98	-136.09	-177.66	173.77	64.30	-57.10	-75.50	68.30	0.16	-0.20	-0.32	0.36	-0.01	0.15	0.46	-0.60	0.25	-0.26	-0.47	0.48	-0.03	0.27	0.36	-0.61
1963-	6-	15	8	55	16	-30.73	*****	-330.49	361.23	-15.09	*****	-146.17	161.26	0.14	*****	-0.50	0.35	-0.16	*****	-0.31	0.46	0.23	*****	-0.64	0.40	-0.03	*****	-0.41	0.44
1963-	6-	17	9	0	17	-113.40	-43.15	*****	156.55	-52.23	-3.24	*****	55.47	0.92	-1.05	*****	0.13	-0.68	1.06	*****	-0.38	0.98	-1.21	*****	0.23	-0.51	0.91	*****	-0.40
1963-	6-	21	8	37	12	17.53	248.39	-3.69	-262.23	14.62	120.21	-8.48	-126.35	-0.31	0.77	0.21	-0.68	-0.27	-1.06	0.37	0.96	-0.32	0.77	0.08	-0.53	-0.26	-1.10	0.38	0.98
1963-	6-	22	8	40	15	213.49	206.17	-114.34	-305.33	97.23	87.84	-48.15	-136.92	1.22	-0.67	0.05	-0.60	0.07	-1.07	0.27	0.72	1.30	-0.67	-0.07	-0.56	0.20	-1.01	0.19	0.62
1963-	6-	29	8	47	14	-88.05	-83.72	*****	171.78	-43.34	-47.94	*****	91.29	-0.30	-0.43	*****	0.74	0.46	0.29	*****	-0.75	-0.24	-0.41	*****	0.65	0.50	0.26	*****	-0.75

SERIES D'OBSERVATIONS EFFECTUEES PAR GOREL à l'observatoire Nicolaïev (URSS) en 1962, 1963, 1964, 1965, 1973 et 1974 (f=2,5m)

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0
et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)				Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1962-	8-23	22	47 45	-41.98	145.54	-103.56	*****	-16.86	66.11	-49.26	*****	-0.20	-0.23	0.43	*****	-0.38	0.20	0.18	*****	-0.03	-0.09	0.12	*****	-0.16	0.11	0.04	*****
1962-	8-26	22	15 4	41.01	119.61	-160.62	*****	15.00	51.58	-66.57	*****	-0.07	0.21	-0.14	*****	0.15	0.13	-0.28	*****	0.02	0.32	-0.33	*****	0.19	0.07	-0.26	*****
1962-10-	8 19	9 51	*****	98.52	-147.73	49.20	*****	43.10	-53.87	10.77	*****	*****	-0.04	-0.03	0.07	*****	0.01	-0.10	0.09	*****	0.08	-0.27	0.19	*****	-0.07	-0.10	0.17
1962-10-18	18	46	29	-77.20	-27.98	65.59	39.59	-33.89	-10.45	19.44	24.90	0.23	-0.09	0.18	-0.32	0.40	-0.53	0.22	-0.09	0.24	0.00	0.15	-0.40	0.29	-0.60	0.24	0.06
1963-	9-16	23	24 57	239.24	-59.40	-179.85	*****	98.37	-22.83	-75.55	*****	-0.41	0.19	0.22	*****	-0.32	0.17	0.15	*****	-0.24	0.15	0.09	*****	-0.17	0.14	0.03	*****
1963-	9-27	22	3 49	*****	-97.21	291.89	-194.67	*****	-19.61	129.78	-110.16	*****	-0.07	0.48	-0.42	*****	0.05	-0.01	-0.04	*****	-0.16	0.31	-0.15	*****	0.05	0.00	-0.05
1963-10-	4 21	26	36	*****	-176.21	273.75	-97.53	*****	-80.53	101.87	-21.33	*****	0.09	0.06	-0.15	*****	-0.01	0.03	-0.02	*****	0.15	0.06	-0.21	*****	-0.06	-0.04	0.10
1963-10-	5 21	56	41	-55.65	88.11	-32.46	*****	-16.13	47.88	-31.75	*****	0.38	-0.38	0.00	*****	-0.42	-0.53	0.95	*****	0.35	-0.23	-0.12	*****	-0.43	-0.54	0.97	
1963-10-	5 22	14	34	-68.09	73.07	-53.73	48.75	-29.80	32.30	-51.14	48.64	0.05	-0.08	0.11	-0.09	0.31	-0.07	0.08	-0.32	0.03	0.09	-0.00	-0.12	0.23	-0.16	0.02	-0.09
1963-10-	6 21	35	45	-12.50	154.14	-141.64	*****	-0.17	67.33	-67.17	*****	-0.38	0.01	0.37	*****	-0.10	-0.20	0.30	*****	-0.20	0.04	0.16	*****	-0.01	-0.12	0.13	
1963-10-	6 21	50	43	-12.67	153.55	-140.89	*****	-0.37	67.18	-66.82	*****	-0.05	-0.21	0.26	*****	-0.19	-0.03	0.22	*****	0.13	-0.19	0.05	*****	-0.10	0.06	0.04	
1963-10-	7 21	40	52	98.21	-228.79	-360.76	491.35	43.09	-110.49	-168.47	235.86	-0.04	0.11	0.27	-0.33	0.12	0.04	0.05	-0.21	-0.04	0.12	0.22	-0.30	0.05	0.16	-0.07	-0.14
1963-10-	7 21	55	52	263.82	-66.39	-197.43	*****	122.40	-32.39	-90.02	*****	0.00	-0.24	0.23	*****	0.32	-0.25	-0.07	*****	0.03	-0.21	0.19	*****	0.28	-0.11	-0.17	
1963-10-16	21	2 16	-40.99	40.99	*****	*****	*****	-17.80	17.80	*****	*****	-0.11	0.11	*****	*****	0.07	-0.07	*****	*****	-0.14	0.14	*****	*****	-0.18	-0.18	*****	
1963-10-16	21	19 34	-40.67	40.67	*****	*****	*****	-18.05	18.06	*****	*****	0.20	-0.20	*****	*****	-0.16	0.16	*****	*****	0.17	-0.17	*****	*****	-0.05	0.05	*****	
1963-10-25	20	47 0	31.56	-283.38	251.82	*****	*****	11.34	-124.93	113.60	*****	-0.20	0.26	-0.07	*****	0.05	0.02	-0.07	*****	-0.06	0.20	-0.14	*****	0.16	0.02	-0.18	
1964-10-	7 1	56 23	*****	190.85	-190.85	*****	*****	46.12	-46.12	*****	*****	-0.12	0.12	*****	*****	-0.19	0.19	*****	*****	-0.08	0.08	*****	*****	-0.07	0.07	*****	
1964-10-	7 2	6 51	*****	190.20	-190.20	*****	*****	46.05	-46.06	*****	*****	0.03	-0.03	*****	*****	0.02	-0.02	*****	*****	0.07	-0.07	*****	*****	0.15	-0.15	*****	
1964-10-14	0	48 45	100.11	152.73	-252.84	*****	28.85	37.64	-66.49	*****	-0.77	-0.09	0.86	*****	-0.48	0.09	0.40	*****	-0.62	-0.12	0.75	*****	-0.48	0.20	0.27		
1964-10-26	23	6 47	-142.28	64.06	78.22	*****	-36.68	32.84	3.84	*****	-0.21	-0.03	0.24	*****	-0.21	0.11	0.10	*****	-0.06	-0.07	0.12	*****	-0.18	0.04	0.15		
1964-10-28	22	54 58	88.05	62.97	-151.03	*****	30.99	9.25	-40.25	*****	0.21	-0.31	0.10	*****	0.38	-0.04	-0.34	*****	0.17	-0.21	0.05	*****	0.24	0.15	-0.38		
1965-	1-24	17 0 1	*****	115.54	*****	-115.54	*****	46.68	*****	-46.68	*****	0.19	*****	-0.19	*****	-0.20	*****	0.20	*****	0.07	*****	-0.07	*****	-0.09	*****	0.09	
1965-	1-24	17 15 51	*****	115.42	*****	-115.42	*****	46.65	*****	-46.65	*****	-0.04	*****	0.04	*****	-0.17	*****	0.17	*****	-0.16	*****	0.16	*****	-0.06	*****	0.06	
1965-	9-24	22	20 46	28.38	-49.88	-43.44	64.94	-6.37	-8.17	1.76	12.78	0.08	-0.11	0.06	-0.03	-0.12	0.19	-0.06	-0.01	0.06	-0.05	0.04	-0.05	-0.11	0.07	-0.04	0.08
1965-	9-25	1 9 17	41.10	-74.33	-36.30	69.53	-5.60	-7.60	1.52	11.69	0.00	-0.18	0.01	0.17	0.21	-0.08	0.06	-0.19	-0.05	-0.13	0.01	0.17	0.25	-0.23	0.09	-0.11	
1965-	9-25	2 9 6	47.44	-82.39	-34.76	69.71	-5.95	-6.97	1.65	11.27	-0.09	-0.07	-0.01	0.16	-0.16	0.22	0.29	-0.35	-0.15	-0.02	-0.00	0.17	-0.11	0.06	0.31	-0.26	
1965-10-	2 20	57 33	40.52	-136.94	*****	96.42	2.18	15.46	*****	-17.64	*****	-0.00	0.14	*****	-0.14	-0.45	0.30	*****	0.15	0.02	-0.09	*****	0.06	-0.35	0.22		
1965-10-	4 2	30 5	*****	-46.20	46.20	*****	*****	-3.37	3.37	*****	*****	0.19	-0.19	*****	*****	0.10	-0.10	*****	*****	0.17	-0.17	*****	*****	0.20	-0.20		
1965-10-18	2	31 0	-194.14	70.80	113.34	*****	4.91	-6.64	1.83	*****	0.22	-0.10	-0.12	*****	0.06	-0.08	0.02	*****	0.09	-0.07	-0.02	*****	0.06	0.00	-0.06		
1965-10-19	2	53 25	*****	*****	25.02	-25.02	*****	8.77	-8.78	*****	*****	0.20	-0.20	*****	*****	*****	-0.12	0.12	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	-0.06	0.06	
1965-12-15	21	47 3	171.74	-164.64	307.33	-314.42	0.72	-2.96	-9.04	11.27	0.27	-0.07	-0.05	-0.15	-0.07	0.23	0.03	-0.19	0.27	-0.07	-0.03	-0.18	-0.01	0.01	0.01	-0.01	
1973-	8-	1 21	10 48	-85.23	*****	85.23	*****	-23.42	*****	23.42	*****	-0.11	*****	0.11	*****	0.19	*****	-0.19	*****	0.00	*****	-0.00	*****	0.24	*****	-0.24	
1973-	8-	1 21	38 44	-89.04	*****	89.04	*****	-24.90	*****	24.90	*****	0.16	*****	-0.16	*****	-0.11	*****	0.11	*****	0.27	*****	-0.27	*****	-0.06	*****	0.06	
1973-	8-	6 21	4 37	-19.62	19.62	*****	*****	-4.68	4.68	*****	*****	0.15	-0.15	*****	0.13	-0.13	*****	*****	0.08	-0.08	*****	*****	0.24	-0.24	*****		
1973-	8-	6 21	32 34	-19.78	19.78	*****	*****	-5.12	5.12	*****	*****	0.12	-0.12	*****	*****	-0.31	0.31	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	-0.19	0.19		
1973-	8-20	20	43 42	-16.41	16.41	*****	*****	-4.07	4.07	*****	*****	0.22	-0.22	*****	*****	0.00	-0.00	*****	*****	0.12	-0.12	*****	*****	0.09	-0.09		
1973-	8-26	20	28 8	301.27	49.97	-18.48	-332.76	81.68	13.56	-4.35	-90.89	-0.07	0.08	0.22	-0.22	-0.50	-0.15	0.14	0.51	0.17	0.02	0.04	-0.23	-0.37	-0.04	0.07	
1973-	9-	6 19	30 7	-208.34	-274.71	207.93	275.11	-55.79	-73.85	53.11	76.54	-0.32	0.12	0.09	0.11	-0.01	-0.06	-0.04	0.10	-0.20	0.01	-0.01	0.19	-0.01	-0.11	-0.06	

date (UT)					Coordonnées observées						Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5										
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1973-9-14	19	0	41	114.85	*****	312.29	-427.14	30.13	*****	84.09	-114.21	0.41	*****	-0.25	-0.16	-0.73	*****	0.13	0.60	0.40	*****	-0.10	-0.30	-0.67	*****	0.19	0.49		
1973-9-17	18	41	53	-16.51	4.06	-233.07	245.52	-3.94	1.74	-58.94	61.15	0.01	0.05	-0.07	0.01	-0.08	0.16	-0.09	0.01	0.04	0.13	0.02	-0.19	-0.09	0.08	-0.04	0.06		
1973-9-22	18	22	43	-279.47	3.33	-16.07	292.20	-74.21	-0.64	-3.37	78.22	-0.18	-0.03	-0.01	0.22	-0.17	0.13	-0.06	0.11	-0.11	-0.06	-0.07	0.24	-0.19	0.12	-0.15	0.22		
1973-9-22	18	36	40	-279.58	3.44	-16.83	292.97	-74.16	-0.78	-3.45	78.39	-0.11	0.02	-0.23	0.32	-0.03	-0.06	-0.01	0.10	-0.05	-0.00	-0.28	0.33	-0.05	-0.06	-0.10	0.20		
1973-9-27	18	26	46	*****	-57.08	356.81	-299.73	*****	-14.52	90.32	-75.80	*****	0.22	-0.06	-0.16	*****	-0.20	0.04	0.16	*****	0.17	-0.11	-0.06	*****	-0.10	0.07	0.03		
1973-9-28	18	1	36	*****	*****	423.23	-423.23	*****	*****	109.71	-109.71	*****	*****	0.24	-0.24	*****	*****	0.02	-0.02	*****	*****	0.23	-0.23	*****	*****	0.10	-0.10		
1973-10-2	18	6	20	164.16	208.30	-230.87	-141.59	45.39	54.11	-59.36	-40.15	-0.27	-0.08	0.00	0.34	-0.02	0.00	0.06	-0.05	-0.10	-0.04	0.09	0.06	0.12	-0.17	0.16	-0.11		
1973-10-9	18	6	46	29.16	39.66	-381.04	312.21	7.63	8.13	-100.76	84.99	0.10	0.12	-0.08	-0.14	-0.11	0.14	-0.00	-0.02	0.12	0.05	-0.10	-0.07	-0.05	-0.09	0.03	0.11		
1973-10-13	17	52	2	*****	149.88	203.43	-353.31	*****	36.84	53.72	-90.57	*****	0.04	0.06	-0.09	*****	-0.12	0.05	0.07	*****	-0.00	0.01	-0.01	*****	-0.15	0.09	0.06		
1973-10-16	17	18	29	265.41	241.14	-142.67	-363.87	70.89	62.59	-37.14	-96.34	0.15	0.04	-0.10	-0.09	-0.07	-0.02	-0.19	0.28	0.15	0.03	-0.07	-0.10	0.04	-0.17	-0.08	0.21		
1973-10-19	16	34	34	-64.92	-81.50	279.30	-132.88	-16.52	-20.47	74.73	-37.75	0.01	-0.11	0.06	0.04	-0.09	0.00	-0.11	0.20	0.01	-0.05	0.17	-0.13	-0.09	-0.05	-0.02	0.17		
1973-11-16	16	19	44	16.02	-48.86	253.37	-220.52	4.18	-13.49	70.29	-60.97	-0.02	0.11	0.06	-0.15	-0.10	0.10	-0.03	0.03	0.04	0.02	0.00	-0.06	-0.09	0.13	0.01	-0.05		
1974-7-20	0	40	53	-71.00	-386.28	118.18	339.10	-34.58	-179.91	53.02	161.48	0.07	-0.06	-0.14	0.13	-0.16	0.17	0.09	-0.10	0.13	-0.00	-0.18	0.05	-0.12	0.08	0.03	0.01		
1974-7-25	0	39	11	32.52	142.74	-111.94	-63.31	19.60	69.12	-41.17	-47.56	0.26	-0.08	-0.05	-0.14	-0.18	-0.05	-0.03	0.26	0.10	-0.04	-0.24	0.17	-0.19	-0.02	-0.03	0.24		
1974-8-8	22	10	28	*****	-36.69	-97.44	134.12	*****	-18.30	-31.19	49.49	*****	-0.04	0.22	-0.18	*****	-0.26	0.15	0.11	*****	-0.09	-0.01	0.10	*****	-0.08	0.01	0.07		
1974-8-8	23	4	19	*****	-44.13	-85.24	129.37	*****	-21.80	-25.51	47.32	*****	0.01	0.18	-0.18	*****	-0.22	0.09	0.13	*****	-0.04	-0.05	0.09	*****	-0.04	-0.05	0.09		
1974-8-9	0	24	6	-179.02	3.82	-7.06	182.26	-83.39	0.56	10.76	72.07	-0.10	0.07	0.30	-0.28	-0.03	-0.13	-0.01	0.18	0.12	-0.05	0.00	-0.07	-0.01	0.05	-0.17	0.13		
1974-8-17	23	19	50	-80.36	-80.00	323.95	-163.60	-44.94	-35.19	141.26	-61.12	-0.29	-0.09	-0.07	0.45	-0.33	0.18	0.14	0.01	-0.06	0.04	-0.08	0.11	-0.21	0.07	0.11	0.03		
1974-8-18	1	7	2	-103.03	-57.99	312.02	-150.99	-54.48	-25.15	134.74	-55.10	-0.28	-0.09	0.06	0.31	-0.16	0.01	0.03	0.12	-0.09	0.06	0.06	-0.02	-0.05	-0.10	0.00	0.15		
1974-8-20	21	18	43	125.59	-210.15	-331.33	415.89	54.27	-99.28	-157.78	202.79	-0.17	-0.09	0.16	0.10	-0.08	0.20	0.09	-0.22	-0.00	0.02	0.06	-0.08	-0.06	0.12	0.07	-0.13		
1974-8-21	22	32	32	-158.62	-12.21	-310.00	481.02	-76.35	-5.75	-141.41	223.51	-0.00	-0.29	0.22	0.08	-0.09	0.22	-0.07	-0.06	-0.08	-0.10	0.15	0.03	-0.12	0.09	-0.05	0.08		
1974-8-25	20	56	5	-91.51	1.65	-6.99	96.84	-33.02	8.80	-7.67	31.90	0.20	-0.12	0.21	-0.29	-0.11	-0.07	0.25	-0.06	0.01	-0.06	0.08	-0.03	-0.11	-0.06	0.18	-0.00		
1974-8-25	23	3	45	-63.57	17.81	-32.11	77.87	-20.42	16.20	-19.19	23.43	0.17	-0.09	-0.00	-0.08	-0.07	0.13	-0.05	-0.02	0.03	-0.06	-0.15	0.18	-0.06	0.17	-0.14	0.03		
1974-9-8	19	53	10	*****	-204.21	-74.22	278.43	*****	-86.91	-40.02	126.93	*****	-0.06	0.17	-0.12	*****	-0.01	0.06	-0.04	*****	0.02	0.10	-0.12	*****	-0.09	-0.01	0.10		
1974-9-12	22	16	27	76.62	167.82	-147.80	-96.64	36.15	78.57	-54.20	-60.53	-0.26	0.02	0.18	0.06	-0.29	-0.10	0.13	0.25	-0.18	-0.04	-0.08	0.30	-0.26	-0.03	0.10	0.19		
1974-9-14	19	38	28	142.34	-153.35	382.49	-371.47	65.28	-66.01	179.64	-178.91	-0.10	0.45	-0.01	-0.34	0.27	-1.17	0.44	0.45	0.03	0.38	-0.20	-0.21	0.40	-1.20	0.41	0.39		
1974-9-17	20	33	31	297.91	70.15	-40.55	-327.52	138.58	28.43	-24.84	-142.18	0.05	0.04	0.08	-0.18	-0.19	-0.07	0.19	0.08	0.01	0.15	0.00	-0.17	-0.20	0.06	0.16	-0.02		
1974-9-20	20	52	6	-127.41	*****	127.41	*****	-61.77	*****	61.77	*****	-0.27	*****	0.27	*****	-0.00	*****	0.00	*****	-0.19	*****	0.19	*****	0.03	*****	-0.03	*****		
1974-9-25	19	23	39	110.12	36.59	-146.71	*****	45.41	20.56	-65.97	*****	-0.10	0.05	0.05	*****	-0.15	0.06	0.08	*****	0.09	0.08	-0.17	*****	-0.04	-0.07	0.11	*****		
1974-9-25	21	12	21	-101.86	-128.94	-331.29	562.09	-48.54	-52.72	-148.18	249.44	-0.25	0.14	0.17	-0.06	-0.10	0.23	-0.36	0.22	-0.11	0.19	-0.03	-0.05	-0.04	0.07	-0.35	0.32		
1974-10-4	18	49	49	50.07	289.41	*****	-339.49	19.86	124.79	*****	-144.66	-0.09	0.08	*****	0.00	-0.04	-0.17	*****	0.21	0.11	0.02	*****	-0.13	-0.03	0.01	*****	0.02		
1974-10-4	20	10	11	47.26	279.34	*****	-326.60	19.19	119.64	*****	-138.82	-0.26	0.23	*****	0.03	0.03	-0.26	*****	0.23	-0.10	0.19	*****	-0.08	0.03	-0.07	*****	0.04		
1974-10-6	20	23	11	-122.50	*****	295.89	-173.38	-58.15	*****	124.62	-66.47	0.03	*****	-0.25	0.22	-0.08	*****	0.04	0.03	0.07	*****	-0.11	0.03	-0.05	*****	0.02	0.04		
1974-10-9	19	34	58	*****	-158.76	-293.23	451.99	*****	-72.17	-137.29	209.45	*****	-0.07	0.05	0.02	*****	0.12	-0.09	-0.03	*****	0.10	0.01	-0.11	*****	0.02	-0.11	0.09		
1974-10-12	19	58	35	-54.21	-354.55	68.17	340.58	-23.14	-159.60	36.57	146.16	-0.11	0.16	0.10	-0.15	-0.28	0.11	0.17	0.00	-0.09	0.16	-0.03	-0.03	-0.30	0.14	0.08	0.08		
1974-10-16	18	55	30	*****	30.56	-73.81	43.25	*****	21.05	-30.28	9.24	*****	-0.01	0.22	-0.21	*****	-0.09	0.12	-0.03	*****	-0.02	0.00	0.02	*****	-0.11	0.15	-0.03		
1974-11-27	16	29	30	58.65	-110.34	-110.34	161.84	27.42	-55.47	-55.47	83.51	-0.01	1.06	-1.05	0.00	0.08	-1.72	1.35	0.29	0.04	1.16	-1.09	-0.11	0.04	-1.61	1.23	0.34		
1974-12-1	16	6	49	-65.46	-298.47	34.55	329.37	-31.41	-133.82	20.97	144.27	-0.38	0.13	0.27	-0.01	-0.30	0.13	-0.03	0.19	-0.19	0.08	0.09	0.02	-0.25	0.11	-0.11	0.25		

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)						Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1967-	1-27	21	33	16	*****	*****	-138.33	138.33	*****	*****	32.13	-32.13	*****	*****	0.04	-0.04	*****	*****	0.12	-0.12	*****	*****	0.04	-0.04	*****	*****	0.20	-0.20	
1967-	1-27	21	49	13	*****	*****	-138.82	138.82	*****	*****	32.18	-32.18	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	0.14	-0.14	
1967-	1-29	19	28	44	-206.06	88.86	-229.43	346.62	51.20	-17.88	51.61	-84.93	-0.05	0.21	-0.14	-0.02	0.09	-0.12	0.32	-0.29	-0.18	0.10	-0.04	0.12	0.11	0.06	0.31	-0.49	
1967-	1-29	20	6	37	-202.06	94.95	-235.66	342.77	50.55	-19.72	53.16	-83.98	0.05	0.07	0.07	-0.19	0.19	-0.42	0.36	-0.13	-0.10	-0.03	0.18	-0.04	0.22	-0.24	0.35	-0.32	
1967-	1-29	20	33	33	-198.67	99.05	-240.38	340.00	49.92	-20.55	54.13	-83.51	0.12	0.08	-0.00	-0.19	0.23	-0.24	0.25	-0.24	-0.04	-0.01	0.10	-0.04	0.26	-0.05	0.23	-0.44	
1967-	1-31	20	3	14	*****	28.12	-28.12	*****	*****	7.71	7.71	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	0.05	-0.05	*****	*****	0.03	-0.03	*****	*****	-0.09	0.09	*****	
1967-	1-31	20	48	9	*****	23.85	-23.85	*****	*****	-6.76	6.76	*****	*****	-0.15	0.15	*****	*****	0.07	-0.07	*****	*****	-0.18	0.18	*****	*****	-0.06	0.06	*****	
1967-	1-31	21	33	0	*****	20.42	-20.42	*****	*****	-5.81	5.81	*****	*****	0.26	-0.26	*****	*****	0.15	-0.15	*****	*****	0.22	-0.22	*****	*****	0.02	-0.02	*****	
1967-	2-2	21	45	1	43.61	163.63	231.90	-439.14	-7.83	-38.10	-49.37	95.30	-0.10	0.16	-0.21	0.15	-0.04	-0.51	-0.15	0.70	-0.32	0.15	-0.13	0.30	-0.09	-0.37	-0.27	0.73	
1967-	2-2	22	29	55	53.29	157.51	235.57	-446.38	-10.06	-36.63	-50.39	97.08	0.38	-0.16	-0.03	-0.19	-0.05	-0.37	-0.35	0.77	0.16	-0.17	0.05	-0.04	-0.10	-0.24	-0.47	0.80	
1967-	2-5	21	3	20	*****	355.65	*****	-355.65	*****	-82.57	82.57	*****	*****	-0.23	*****	0.23	*****	-0.90	*****	0.90	*****	-0.24	*****	0.24	*****	-0.90	*****	0.90	
1967-	2-5	21	48	12	38.27	328.07	21.22	-387.56	-7.55	-74.42	-9.64	91.61	0.54	-0.40	-0.83	0.69	-0.00	-0.63	-0.15	0.78	0.45	-0.44	-0.67	0.66	-0.07	-0.54	-0.25	0.86	
1967-	2-5	22	33	5	41.66	333.69	11.89	-387.24	-8.07	-75.75	-7.27	91.09	0.10	0.06	-0.37	0.21	0.20	-0.64	0.03	0.48	-0.00	0.03	-0.21	0.19	0.14	-0.55	-0.07	0.49	
1967-	2-6	21	0	24	*****	*****	62.31	-62.31	*****	*****	-18.19	18.19	*****	*****	-0.08	0.08	*****	*****	-0.27	0.27	*****	*****	-0.01	0.01	*****	*****	-0.34	0.34	
1967-	2-6	22	15	43	*****	*****	55.54	-55.54	*****	*****	-16.49	16.49	*****	*****	-1.09	1.09	*****	*****	0.10	-0.10	*****	*****	-1.01	1.01	*****	*****	0.04	-0.04	
1967-	3-13	22	23	11	108.69	187.81	-196.85	-99.65	-22.78	-41.36	35.54	28.61	0.08	-0.10	-0.11	0.13	0.04	-0.58	0.04	0.50	-0.01	-0.04	0.04	0.01	-0.02	-0.46	-0.02	0.50	
1967-	3-13	23	4	4	113.50	184.25	-203.05	-94.70	-24.01	-40.59	37.31	27.28	0.03	0.01	0.04	-0.07	-0.03	-0.54	0.40	0.17	-0.05	0.06	0.18	-0.19	-0.09	-0.41	0.35	0.16	
1967-	3-30	20	56	53	-46.84	*****	28.78	18.06	5.64	*****	-5.87	0.23	0.28	*****	-0.10	-0.19	0.00	*****	0.14	-0.14	0.30	*****	-0.03	-0.28	0.01	*****	0.11	-0.12	
1967-	3-30	21	26	48	-49.95	*****	30.83	19.13	6.34	*****	-6.27	-0.07	0.23	*****	-0.24	0.01	-0.01	*****	0.23	-0.22	0.24	*****	-0.16	-0.07	-0.01	*****	0.20	-0.19	
1967-	3-31	20	15	6	-37.23	7.35	43.98	-14.10	4.44	-5.35	-7.84	8.75	0.10	0.01	0.23	-0.34	-0.02	-0.26	0.13	0.15	0.12	0.05	0.31	-0.49	-0.06	-0.12	0.06	0.11	
1967-	3-31	20	41	1	-40.08	3.93	46.84	-10.69	5.11	-4.57	-8.36	7.82	-0.22	0.14	-0.01	0.10	0.19	-0.23	0.24	-0.19	-0.19	0.18	0.07	-0.05	0.16	-0.09	0.17	-0.23	
1967-	3-31	20	56	58	-41.58	1.74	48.82	-8.99	5.01	-6.17	-8.96	8.12	-0.02	0.12	0.01	-0.11	-0.22	-0.29	0.04	0.48	0.02	0.16	0.08	-0.26	-0.16	-0.03	0.44		
1967-	4-2	20	49	6	*****	-267.43	3.37	264.05	*****	56.33	-4.94	-51.39	*****	-0.01	-0.15	0.16	*****	0.50	-0.10	-0.40	*****	-0.10	-0.07	0.17	*****	0.48	-0.04	-0.45	
1967-	4-2	21	16	31	*****	-263.29	-1.41	264.70	*****	55.26	-3.91	-51.36	*****	-0.07	0.06	0.01	*****	0.26	-0.08	-0.18	*****	-0.16	0.14	0.02	*****	0.24	-0.02	-0.23	
1967-	4-2	21	41	58	*****	-259.25	-6.29	265.54	*****	54.73	-2.94	-51.79	*****	-0.01	-0.14	0.14	*****	0.51	-0.07	-0.44	*****	-0.09	-0.06	0.15	*****	0.50	-0.01	-0.49	
1967-	4-4	20	11	50	*****	*****	-377.78	377.78	*****	78.46	-78.46	*****	*****	0.42	-0.42	*****	*****	0.43	-0.43	*****	*****	0.42	-0.42	*****	*****	0.52	-0.52		
1967-	4-4	20	33	17	*****	*****	-378.61	378.61	*****	78.76	-78.76	*****	*****	0.18	-0.18	*****	*****	0.56	-0.56	*****	*****	0.18	-0.18	*****	*****	0.65	-0.65		
1967-	4-4	20	53	45	*****	*****	-379.10	379.10	*****	79.06	-79.06	*****	*****	0.23	-0.23	*****	*****	0.70	-0.70	*****	*****	0.23	-0.23	*****	*****	0.79	-0.79		
1967-	4-13	19	56	54	134.82	*****	93.28	-228.10	-31.67	*****	-18.26	49.92	-0.18	*****	-0.03	0.21	-0.17	*****	-0.09	0.26	-0.08	*****	-0.06	0.15	-0.22	*****	-0.14	0.36	
1967-	4-13	20	12	51	131.85	*****	95.61	-227.45	-31.00	*****	-18.69	49.69	-0.14	*****	-0.00	0.14	-0.16	*****	-0.03	0.19	-0.05	*****	-0.03	0.08	-0.21	*****	-0.08	0.29	
1967-	4-13	20	28	48	128.97	*****	97.74	-226.71	-30.33	*****	-19.33	49.66	-0.09	*****	-0.12	0.20	-0.14	*****	-0.17	0.30	-0.00	*****	-0.14	0.14	-0.18	*****	-0.22	0.40	
1967-	4-26	20	18	34	*****	84.78	-46.71	-38.06	*****	-16.60	12.65	3.95	*****	0.17	-0.66	0.49	*****	0.09	0.67	-0.75	*****	0.11	-0.70	0.60	*****	-0.05	0.72	-0.67	
1967-	4-26	20	44	32	*****	83.85	-45.13	-38.71	*****	-16.27	12.09	4.18	*****	0.27	-0.86	0.58	*****	0.20	0.47	-0.67	*****	0.21	-0.90	0.70	*****	0.05	0.53	-0.58	
1967-	5-8	20	37	41	-252.64	*****	-23.67	276.31	60.58	*****	4.19	-64.77	-0.11	*****	0.39	-0.28	0.30	*****	-0.07	-0.23	-0.17	*****	0.39	-0.22	0.36	*****	-0.02	-0.34	
1967-	5-8	20	55	11	-251.38	*****	-25.20	276.59	60.48	*****	4.58	-65.07	-0.35	*****	0.43	-0.08	0.49	*****	-0.02	-0.47	-0.42	*****	0.44	-0.02	0.55	*****	0.03	-0.58	
1968-	1-10	23	48	53	160.09	*****	-160.09	*****	-67.05	*****	67.05	*****	0.47	*****	-0.47	*****	0.01	*****	-0.01	*****	0.49	*****	-0.49	*****	0.04	*****	-0.04	*****	
1968-	1-11	0	18	47	155.30	*****	-155.30	*****	-65.15	*****	65.15	*****	0.12	*****	-0.12	*****	-0.15	*****	0.15	*****	0.14	*****	-0.14	*****	-0.12	*****	0.12	*****	
1968-	1-11	0	48	43	150.73	*****	-150.73	*****	-63.01	*****	63.01	*****	0.26	*****	-0.26	*****	-0.17	*****	0.17	*****	0.29	*****	-0.29	*****	-0.14	*****	0.14	*****	
1968-	1-22	0	17	55	59.17	-14.01	302.72	-347.88	-27.88	5.43	-130.06	152.51	-1.44	0.39	0.37	0.67	-0.13	0.08	-0.27	0.33	-1.37	0.22	0.44	0.70	-0.16	-0.08	-0.27	0.51	
1968-	1-22	0	42	52	58.06	-14.82	302.94	-346.19	-26.33	5.58	-129.81	150.56	-0.31	-0.32	0.50	0.13	0.46	0.27	-0.09	-0.64	-0.24	-0.49	0.57	0.16	0.43	0.11	-0.08	-0.46	
1968-	1-22	1	7	47	55.63	-14.30	302.28	-343.61	-25.90	5.70	-129.99	150.19	-0.67	0.26	-0.12	0.54	0.02	0.45	-0.39	-0.07	-0.62	0.09	-0.04	0.58	-0.01	0.29	-0.38	0.11	
1968-	1-22	23	39	5	244.81	41.64	86.25	-372.70	-108.37	-22.88	-31.78	163.04	0.68	-0.15	-1.12	0.59	-0.58	0.08	0.34	0.17	0.54	-0.26	-0.91	0.62	-0.56	0.11	0.21	0.23	
1968-	1-23	0	4	2	247.75	45.32	81.10	-374.17	-109.62	-24.43	-29.64	163.69	0.32	-0.13	-0.72	0.53	-0.52	0.17	0.09	0.26	0.19	-0.24	-0.51	0.56	-0.51	0.21	-0.03	0.33	
1968-	1-23	0	28	56	250.70	49.15	75.65	-375.50	-110.77	-26.58	-26.58	163.94	0.27	-0.12	-0.69	0.53	-0.50	-0.28	0.79	-0.00	0.16	-0.23	-0.49	0.56	-0.49	-0.24	0.66	0.06	
1968-	2-28	21	26	4	*****	265.41	-211.85	-53.56	*****	-106.40	91.52	14.88	*****	0.13	-0.00	-0.13	*****	-0.43	0.28	0.16	*****	0.15	0.14	-0.29	*****	-0.36	0.22	0.14	
1968-	2-28	21	45	58	*****	263.60	-212.48	-51.13	*****	-105.37	91.45	13.91	*****	0.12	0.34	-0.45	*****	-0.25	-0.11	0.36	*****	0.14	0.48	-0.62	*****	-0.18	-0.17	0.34	
1968-	2-28	22	5	29	*****	261.75	-213.90	-47.86	*****	-104.57	92.25	12.31	*****	0.11	-0.20	0.09	*****	-0.31	0.40	-0.08	*****	0.13	-0.06	-0.07	*****	-0.24	0.34	-0.10	
1968-	2-29	21	43	4	77.72	32.37	-110.09	*****	-31.21	-10.41	41.62	*****																	

date (UT)						Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1968-	2-29	22	40	6		15.72	-26.99	-153.95	165.22	-2.48	16.82	62.54	-76.88	0.68	0.92	-0.82	-0.77	-0.28	-0.25	0.63	-0.10	0.84	0.82	-0.72	-0.95	-0.27	-0.36	0.68	-0.05
1968-	3-28	20	28	51		*****	*****	101.95	-101.95	*****	*****	-42.90	42.90	*****	*****	-0.16	0.16	*****	*****	-0.01	0.01	*****	*****	-0.19	0.19	*****	*****	-0.09	0.09
1968-	3-28	20	53	45		*****	*****	102.89	-102.89	*****	*****	-43.25	43.25	*****	*****	0.10	-0.10	*****	*****	-0.08	0.08	*****	*****	0.08	-0.08	*****	*****	-0.15	0.15
1968-	3-28	21	19	12		*****	*****	103.62	-103.62	*****	*****	-43.25	43.25	*****	*****	0.11	-0.11	*****	*****	0.22	-0.22	*****	*****	0.09	-0.09	*****	*****	0.15	-0.15
1968-	4-19	20	37	35		67.08	8.00	-75.08	*****	-26.85	-1.14	27.98	*****	-0.02	0.63	-0.61	*****	-0.08	-0.03	0.11	*****	-0.09	0.58	-0.49	*****	-0.01	-0.15	0.16	*****
1968-	4-19	21	2	30		69.60	3.97	-73.58	*****	-27.81	0.50	27.31	*****	0.03	0.25	-0.29	*****	-0.05	0.17	-0.12	*****	-0.05	0.21	-0.16	*****	0.03	0.05	-0.07	*****
1968-	4-19	21	27	25		71.98	0.39	-72.36	*****	-28.88	1.63	27.25	*****	-0.23	0.36	-0.13	*****	-0.05	-0.14	0.19	*****	-0.32	0.32	-0.00	*****	0.03	-0.27	0.24	*****
1969-	3- 7	22	15	19		-184.57	114.82	-368.01	437.76	87.47	-50.32	174.37	-211.51	0.55	0.09	-0.34	-0.29	-0.34	0.22	-0.10	0.21	0.48	0.10	-0.24	-0.34	-0.31	0.28	-0.11	0.15
1969-	3- 7	22	30	19		-184.60	114.33	-367.75	438.03	86.99	-49.89	174.69	-211.79	-0.07	0.13	0.15	-0.21	-0.34	0.20	0.24	-0.10	-0.14	0.15	0.26	-0.26	-0.30	0.25	0.22	-0.16
1969-	3- 7	22	45	15		-183.59	113.24	-367.94	438.29	86.67	-49.62	174.37	-211.42	0.24	-0.34	0.20	-0.10	-0.12	-0.02	-0.08	0.22	0.16	-0.32	0.30	-0.14	-0.08	0.02	-0.10	0.16
1969-	3- 8	22	10	24		5.17	-145.42	-281.91	422.16	-0.42	76.87	120.27	-196.71	-0.05	-0.09	-0.54	0.69	-0.16	0.23	0.23	0.31	0.01	-0.22	-0.45	0.66	-0.09	0.16	0.22	-0.29
1969-	3- 8	22	19	22		4.72	-147.07	-279.67	422.01	-0.05	77.34	119.44	-196.74	0.34	-0.34	-0.15	0.15	-0.28	0.11	0.36	-0.19	0.40	-0.47	-0.05	0.12	-0.21	0.04	0.35	-0.17
1969-	3- 8	22	28	20		3.67	-148.12	-277.71	422.17	0.68	77.67	118.37	-196.71	0.17	-0.01	-0.07	-0.10	-0.07	-0.15	0.24	-0.02	0.24	-0.14	0.03	-0.12	-0.00	-0.22	0.23	0.00
1969-	3- 8	22	52	17		1.69	-151.91	-273.11	423.33	1.78	79.37	115.77	-196.92	0.73	-0.17	-0.53	-0.03	-0.42	0.03	0.21	0.18	0.80	-0.31	-0.43	-0.06	-0.36	-0.04	0.20	0.20
1969-	3- 8	23	7	16		-0.12	-154.61	-269.50	424.23	3.00	80.19	114.00	-197.19	0.65	-0.67	-0.14	0.16	-0.16	-0.07	0.07	0.16	0.72	-0.81	-0.05	0.14	-0.11	-0.14	0.06	0.19
1969-	3- 8	23	22	12		-2.41	-155.99	-266.54	424.94	4.08	80.77	112.77	-197.62	0.17	0.10	-0.43	0.16	-0.09	-0.39	0.48	-0.00	0.25	-0.04	-0.34	0.13	-0.04	-0.46	0.47	0.03
1969-	5- 5	22	41	38		261.99	60.62	*****	-322.61	-119.97	-33.38	*****	153.35	0.02	-0.10	*****	-0.08	2.87	-1.60	*****	-1.28	-0.04	-0.03	*****	0.07	2.90	-1.56	*****	-1.34
1969-	5- 5	23	1	36		262.83	61.77	*****	-324.61	-123.64	-32.35	*****	155.98	0.20	-0.17	*****	-0.03	-0.69	0.11	*****	0.58	0.15	-0.11	*****	-0.04	-0.67	0.15	*****	0.52
1969-	5- 5	23	21	33		263.34	63.02	*****	-326.36	-123.47	-33.18	*****	156.65	0.21	-0.26	*****	0.05	-0.50	-0.00	*****	0.50	0.16	-0.19	*****	0.03	-0.49	0.05	*****	0.44
1969-	5-20	21	29	42		-15.17	158.31	223.03	-366.16	10.92	-79.88	-114.37	183.33	-0.73	0.82	-0.09	-0.01	0.20	-0.03	0.16	-0.34	-0.75	0.77	-0.00	-0.03	0.05	0.14	0.05	-0.24
1969-	5-20	21	49	39		-18.54	160.63	225.80	-367.88	12.24	-81.25	-115.15	184.16	0.08	0.03	0.29	-0.40	-0.31	-0.08	0.43	-0.04	0.06	-0.01	0.37	-0.42	-0.46	0.09	0.32	0.05
1969-	5-20	22	9	36		-23.60	164.26	228.23	-368.89	14.37	-82.43	-116.82	184.88	-0.95	0.65	0.37	-0.08	0.06	0.02	-0.23	0.14	-0.97	0.61	0.46	-0.10	-0.09	0.19	-0.34	0.24
1970-	4-28	21	35	21		14.23	-182.65	-146.26	314.68	8.18	87.70	46.80	-142.68	1.32	-0.43	-0.85	-0.03	0.02	-0.23	-0.11	0.32	1.39	-0.46	-0.60	-0.33	-0.04	-0.20	-0.14	0.39
1970-	4-28	22	0	17		10.45	-186.66	-141.93	318.13	10.35	88.98	44.73	-144.06	2.66	-0.69	-1.96	-0.01	-0.11	-0.17	0.10	0.18	2.74	-0.72	-1.71	-0.31	-0.18	-0.13	0.06	0.25
1970-	4-28	22	25	13		*****	-188.61	-134.37	322.97	*****	94.56	46.35	-140.91	*****	0.13	-0.71	0.57	*****	-0.02	-0.28	0.30	*****	0.13	-0.43	0.30	*****	-0.01	-0.34	0.35
1970-	5- 2	20	57	41		-132.82	-231.61	*****	364.43	49.07	84.07	*****	-133.14	0.08	-0.09	*****	0.01	-0.03	-0.18	*****	0.21	0.07	-0.19	*****	0.12	-0.13	-0.11	*****	0.23
1970-	5- 2	21	12	38		-134.06	-230.60	*****	364.66	49.48	83.61	*****	-133.10	0.02	-0.11	*****	0.09	0.03	-0.13	*****	0.10	0.01	-0.21	*****	0.20	-0.07	-0.06	*****	0.12
1970-	5- 2	21	27	36		-135.28	-229.64	*****	364.92	49.57	83.10	*****	-132.67	-0.08	-0.19	*****	0.27	-0.21	-0.14	*****	0.34	-0.10	-0.29	*****	0.39	-0.30	-0.06	*****	0.36
1970-	5- 3	22	5	33		89.89	*****	-290.80	200.91	-50.16	*****	113.45	-63.28	0.25	*****	-0.37	0.12	-0.28	*****	-0.06	0.34	0.11	*****	-0.39	0.28	-0.30	*****	-0.11	0.42
1970-	5- 3	22	20	31		90.74	*****	-290.98	200.24	-49.78	*****	113.29	-63.51	-0.28	*****	-0.08	0.36	0.43	*****	-0.19	-0.24	-0.42	*****	-0.10	0.52	0.40	*****	-0.24	-0.16
1970-	5- 3	22	35	28		92.61	*****	-291.57	198.97	-50.65	*****	113.60	-62.94	0.33	*****	-0.28	-0.05	-0.16	*****	0.17	-0.01	0.20	*****	-0.31	0.11	-0.19	*****	0.12	0.07
1970-	5-13	22	6	8		-67.97	-156.40	122.35	102.02	36.97	72.09	-50.51	-58.54	-0.85	-0.02	0.44	0.43	0.09	-0.19	0.40	-0.30	-0.96	0.01	0.78	0.17	0.22	-0.01	0.22	-0.43
1970-	5-13	22	1	5		-67.26	-156.75	122.47	101.54	36.36	72.26	-50.38	-58.25	-1.14	0.27	0.49	0.38	0.00	-0.18	0.44	-0.26	-1.25	0.30	0.82	0.12	0.13	0.00	0.26	-0.39
1970-	5-13	22	36	3		-65.79	-157.66	122.70	100.76	34.93	72.74	-49.88	-57.79	-0.73	-0.02	0.67	0.07	-0.89	0.14	0.83	-0.08	-0.84	0.01	1.01	-0.18	-0.76	0.32	0.65	-0.21
1970-	5-26	21	55	54		307.16	*****	-12.59	-294.57	-118.44	*****	0.73	117.71	0.36	*****	-0.42	0.06	0.10	*****	0.10	-0.20	0.33	*****	-0.23	-0.10	0.13	*****	0.03	-0.16
1970-	5-26	22	10	52		306.49	*****	-11.73	-294.76	-117.83	*****	0.11	117.73	0.45	*****	-0.54	0.08	0.14	*****	0.00	-0.14	0.42	*****	-0.35	-0.08	0.16	*****	-0.06	-0.10
1970-	5-26	22	25	49		305.60	*****	-10.89	-294.71	-117.09	*****	-0.41	117.50	0.43	*****	-0.74	0.30	0.27	*****	0.04	-0.31	0.41	*****	-0.55	0.14	0.29	*****	-0.03	-0.27
1970-	5-27	22	3	56		113.97	39.26	*****	-153.24	-40.29	-10.31	*****	50.60	-0.16	-0.03	*****	0.19	0.10	0.08	*****	-0.18	-0.14	0.08	*****	0.06	0.13	0.17	*****	-0.30
1970-	5-27	22	13	54		114.15	39.00	*****	-153.15	-40.99	-9.88	*****	50.86	-0.32	0.22	*****	0.10	-0.38	0.31	*****	0.07	-0.30	0.32	*****	-0.03	-0.34	0.40	*****	-0.06
1970-	5-27	22	33	51		114.92	38.10	*****	-153.02	-40.85	-10.08	*****	50.92	0.04	-0.15	*****	0.11	0.00	-0.09	*****	0.09	0.06	-0.05	*****	-0.01	0.05	-0.01	*****	-0.04
1970-	5-28	22	37	54		29.36	28.81	204.27	-262.43	3.73	-10.79	-82.81	89.87	0.48	0.40	-0.56	-0.32	0.09	-0.36	0.25	0.02	0.61	0.34	-0.37	-0.59	-0.07	-0.15	0.23	-0.01
1970-	5-28	22	52	52		24.94	31.24	205.11	-261.29	5.84	-12.38	-83.20	89.74	0.08	0.51	-0.32	-0.27	0.46	-1.00	0.07	0.47	0.22	0.45	-0.13	-0.54	0.30	-0.80	0.05	0.45
1970-	5-28	23	7	49		21.02	33.48	206.03	-260.53	7.58	-13.06	-83.44	88.93	0.24	0.42	-0.02	-0.64	0.44	-0.74	0.03	0.27	0.38	0.36	0.17	-0.91	0.28	-0.54	0.02	0.24
1970-	6- 1	22	47	6		-154.06	111.73	-349.50	391.83	70.29	-46.09	149.47	-173.68	-0.26	-0.06	0.07	0.25	0.02	-0.27	-0.11	0.36	-0.15	-0.11	0.14	0.12	0.00	-0.24	-0.12	0.37
1970-	6- 1	23	2	4		-156.60	113.11	-349.69	393.18	70.75	-46.28	149.46	-173.92	-0.58	0.07	0.05	0.46	-0.24	-0.16	-0.06	0.46	-0.48	0.02	0.13	0.33	-0.26	-0.13	-0.08	0.47
1970-	6- 1	23	17	1		-158.51	114.53	-350.32	394.29	71.52	-46.58	149.72	-174.65	-0.37	0.33	-0.40	0.45	-0.15	-0.18										

date (UT)					Coordonnées observées				Observations-Ephémérides SV2										Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1971-	7-20	21	38	34		140.63	3.39	*****	-144.02	-23.99	5.99	*****	18.00	0.10	-0.21	*****	0.11	0.34	-0.43	*****	0.09	0.32	-0.14	*****	-0.18	0.31	-0.31	*****	-0.00	
1971-	7-21	21	1	13		175.01	*****	-125.40	-49.61	-40.82	*****	47.79	-6.97	0.23	*****	-0.20	-0.03	0.22	*****	-0.33	0.11	0.19	*****	0.00	-0.20	0.26	*****	-0.33	0.08	
1971-	7-21	21	15	41		176.86	*****	-128.30	-48.56	-41.20	*****	48.50	-7.29	-0.03	*****	-0.25	0.28	0.22	*****	-0.22	0.00	-0.06	*****	-0.05	0.11	0.25	*****	-0.22	-0.00	
1971-	7-21	21	30	39		178.95	*****	-131.17	-47.78	-41.48	*****	49.03	-7.56	-0.05	*****	-0.21	0.26	0.32	*****	-0.29	-0.03	-0.08	*****	-0.01	0.09	0.35	*****	-0.29	-0.00	
1972-	6-22	22	31	50		*****	-112.84	-178.72	291.57	*****	-0.76	4.77	-4.02	*****	-0.16	-0.11	0.27	*****	-0.45	-0.36	0.81	*****	-0.06	-0.01	0.07	*****	-0.29	-0.46	0.75	
1972-	6-22	22	55	45		50.78	-129.13	-199.09	277.44	9.49	-3.99	1.36	-6.86	-1.04	0.26	0.42	0.36	0.01	-0.45	-0.43	0.86	-0.74	0.25	0.42	0.07	0.07	-0.31	-0.54	0.78	
1972-	6-22	23	19	42		44.66	-126.43	-201.02	282.78	9.10	-3.88	1.32	-6.54	-0.79	0.16	0.02	0.61	-0.12	-0.35	-0.36	0.83	-0.49	0.15	0.02	0.32	-0.06	-0.22	-0.47	0.76	
1972-	6-29	22	2	30		*****	-95.18	-126.68	221.85	*****	-13.34	-6.05	19.38	*****	0.09	0.02	-0.11	*****	-0.37	-0.04	0.42	*****	-0.04	-0.07	0.03	*****	-0.25	-0.18	0.42	
1972-	6-29	22	17	30		*****	-93.78	-127.44	221.22	*****	-13.52	-6.37	19.88	*****	0.00	-0.09	0.09	*****	-0.54	-0.33	0.87	*****	-0.05	-0.18	0.23	*****	-0.41	-0.46	0.88	
1972-	6-29	22	32	29		*****	-92.18	-127.91	220.08	*****	-13.41	-6.33	19.73	*****	0.08	0.11	-0.20	*****	-0.42	-0.25	0.67	*****	0.02	0.03	-0.05	*****	-0.29	-0.38	0.68	
1972-	6-30	21	46	24		*****	*****	-108.66	108.66	*****	*****	-14.98	14.98	*****	*****	-0.05	0.05	*****	*****	0.02	-0.02	*****	*****	-0.09	*****	*****	*****	*****	0.01	0.01
1972-	6-30	21	57	23		*****	*****	-107.52	107.52	*****	*****	-15.18	15.18	*****	*****	0.10	-0.10	*****	*****	-0.18	0.18	*****	*****	0.06	-0.06	*****	*****	-0.21	0.21	
1972-	6-30	22	8	21		*****	*****	-106.71	106.71	*****	*****	-15.26	15.26	*****	*****	-0.08	0.08	*****	*****	-0.26	0.26	*****	*****	-0.13	0.13	*****	*****	-0.29	0.29	
1972-	7-3	21	45	5		8.24	-16.53	465.12	-456.83	1.56	-4.14	10.41	-7.83	0.69	-0.56	-0.17	0.05	0.02	-0.43	1.18	-0.76	0.74	-0.71	-0.08	0.05	0.07	-0.35	1.20	-0.93	
1972-	7-3	22	5	2		6.43	-13.75	465.88	-458.56	1.18	-3.94	10.45	-7.68	0.48	-0.47	-0.07	0.05	-0.15	-0.27	0.97	-0.55	0.52	-0.61	0.04	0.05	-0.10	-0.19	1.00	-0.71	
1972-	7-3	22	24	59		1.04	*****	462.98	-464.01	-0.36	*****	9.30	-8.94	-0.01	*****	0.07	-0.06	-0.27	*****	0.80	-0.52	-0.03	*****	0.13	-0.10	-0.20	*****	0.86	-0.66	
1972-	7-11	21	27	29		-158.86	-146.49	32.01	273.34	-0.80	-7.28	7.00	1.08	-0.81	0.79	-0.03	0.05	0.09	-0.87	0.21	0.58	-0.75	0.65	0.13	-0.03	0.07	-1.08	0.26	0.75	
1972-	7-11	22	2	30		-160.78	-140.82	27.88	273.72	-0.96	-7.00	6.79	1.16	-0.81	1.15	-0.21	-0.13	-0.21	-0.62	0.10	0.72	-0.73	1.01	-0.06	-0.22	-0.22	-0.83	0.15	0.90	
1972-	7-11	22	22	30		-161.90	-138.41	25.90	274.42	-1.42	-6.30	6.65	1.08	-0.55	0.47	-0.03	0.12	-0.75	0.06	0.02	0.67	-0.47	0.34	0.11	0.02	-0.76	-0.15	0.06	0.85	
1972-	7-12	21	57	29		-299.88	-58.76	-67.05	425.68	-13.19	-0.70	6.73	7.16	-0.10	0.34	-0.02	-0.22	-0.86	-0.86	0.36	1.37	-0.25	0.49	0.02	-0.26	-0.87	-0.94	0.30	1.52	
1972-	7-12	22	18	30		-295.13	-61.60	-70.00	426.73	-13.37	-0.28	6.62	7.02	-0.22	0.84	-0.17	-0.44	-0.90	-0.46	0.26	1.10	-0.38	0.99	-0.13	-0.48	-0.91	-0.54	0.20	1.25	
1972-	9-26	18	53	56		57.60	-11.63	264.09	-310.06	5.02	2.75	-1.82	-5.94	0.06	-0.23	-0.10	0.27	0.16	-0.40	0.62	-0.38	0.12	-0.28	0.03	0.14	0.18	-0.26	-0.63	-0.55	
1972-	9-26	19	3	54		56.26	-11.52	265.56	-310.31	4.90	2.93	-1.84	-6.00	-0.23	-0.02	0.21	0.05	0.11	-0.19	0.53	-0.44	-0.18	-0.07	0.34	-0.09	0.13	-0.06	0.55	-0.62	
1972-	9-27	18	54	59		96.50	45.88	253.84	-396.23	6.70	0.48	4.38	-11.56	-0.42	0.82	-0.42	0.02	0.06	0.34	0.12	-0.52	-0.29	0.69	-0.28	-0.12	0.10	0.26	0.23	-0.59	
1972-	9-27	19	4	58		95.42	47.00	253.68	-396.11	6.81	0.18	4.81	-11.80	-0.23	0.63	-0.42	0.02	0.13	0.04	0.54	-0.70	-0.09	0.49	-0.28	-0.12	0.17	-0.04	0.64	-0.77	
1972-	9-28	18	54	3		-109.31	133.60	228.71	-253.00	-1.68	6.67	10.58	-15.58	-0.10	0.02	-0.29	0.37	-0.66	0.29	0.60	-0.23	-0.16	0.16	-0.14	0.14	-0.60	0.23	0.66	-0.30	
1972-	9-28	19	4	1		-107.69	131.82	227.84	-251.97	-1.65	6.57	10.73	-15.66	0.13	-0.44	-0.11	0.42	-0.57	0.15	0.72	-0.30	0.06	-0.29	0.03	0.20	-0.51	0.09	0.78	-0.36	
1972-10-3	18	34	23			-163.42	-246.98	*****	410.40	-1.25	-4.27	*****	5.52	-0.27	-0.04	*****	0.32	-0.39	-0.19	0.97	*****	1.36	-0.17	-0.08	*****	0.25	-0.44	-0.91	*****	1.34
1972-10-3	18	44	22			-164.29	-246.55	*****	410.85	-1.38	-4.11	*****	5.48	-0.16	0.05	*****	0.11	-0.45	-0.78	*****	1.23	-0.06	0.02	*****	0.04	-0.50	-0.73	*****	1.23	
1972-10-3	18	54	20			-165.47	-246.15	*****	411.62	-1.50	-4.05	*****	5.55	-0.38	0.13	*****	0.25	-0.51	-0.70	*****	1.21	-0.28	0.10	*****	0.18	-0.56	-0.65	*****	1.21	
1973-	8-7	21	2	10		-26.94	233.30	*****	-206.36	-9.57	66.66	*****	-57.09	0.14	0.14	*****	-0.28	-0.32	0.68	*****	-0.36	0.11	0.08	*****	-0.19	-0.35	0.82	*****	-0.47	
1973-	8-7	21	27	6		-128.14	128.14	*****	*****	-37.24	37.24	*****	*****	-0.17	0.17	*****	*****	-0.18	0.18	*****	*****	-0.17	0.17	*****	*****	-0.27	0.27	*****	*****	
1973-	8-7	21	47	3		-23.65	229.73	*****	-206.08	-8.52	65.18	*****	-56.67	-0.70	0.63	*****	0.07	-0.34	0.24	*****	0.09	-0.75	0.58	*****	0.17	-0.38	0.39	*****	-0.01	
1973-	8-8	21	30	39		203.44	-129.72	339.76	-413.48	58.02	-36.74	96.23	-117.50	-0.14	-0.12	-0.27	0.53	-0.14	-0.69	1.58	-0.76	-0.08	-0.17	-0.38	0.64	-0.09	-0.55	1.57	-0.91	
1973-	8-8	21	45	36		202.96	-130.73	342.23	-414.46	58.01	-36.65	95.85	-117.22	0.38	-0.36	-0.42	0.40	0.11	-0.35	0.45	-0.21	0.45	-0.41	-0.53	0.49	0.17	-0.21	0.43	-0.35	
1973-	8-8	22	0	34		201.18	-131.07	345.40	-415.51	57.82	-37.14	96.79	-117.47	-0.25	-0.03	0.13	0.15	0.23	-0.63	0.63	-0.23	-0.18	-0.09	0.02	0.25	0.28	-0.50	0.62	-0.40	
1973-	8-22	21	22	58		75.37	-220.40	145.02	*****	19.99	-59.06	39.07	*****	0.65	-0.50	-0.16	*****	-0.73	-0.64	1.37	*****	0.66	-0.45	-0.21	*****	-0.79	-0.51	1.31	*****	
1973-	8-22	21	40	55		76.52	-224.22	147.70	*****	19.97	-59.60	39.62	*****	0.96	-0.86	-0.09	*****	-1.01	-0.20	1.21	*****	0.97	-0.82	-0.15	*****	-1.07	-0.08	1.15	*****	
1973-	8-22	21	58	52		75.93	-227.01	151.08	*****	22.76	-62.53	39.77	*****	-0.27	-0.36	0.63	*****	1.56	-2.20	0.64	*****	-0.25	-0.32	0.57	*****	1.51	-2.08	0.57	*****	
1973-	8-27	20	14	27		*****	*****	128.52	-128.52	*****	*****	35.68	-35.68	*****	*****	-0.09	0.09	*****	*****	0.20	-0.20	*****	*****	-0.05	0.05	*****	*****	0.31	-0.31	
1973-	8-27	20	24	25		*****	*****	128.23	-128.23	*****	*****	35.97	-35.98	*****	*****	-0.48	0.48	*****	*****	0.47	-0.47	*****	*****	-0.44	0.44	*****	*****	0.58	-0.58	
1973-	8-27	20	34	23		*****	*****	128.50	-128.50	*****	*****	35.55	-35.56	*****	*****	-0.32	0.32	*****	*****	0.02	-0.02	*****	*****	-0.28	0.28	*****	*****	0.13	-0.13	
1973-	9-3	20	18	20		*****	*****	-449.94	449.94	*****	*****	-121.27	121.27	*****	*****	0.14	-0.14	*****	*****	-1.20	1.20	*****	*****	0.19	-0.19	*****	*****	-1.27	1.27	
1973-	9-3	20	33	18		*****	*****	-449.89	449.89	*****	*****	-121.16	121.16	*****	*****	0.23	-0.23	*****	*****	-1.05	1.05	*****	*****	0.28	-0.28	*****	*****	-1.13	1.13	
1973-	9-3	20	48	15		*****	*****	-450.06	450.06	*****	*****	-121.10	121.10	*****	*****	0.09	-0.09	*****	*****	-0.97	0.97	*****	*****	0.14	-0.14	*****	*****	-1.05	1.05	
1973-10-22	19	42	45			-76.93	-158.03	-180.96	415.91	-20.23	-42.28	-46.93	109.45	0.29	0.13	-0.25	-0.17	0.18	-0.51	-0.48	0.80	0.51	0.14	-0.34	-0.31	0.19	-0.50	-0.57	0.81	
1973-10-22	20	3	41			-79.84	-155.62	-183.24	418.69	-21.51	-41.20	-47.50	110.20	-0.07	0.39	-0.52	0.20	-0.38	0.02	-0.51	0.86	0.14</								

SERIES D'OBSERVATIONS EFFECTUEES PAR DEBEHOGNE en 1977-1978 à Rio de Janeiro (Brésil) du 11 au 15 septembre 1977 (f=1,0m),

à Uccle (Belgique) du 19 octobre 1977 au 28 février 1978 (f=2,0m) et à La Silla (Chili) du 2 au 12 avril 1978 (f=4,0m).

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1977-9-11	8	13	50			71.96	259.89	*****	-331.85	-8.09	-5.76	*****	13.84	-0.75	0.91	*****	-0.16	0.33	-0.26	*****	-0.08	-0.59	0.79	*****	-0.20	0.19	-0.19	*****	-0.00
1977-9-11	8	20	1			71.32	260.57	*****	-331.89	-8.62	-4.99	*****	13.61	-0.15	0.54	*****	-0.39	-0.28	0.60	*****	-0.32	-0.00	0.43	*****	-0.43	-0.42	0.66	*****	-0.25
1977-9-11	8	23	21			79.54	269.42	-25.49	-323.47	-5.49	-3.04	-7.91	16.44	0.24	0.35	-0.04	-0.55	0.31	0.09	-0.39	-0.00	0.42	0.27	-0.12	-0.56	0.17	0.16	-0.40	0.08
1977-9-12	7	20	3			214.09	236.96	-160.50	-290.55	-7.92	-15.41	3.60	19.73	-0.10	0.51	0.20	-0.61	-0.34	0.19	0.27	-0.12	-0.17	0.69	0.15	-0.68	-0.29	0.08	0.23	-0.02
1977-9-12	7	34	26			216.39	233.60	-160.70	-289.29	-7.57	-15.67	3.20	20.04	0.32	-0.36	0.24	-0.20	0.20	-0.09	-0.26	0.14	0.26	-0.17	0.19	-0.27	0.25	-0.20	-0.29	0.24
1977-9-12	7	41	10			217.63	232.09	-161.00	-288.72	-8.03	-15.44	3.39	20.07	0.71	-0.71	0.03	-0.04	-0.16	0.14	-0.13	0.15	0.66	-0.52	-0.02	-0.11	-0.11	0.04	-0.17	0.24
1977-9-12	7	52	12			218.39	230.32	-160.95	-287.76	-8.68	-15.06	3.68	20.06	0.12	-0.56	0.21	0.22	-0.67	0.51	0.06	0.09	0.07	-0.37	0.16	0.15	-0.62	0.40	0.02	0.19
1977-9-13	7	34	35			*****	52.62	21.50	-74.13	*****	-13.85	1.00	12.84	*****	-0.74	0.49	0.25	*****	-0.44	0.22	0.22	*****	-0.58	0.42	0.15	*****	-0.55	0.19	0.35
1977-9-13	7	39	24			73.32	28.25	-3.06	-98.50	-7.75	-10.64	3.14	15.24	0.57	-0.15	-0.25	-0.17	0.12	0.11	-0.25	0.02	0.62	-0.00	-0.32	-0.29	0.05	0.03	-0.25	0.17
1977-9-15	7	8	45			-197.39	66.45	130.94	*****	7.33	-4.43	-2.90	*****	0.47	0.33	-0.80	*****	0.28	-0.26	-0.02	*****	0.37	0.36	-0.74	*****	0.21	-0.17	-0.04	*****
1977-9-15	7	8	45			-197.42	66.46	130.96	*****	7.34	-4.44	-2.91	*****	0.44	0.34	-0.78	*****	0.29	-0.27	-0.02	*****	0.34	0.37	-0.71	*****	0.22	-0.17	-0.04	*****
1977-9-15	7	11	16			-197.13	66.30	130.83	*****	6.86	-4.02	-2.83	*****	0.56	0.34	-0.90	*****	-0.21	0.16	0.06	*****	0.45	0.38	-0.83	*****	-0.29	0.25	0.04	*****
1977-9-15	7	13	16			-163.96	*****	163.96	*****	4.83	*****	-4.83	*****	0.68	*****	-0.68	*****	-0.16	*****	0.16	*****	0.59	*****	-0.59	*****	-0.19	*****	0.19	*****
1977-9-15	7	16	15			-164.23	*****	164.23	*****	4.84	*****	-4.84	*****	0.29	*****	-0.29	*****	-0.17	*****	0.17	*****	0.20	*****	-0.20	*****	-0.20	*****	0.20	*****
1977-10-19	2	49	11			*****	-107.29	-122.93	230.22	*****	-4.65	6.77	-2.12	*****	0.69	-0.27	-0.42	*****	-0.07	0.05	0.02	*****	0.78	-0.29	-0.49	*****	-0.09	0.04	0.05
1977-10-19	2	51	11			*****	-107.78	-122.74	230.52	*****	-5.17	7.01	-1.85	*****	0.40	-0.18	-0.22	*****	-0.61	0.30	0.31	*****	0.50	-0.20	-0.30	*****	-0.63	0.28	0.34
1977-10-19	2	53	40			*****	-108.06	-122.22	230.28	*****	-5.33	7.13	-1.79	*****	0.37	0.21	-0.58	*****	-0.80	0.42	0.39	*****	0.47	0.19	-0.66	*****	-0.82	0.40	0.42
1977-10-19	2	55	17			*****	-108.17	-123.33	231.50	*****	-4.10	6.84	-2.73	*****	0.43	-0.98	0.55	*****	0.41	0.13	-0.54	*****	0.52	-1.00	0.48	*****	0.39	0.12	-0.51
1977-12-1	23	24	46			-10.62	257.85	170.07	-417.30	-1.71	-5.40	3.79	3.31	-0.12	-0.31	1.65	-1.22	0.06	-0.23	0.27	-0.10	-0.15	-0.45	1.64	-1.03	-0.10	-0.08	0.17	0.01
1977-12-1	23	34	45			-11.49	259.07	171.20	-418.78	-1.63	-5.47	4.00	3.11	-0.32	-0.30	1.63	-1.01	0.01	-0.17	0.56	-0.39	-0.36	-0.44	1.62	-0.81	-0.15	-0.02	0.46	-0.28
1977-12-1	23	44	43			-12.17	260.45	171.66	-419.94	-1.60	-6.45	5.10	2.95	-0.40	-0.10	0.94	-0.44	-0.09	-1.02	1.75	-0.64	-0.45	-0.24	0.94	-0.25	-0.25	-0.87	1.65	-0.53
1977-12-3	0	30	39			175.94	*****	368.09	-544.03	-10.62	*****	-7.95	18.57	-0.67	*****	0.15	0.52	0.47	*****	0.17	-0.65	-0.60	*****	0.11	0.49	0.51	*****	0.04	-0.55
1977-12-3	0	40	37			124.67	149.83	319.40	-593.90	-6.97	-10.67	-3.85	21.49	-0.21	-0.24	0.02	0.43	0.36	0.61	0.60	-1.57	-0.17	-0.14	-0.05	0.36	0.45	0.46	0.52	-1.43
1977-12-3	0	50	35			123.76	149.03	320.72	-593.51	-6.57	-10.89	-5.26	22.72	0.19	0.26	-0.56	0.11	0.76	0.37	-0.72	-0.42	0.24	0.36	-0.64	0.03	0.85	0.22	-0.80	-0.27
1977-12-4	0	27	43			60.49	-65.63	460.54	-455.40	2.84	-3.71	-22.33	23.21	-0.44	-0.35	0.86	-0.07	0.94	-0.05	0.09	-0.98	-0.61	-0.12	0.80	-0.07	0.87	-0.20	0.11	-0.79
1977-12-4	0	33	42			62.48	-66.47	459.45	-455.46	2.45	-3.60	-22.48	23.62	-0.01	-0.22	0.43	-0.20	0.60	-0.01	-0.01	-0.58	-0.18	0.00	0.36	-0.19	0.53	-0.15	0.00	-0.38
1977-12-4	0	39	41			64.17	-67.18	458.59	-455.58	2.78	-3.19	-23.21	23.62	0.13	0.01	0.24	-0.38	0.98	0.32	-0.71	-0.59	-0.04	0.24	0.18	-0.38	0.91	0.18	-0.70	-0.39
1977-12-17	23	18	12			-33.56	-42.77	451.25	-374.93	8.78	-2.02	-5.61	-1.16	0.30	-0.52	0.17	0.04	0.35	-0.27	0.23	-0.31	0.11	-0.35	0.02	0.22	0.28	-0.41	0.23	-0.15
1977-12-17	23	28	11			-31.92	-44.50	451.91	-375.49	8.95	-1.63	-6.03	-1.30	0.15	-0.65	0.47	0.04	0.48	0.06	-0.07	-0.47	-0.05	-0.48	0.31	0.22	0.41	-0.08	-0.01	-0.32
1977-12-17	23	38	9			-30.14	-45.58	452.31	-376.58	8.96	-1.75	-5.70	-1.50	0.08	-0.14	0.53	-0.47	0.44	-0.12	0.38	-0.70	-0.12	0.03	0.37	-0.29	0.37	-0.26	0.43	-0.55
1977-12-17	23	48	8			-28.09	-46.99	452.08	-377.00	8.85	-1.77	-5.96	-1.11	0.24	0.05	0.00	-0.29	0.30	-0.21	0.24	-0.34	0.03	0.22	-0.15	-0.10	0.23	-0.35	0.29	-0.18
1977-12-20	2	6	12			*****	391.93	50.29	-442.21	*****	-2.92	-11.37	14.28	*****	-0.01	0.49	-0.48	*****	-0.25	0.32	-0.07	*****	0.04	0.37	-0.41	*****	-0.27	0.28	-0.00
1977-12-20	2	18	9			*****	392.99	48.01	-441.00	*****	-2.91	-11.26	14.18	*****	-0.25	0.18	0.07	*****	-0.10	0.34	-0.24	*****	-0.19	0.06	0.13	*****	-0.13	0.30	-0.17
1977-12-20	2	30	8			*****	394.52	46.18	-440.70	*****	-2.93	-11.07	14.00	*****	0.02	0.31	-0.33	*****	0.02	0.45	-0.47	*****	0.09	0.19	-0.27	*****	-0.00	0.41	-0.41
1977-12-20	2	42	6			*****	395.55	44.19	-439.74	*****	-3.12	-11.34	14.45	*****	-0.17	0.25	-0.08	*****	-0.02	0.10	-0.08	*****	-0.11	0.13	-0.02	*****	-0.05	0.07	-0.02
1978-1-8	2	49	42			-88.11	-44.76	396.36	-263.49	-2.37	-12.50	-1.70	16.57	0.05	-0.94	0.46	0.43	0.35	-0.02	-0.10	-0.24	0.01	-0.66	0.44	0.22	0.27	-0.17	-0.07	-0.04
1978-1-8	2	59	38			-87.95	-46.41	396.35	-261.99	-2.68	-12.01	-1.31	16.01	-0.30	-0.24	0.06	0.48	-0.06	0.47	0.39	-0.80	-0.35	0.04	0.03	0.28	-0.14	0.31	0.42	-0.60
1978-1-8	3	9	36			-86.91	-48.71	396.41	-260.79	-2.46	-12.33	-1.59	16.39	0.16	-0.16	-0.25	0.25	0.06	0.14	0.22	-0.42	0.11	0.12	-0.28	0.04	-0.02	-0.01	0.25	-0.22
1978-1-8	3	19	35			-86.93	-50.77	397.29	-259.60	-2.66	-12.50	-1.67	16.84	-0.49	0.17	0.29	0.03	-0.24	-0.04	0.24	0.04	-0.54	0.45	0.27	-0.17	-0.32	-0.19	0.27	0.24
1978-1-13	23	49	40			-178.65	-33.15	-152.06	363.86	-0.93	-1.42	8.12	-5.76	-0.92	0.27	-0.42	1.07	-0.33	0.40	0.54	-0.61	-1.09	0.30	-0.44	1.23	-0.24	0.51	0.48	-0.75
1978-1-13	23	59	39			-175.56	-34.72	-150.77	361.04	0.11	-2.21	7.54	-5.44	0.61	-0.37	0.09	-0.33	0.72	-0.35	-0.09	-0.29	0.44	-0.34	0.08	-0.18	0.82	-0.24	-0.14	-0.43
1978-1-14	0	9	37			-173.77	-35.92	-149.08	358.78	-0.29	-2.17	7.31	-4.85	0.86	-0.65	0.99	-1.20	0.32	-0.26	-0.37	0.30	0.69	-0.61	0.97	-1.05	0.42	-0.16	-0.43	0.16
1978-1-14	0	29	34			-52.77	80.07	-27.30	*****	-2.34	-3.49	5.82	*****	-0.23	-1.83	2.05	*****	0.01	0.22	-0.24	*****	-0.34	-1.74	2.08	*****	0.07	0.27	-0.34	*****
1978-1-21	23	39	8			42.52	*****	426.58	-469.10	-4.01	*****	11.00	-7.00	-0.00	*****	0.46	-0.46	0.36	*****	0.54	-0.90	0.11	*****	0.41	-0.51	0.28	*****	0.47	-0.75
1978-1-21	23	49	7			40.20	*****	427.78	-467.98	-3.81	*****	10.89	-7.07	-0.30	*****	0.12	0.18	0.52	*****	0.50	-1.02	-0.19	*****	0.07	0.12	0.43	*****	0.43	-0.86
1978-1-21	23	59																											

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1978-	2-28	22	36	1		-41.63	81.39	-41.24	1.48	-0.00	1.74	-17.26	15.52	-0.09	-0.41	0.85	-0.35	1.10	-0.33	-1.34	0.57	-0.12	-0.28	0.76	-0.36	1.09	-0.28	-1.34	0.53
1978-	2-28	22	43	59		-39.05	81.85	-44.59	1.79	0.26	1.61	-17.49	15.61	0.99	-0.15	-0.35	-0.48	1.35	-0.44	-1.54	0.63	0.95	-0.02	-0.44	-0.50	1.34	-0.39	-1.53	0.59
1973-	2-28	22	51	58		-37.72	82.10	-46.84	2.46	-1.02	2.75	-17.05	15.31	0.82	-0.09	-0.47	-0.26	0.05	0.73	-1.07	0.29	0.79	0.05	-0.56	-0.28	0.04	0.78	-1.07	0.25
1978-	2-28	22	59	56		-34.71	83.04	-43.33	*****	4.58	7.21	-11.80	*****	1.29	-0.40	-0.89	*****	0.62	0.20	-0.81	*****	1.25	-0.27	-0.98	*****	0.59	0.23	-0.82	*****
1978-	4- 2	0	38	52		98.96	163.31	-87.61	-174.66	-6.11	-3.91	1.72	8.31	0.11	0.01	0.03	-0.15	-0.13	-0.01	0.21	-0.07	0.15	0.10	-0.03	-0.22	-0.07	0.02	0.09	-0.03
1978-	4- 2	0	47	51		98.43	162.83	-87.01	-174.25	-5.80	-4.00	1.65	8.14	-0.23	-0.08	0.15	0.16	0.24	-0.06	0.09	-0.28	-0.20	0.02	0.09	0.08	0.30	-0.03	-0.02	-0.24
1978-	4- 2	0	56	50		98.71	162.47	-86.91	-174.27	-6.17	-4.01	1.71	8.48	0.26	-0.04	-0.25	0.03	-0.08	-0.04	0.10	0.02	0.30	0.05	-0.30	-0.05	-0.02	-0.01	-0.02	0.06
1978-	4- 2	1	4	48		98.10	162.10	-85.03	-174.17	-5.98	-3.89	1.64	8.22	-0.13	-0.06	0.17	0.02	0.16	0.12	-0.01	-0.28	-0.09	0.04	0.11	-0.07	0.22	0.14	-0.12	-0.24
1978-	4- 5	0	25	5		-227.20	*****	48.07	179.13	0.86	*****	-9.28	8.42	-0.17	*****	0.23	-0.06	0.41	*****	-0.15	-0.26	-0.19	*****	0.19	-0.01	0.37	*****	-0.08	-0.29
1978-	4- 5	0	33	3		-225.60	*****	46.56	179.05	0.58	*****	-9.15	8.58	0.29	*****	0.10	-0.40	0.07	*****	0.01	-0.08	0.27	*****	0.07	-0.34	0.04	*****	0.07	-0.11
1978-	4- 5	0	41	2		-198.18	-79.30	71.49	205.99	-0.15	2.88	-10.27	7.55	0.18	-0.16	0.05	-0.08	0.24	0.03	-0.14	-0.14	0.14	-0.09	-0.01	-0.05	0.17	0.15	-0.11	-0.21
1978-	4- 5	0	50	0		-197.36	-78.26	69.67	205.96	-0.06	2.75	-10.27	7.58	-0.01	-0.07	0.13	-0.06	0.28	-0.09	-0.10	-0.08	-0.05	0.01	0.07	-0.03	0.21	0.02	-0.08	-0.15
1978-	4- 8	0	33	14		-62.71	-118.20	-274.21	455.12	-2.27	5.29	3.74	-6.75	-0.35	0.03	0.16	0.16	0.09	-0.02	-0.06	-0.01	-0.21	-0.07	0.01	0.28	0.06	0.08	-0.04	-0.11
1978-	4- 8	0	41	12		-64.20	-116.56	-273.79	454.55	-2.38	5.24	3.92	-6.79	-0.15	0.26	0.13	-0.24	-0.04	-0.08	0.10	0.02	0.07	-0.06	-0.13	0.11	0.30	-0.04	0.18	-0.44
1978-	4- 8	0	49	11		-65.80	-115.36	-273.46	454.61	-1.99	5.20	3.99	-7.21	-0.06	0.05	0.02	-0.00	0.32	-0.14	0.16	-0.34	0.09	0.04	0.08	-0.21	0.05	0.06	-0.07	-0.04
1978-	4- 8	0	57	10		-67.44	-113.85	-272.81	454.10	-2.20	5.31	3.75	-6.86	-0.04	0.14	0.24	-0.33	0.08	-0.04	-0.10	0.06	0.09	0.04	0.08	-0.21	0.05	0.06	-0.07	-0.04
1978-	4-10	0	22	22		-181.26	-17.91	30.73	168.44	3.47	-2.40	11.23	-12.29	-0.18	0.08	0.37	-0.26	-0.04	0.04	-0.01	0.01	-0.24	0.10	0.20	-0.07	-0.05	0.00	0.04	0.01
1978-	4-10	0	30	21		-181.14	-19.07	32.26	167.95	3.54	-2.54	11.11	-12.12	0.03	0.06	0.24	-0.33	-0.04	-0.07	-0.09	0.20	-0.03	0.08	0.08	-0.13	-0.04	-0.11	-0.05	0.20
1978-	4-10	0	39	19		-181.27	-20.38	34.13	167.53	3.78	-2.51	10.95	-12.23	-0.05	0.04	0.28	-0.27	0.13	-0.01	-0.21	0.10	-0.11	0.06	0.12	-0.08	0.12	-0.05	-0.17	0.10
1978-	4-10	0	48	17		-181.35	-21.78	35.94	167.18	3.52	-2.41	11.10	-12.22	-0.10	-0.04	0.27	-0.13	-0.22	0.11	-0.03	0.14	-0.16	-0.02	0.11	0.07	-0.22	0.07	0.02	0.13
1978-	4-11	0	7	28		36.26	-236.02	189.52	10.25	3.09	3.93	5.01	-12.04	0.06	-0.05	0.14	-0.15	0.04	0.08	-0.21	0.10	-0.00	-0.11	0.03	0.08	0.16	0.03	-0.23	0.04
1978-	4-11	0	15	27		36.14	-235.84	190.40	9.30	3.09	3.78	5.04	-11.91	-0.08	0.11	0.36	-0.39	0.10	-0.15	-0.15	0.21	-0.14	0.05	0.25	-0.15	0.22	-0.20	-0.17	0.15
1978-	4-11	0	23	26		36.25	-235.76	190.88	8.63	2.86	3.89	5.14	-11.90	0.03	0.13	0.20	-0.36	-0.07	-0.11	-0.02	0.20	-0.02	0.07	0.08	-0.13	0.05	-0.16	-0.03	0.14
1978-	4-11	0	31	25		36.24	-236.03	191.67	8.12	2.77	4.32	4.89	-11.99	0.05	-0.20	0.34	-0.19	-0.10	0.24	-0.23	0.09	0.00	-0.27	0.22	0.05	0.02	0.20	-0.25	0.03
1978-	4-12	0	7	31		-104.54	*****	214.11	-109.57	9.30	*****	-0.63	-8.66	0.19	*****	0.09	-0.28	0.21	*****	-0.01	-0.19	0.06	*****	-0.08	0.02	0.14	*****	0.05	-0.19
1978-	4-12	0	15	30		-103.36	*****	213.57	-110.20	9.30	*****	-0.79	-8.52	0.11	*****	0.06	-0.17	0.17	*****	-0.12	-0.05	-0.02	*****	-0.11	0.13	0.11	*****	-0.06	-0.05
1978-	4-12	0	23	29		-101.97	*****	213.03	-111.07	9.05	*****	-0.40	-8.66	0.22	*****	0.05	-0.27	-0.12	*****	0.31	-0.20	0.09	*****	-0.12	0.03	-0.18	*****	0.37	-0.19
1978-	4-12	0	31	27		-100.72	*****	212.40	-111.63	9.41	*****	-1.04	-8.38	0.17	*****	-0.04	-0.12	0.21	*****	-0.28	0.08	0.03	*****	-0.21	0.18	0.15	*****	-0.23	0.08

SERIE D'OBSERVATION EFFECTUEE PAR IANNA ET SEITZER en 1977-1978 à l'observatoire Mc Cormick, Charlottesville, Virginie, USA

(f=9,9m).

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et rapportées au centre de gravité des satellites observés.

date (UT)					Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1977-11-15	7	7	59		264.20	272.38	-163.62	-372.95	-10.39	-14.05	9.42	15.03	0.05	-0.24	0.29	-0.10	-0.03	0.50	-0.07	-0.40	0.07	-0.13	0.08	-0.02	0.05	0.34	-0.07	-0.32
1977-11-15	7	12	0		264.04	272.12	-163.47	-372.69	-10.49	-14.18	9.48	15.18	-0.00	-0.19	0.26	-0.06	-0.09	0.38	-0.03	-0.26	0.02	-0.08	0.05	0.02	-0.01	0.23	-0.04	-0.18
1977-11-15	7	16	0		263.91	271.76	-163.20	-372.46	-10.51	-14.18	9.50	15.19	-0.02	-0.24	0.32	-0.06	-0.08	0.39	-0.04	-0.27	-0.00	-0.13	0.11	0.02	-0.00	0.23	-0.04	-0.19
1977-11-15	7	29	0		263.58	270.70	-162.55	-371.73	-10.61	-13.98	9.52	15.08	0.08	-0.29	0.30	-0.09	-0.09	0.61	-0.09	-0.43	0.10	-0.18	0.08	-0.01	-0.01	0.45	-0.10	-0.35
1977-11-15	7	32	0		263.43	270.44	-162.37	-371.49	-10.63	-14.03	9.53	15.13	0.03	-0.32	0.32	-0.03	-0.08	0.57	-0.10	-0.39	0.06	-0.21	0.10	0.04	-0.00	0.41	-0.10	-0.30
1977-11-15	7	34	59		263.37	270.25	-162.23	-371.38	-10.72	-14.06	9.60	15.18	0.10	-0.28	0.29	-0.10	-0.15	0.54	-0.05	-0.35	0.12	-0.17	0.07	-0.03	-0.07	0.38	-0.05	-0.27
1977-11-19	6	51	59		-55.21	*****	354.81	-299.60	-6.90	*****	-22.46	29.36	0.01	*****	-0.16	0.15	0.21	*****	-0.14	-0.07	0.23	*****	-0.20	-0.03	0.12	*****	-0.17	0.05
1977-11-19	6	54	59		-55.97	*****	355.10	-299.13	-6.90	*****	-22.44	29.34	-0.03	*****	-0.05	0.08	0.15	*****	-0.08	-0.07	0.19	*****	-0.08	-0.11	0.06	*****	-0.11	0.05
1977-11-19	6	58	59		-56.96	*****	355.26	-298.30	-6.82	*****	-22.43	29.25	-0.07	*****	-0.11	0.18	0.15	*****	-0.02	-0.13	0.14	*****	-0.14	-0.00	0.06	*****	-0.05	-0.01
1977-11-20	6	51	59		100.35	-211.04	222.78	-112.10	-6.58	7.69	-25.03	23.92	-0.01	-0.13	0.12	0.02	-0.04	0.09	-0.11	0.06	0.03	-0.05	0.04	-0.02	0.01	0.05	-0.12	0.07
1977-11-20	7	20	0		103.60	-210.37	216.48	-109.72	-7.07	8.02	-24.86	23.91	-0.05	-0.08	0.12	0.01	-0.09	0.12	-0.15	0.12	0.01	-0.01	0.04	-0.03	-0.04	0.09	-0.16	0.11
1977-12-3	6	11	59		*****	129.18	407.75	-536.93	*****	-12.24	-10.23	22.47	*****	-0.25	0.03	0.22	*****	0.30	-0.00	-0.30	*****	-0.07	-0.06	0.13	*****	0.13	-0.03	-0.10
1977-12-3	6	15	59		*****	129.39	408.29	-536.68	*****	-12.22	-10.29	22.50	*****	-0.25	0.04	0.21	*****	0.30	-0.01	-0.29	*****	-0.08	-0.04	0.12	*****	0.13	-0.04	-0.10
1977-12-3	6	20	0		*****	127.54	408.86	-536.40	*****	-12.22	-10.31	22.53	*****	-0.31	0.08	0.23	*****	0.28	0.01	-0.29	*****	-0.13	-0.01	0.14	*****	0.11	-0.02	-0.09
1977-12-3	6	33	0		*****	125.02	410.50	-535.52	*****	-12.10	-10.47	22.57	*****	-0.27	0.02	0.25	*****	0.33	-0.01	-0.32	*****	-0.09	-0.07	0.15	*****	0.16	-0.04	-0.12
1977-12-3	6	36	59		*****	124.17	411.07	-535.24	*****	-12.04	-10.56	22.60	*****	-0.33	0.07	0.26	*****	0.36	-0.06	-0.30	*****	-0.14	-0.02	0.16	*****	0.19	-0.09	-0.10
1977-12-3	6	40	59		*****	123.43	411.55	-534.97	*****	-12.12	-10.52	22.64	*****	-0.28	0.02	0.26	*****	0.27	0.02	-0.28	*****	-0.10	-0.06	0.16	*****	0.09	-0.01	-0.09
1977-12-8	5	35	59		143.62	-154.44	-203.07	213.89	-15.82	1.16	8.47	6.19	-0.19	0.09	0.12	-0.02	-0.09	-0.07	0.12	0.04	-0.00	0.01	0.09	-0.10	0.02	-0.01	0.02	-0.02
1977-12-8	5	39	0		142.94	-154.23	-202.86	214.15	-15.81	1.14	8.49	6.18	-0.25	0.06	0.11	0.07	-0.06	-0.11	0.13	0.05	-0.06	-0.02	0.08	-0.00	0.04	-0.06	0.03	-0.01
1977-12-8	5	55	0		139.49	-152.69	-201.66	214.86	-15.94	1.32	8.52	6.10	-0.29	0.26	0.13	-0.10	-0.11	-0.03	0.12	0.03	-0.09	0.17	0.10	-0.18	-0.01	0.03	0.02	-0.03
1977-12-8	5	57	0		139.06	-152.66	-201.48	215.09	-15.94	1.34	8.53	6.07	-0.27	0.11	0.16	0.01	-0.10	-0.03	0.12	0.00	-0.08	0.02	0.12	-0.07	0.00	0.03	0.02	-0.06
1977-12-8	6	0	0		138.40	-152.39	-201.24	215.23	-15.97	1.27	8.55	6.15	-0.27	0.12	0.17	-0.02	-0.12	-0.12	0.14	0.10	-0.07	0.03	0.14	-0.10	-0.02	-0.06	0.04	0.04
1977-12-10	5	21	59		-195.22	-155.55	57.25	293.52	0.09	-3.63	3.33	0.21	-0.30	0.01	0.15	0.15	0.06	0.21	-0.04	-0.22	-0.19	0.15	0.07	-0.03	0.19	0.12	-0.03	-0.29
1977-12-10	5	26	0		-196.07	-156.26	57.99	294.34	0.21	-3.67	3.29	0.17	-0.29	-0.11	0.12	0.28	0.15	0.16	-0.05	-0.25	-0.17	0.03	0.04	0.11	0.28	0.07	-0.03	-0.32
1977-12-10	5	28	0		-196.50	-156.52	58.38	294.65	-0.01	-3.67	3.37	0.31	-0.28	-0.08	0.12	0.24	-0.09	0.15	0.04	-0.10	-0.17	0.06	0.04	0.07	0.05	0.06	0.06	-0.17
1977-12-10	5	41	0		-199.45	-158.34	60.93	296.86	0.22	-3.55	3.21	0.12	-0.40	0.02	0.17	0.21	0.04	0.21	-0.03	-0.23	-0.28	0.16	0.08	0.03	0.18	0.13	-0.01	-0.29
1977-12-10	5	44	0		-200.12	-158.92	61.51	297.52	0.21	-3.57	3.22	0.13	-0.40	-0.11	0.17	0.35	0.01	0.18	0.01	-0.21	-0.28	0.03	0.08	0.18	0.14	0.10	0.03	-0.27
1977-12-10	5	46	59		-200.94	-159.36	62.40	297.90	0.10	-3.65	3.31	0.24	-0.57	-0.11	0.47	0.21	-0.13	0.08	0.12	-0.08	-0.45	0.03	0.39	0.04	0.01	-0.00	0.14	-0.15
1977-12-11	5	24	0		*****	-457.39	79.86	377.53	*****	12.65	-5.37	-7.27	*****	-0.12	0.01	0.10	*****	0.29	-0.05	-0.24	*****	-0.02	-0.14	0.16	*****	0.26	0.06	-0.32
1977-12-11	5	26	59		*****	-457.54	79.80	377.74	*****	12.76	-5.42	-7.35	*****	-0.19	0.08	0.11	*****	0.36	-0.07	-0.29	*****	-0.09	-0.07	0.17	*****	0.34	0.03	-0.37
1977-12-11	5	30	0		*****	-457.80	79.38	378.42	*****	12.60	-5.39	-7.21	*****	-0.37	-0.23	0.60	*****	0.16	-0.03	-0.13	*****	-0.28	-0.38	0.65	*****	0.14	0.07	-0.21
1977-12-11	5	57	0		*****	-458.03	78.56	379.47	*****	13.05	-5.59	-7.46	*****	0.00	0.11	-0.11	*****	0.29	-0.09	-0.20	*****	0.09	-0.04	-0.05	*****	0.27	0.01	-0.29
1977-12-11	6	0	0		*****	-458.24	78.39	379.85	*****	13.08	-5.55	-7.53	*****	-0.15	0.07	0.08	*****	0.29	-0.04	-0.25	*****	-0.06	-0.08	0.14	*****	0.27	0.06	-0.33
1977-12-11	6	2	59		*****	-458.35	78.14	380.20	*****	13.11	-5.54	-7.57	*****	-0.21	-0.03	0.24	*****	0.28	-0.01	-0.27	*****	-0.12	-0.18	0.30	*****	0.26	0.09	-0.35
1977-12-12	5	26	0		-268.81	*****	-120.43	389.24	11.27	*****	-1.13	-10.14	0.26	*****	0.12	-0.37	0.20	*****	-0.03	-0.17	0.45	*****	-0.20	-0.25	0.20	*****	0.10	-0.30
1977-12-12	5	30	0		-269.41	*****	-120.49	389.90	11.27	*****	-1.12	-10.15	0.18	*****	0.13	-0.31	0.16	*****	-0.02	-0.14	0.37	*****	-0.18	-0.19	0.16	*****	0.11	-0.27
1977-12-12	5	33	0		-269.87	*****	-120.45	390.31	11.29	*****	-1.19	-10.10	0.12	*****	0.23	-0.35	0.15	*****	-0.09	-0.06	0.30	*****	-0.08	-0.23	0.15	*****	0.05	-0.19
1977-12-12	5	48	0		-271.79	*****	-120.84	392.63	11.43	*****	-1.12	-10.30	0.11	*****	0.14	-0.25	0.13	*****	0.00	-0.13	0.29	*****	-0.17	-0.13	0.12	*****	0.13	-0.26
1977-12-12	5	51	0		-272.20	*****	-120.84	393.04	11.46	*****	-1.15	-10.31	0.07	*****	0.20	-0.28	0.13	*****	-0.02	-0.11	0.26	*****	-0.10	-0.15	0.12	*****	0.11	-0.24
1977-12-12	5	55	0		-272.98	*****	-121.32	394.30	11.52	*****	-1.15	-10.37	-0.21	*****	-0.19	0.39	0.15	*****	-0.02	-0.13	-0.03	*****	-0.49	0.52	0.15	*****	0.11	-0.26
1977-12-16	4	50	59		-97.44	178.69	*****	-81.25	9.24	7.56	*****	-16.80	0.21	0.13	*****	-0.34	0.09	-0.11	*****	0.03	0.04	-0.06	*****	0.02	-0.04	0.05	*****	-0.01
1977-12-16	4	54	0		-97.23	179.11	*****	-81.88	9.28	7.51	*****	-16.79	0.21	0.09	*****	-0.30	0.09	-0.12	*****	0.03	0.05	-0.10	*****	0.05	-0.04	0.04	*****	-0.01
1977-12-16	4	57	0		-96.99	179.54	*****	-82.55	9.33	7.43	*****	-16.76	0.24	0.07	*****	-0.31	0.12	-0.16	*****	0.04	0.07	-0.12	*****	0.04	-0.01	0.00	*****	0.01
1977-12-16	5	10	0		-111.76	165.73	47.22	-101.19	5.40	3.26	12.01	-20.68	0.35	0.18	-0.27	-0.25	0.11	-0.15	-0.04	0.08	0.20	0.02	-0.35	0.14	0.00	0.03	-0.10	0.07
1977-12-16	5	12	59		-111.64	166.05	47.64	-102.04	5.45	3.22	12.01	-20.68	0.34	0.18	-0.21	-0.32	0.13	-0.16	-0.03	0.06	0.19	0.02	-0.23	0.07	0.02	0.02	-0.09	0.05
1977-12-16	5	17	0		-111.54	166.45	48.14	-103.05	5.48	3.18	12.04	-20.70	0.27	0.17	-0.17	-0.28	0.13	-0.16	0.02	0.02	0.12	0.02	-0.24	0.11	0.02	0.02	-0.04	0.00

date (UT)					Coordonnées observées							Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5									
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1977-12-23	5	15	59			-76.84	183.07	*****	-106.22	-8.05	-5.94	*****	14.00	-0.04	-0.05	*****	0.09	0.23	-0.19	*****	-0.04	0.04	-0.06	*****	0.02	0.05	-0.06	*****	0.02
1978-1-3	3	40	59	*****		286.93	26.08	-313.01	*****		12.06	-4.78	-7.29	*****	-0.13	0.47	-0.34	*****	-0.00	-0.00	0.00	*****	-0.19	0.21	-0.02	*****	0.03	-0.00	-0.03
1978-1-3	3	45	0	*****		287.71	25.52	-313.24	*****		12.05	-4.71	-7.33	*****	-0.13	0.48	-0.35	*****	0.02	0.05	-0.07	*****	-0.19	0.22	-0.04	*****	0.05	0.05	-0.10
1978-1-3	3	49	0	*****		288.51	24.93	-313.44	*****		12.01	-4.75	-7.27	*****	-0.12	0.46	-0.34	*****	0.02	0.01	-0.02	*****	-0.17	0.20	-0.03	*****	0.05	0.00	-0.05
1978-1-3	4	3	59	*****		291.42	22.77	-314.19	*****		11.82	-4.62	-7.20	*****	-0.09	0.40	-0.31	*****	-0.05	0.09	-0.04	*****	-0.14	0.14	0.00	*****	-0.02	0.08	-0.07
1978-1-3	4	7	0	*****		291.94	22.39	-314.33	*****		11.85	-4.67	-7.17	*****	-0.15	0.44	-0.30	*****	0.01	0.02	-0.03	*****	-0.20	0.18	0.02	*****	0.04	0.02	-0.06
1978-1-3	4	9	59	*****		292.58	21.89	-314.47	*****		11.78	-4.62	-7.16	*****	-0.07	0.36	-0.29	*****	-0.03	0.06	-0.03	*****	-0.13	0.10	0.03	*****	0.00	0.06	-0.06
1978-1-4	3	42	0	*****		327.94	-44.37	-283.57	*****		-1.20	2.02	-0.82	*****	-0.37	0.36	0.01	*****	0.27	0.02	-0.29	*****	-0.21	0.13	0.09	*****	0.10	0.07	-0.17
1978-1-4	3	45	59	*****		327.53	-44.25	-283.27	*****		-1.18	2.01	-0.83	*****	-0.32	0.31	0.02	*****	0.32	-0.00	-0.31	*****	-0.17	0.08	0.10	*****	0.15	0.05	-0.19
1978-1-4	3	49	0	*****		327.18	-44.14	-283.05	*****		-1.26	2.03	-0.76	*****	-0.33	0.30	0.03	*****	0.26	-0.00	-0.25	*****	-0.17	0.06	0.11	*****	0.08	0.05	-0.13
1978-1-4	3	49	0	*****		327.18	-44.14	-283.05	*****		-1.26	2.03	-0.76	*****	-0.33	0.30	0.03	*****	0.26	-0.00	-0.25	*****	-0.17	0.06	0.11	*****	0.08	0.05	-0.13
1978-1-16	3	44	0	*****		-24.86	-333.54	131.14	227.26	3.62	7.39	-0.33	-10.68	-0.14	0.20	0.23	-0.29	-0.09	0.10	-0.10	0.09	-0.02	0.04	-0.03	0.01	0.04	0.12	-0.09	-0.07
1978-1-16	3	53	0	*****		-25.50	-331.70	130.55	226.65	3.54	7.57	-0.38	-10.73	-0.10	0.19	0.22	-0.31	-0.09	0.10	-0.10	0.09	-0.02	0.04	-0.03	0.01	0.04	0.12	-0.09	-0.07
1978-1-16	3	56	0	*****		-25.72	-331.10	130.35	226.47	3.48	7.56	-0.35	-10.68	-0.10	0.19	0.22	-0.31	-0.09	0.10	-0.10	0.09	-0.02	0.04	-0.03	0.01	0.04	0.12	-0.09	-0.07
1978-1-16	3	56	0	*****		-25.72	-331.10	130.35	226.47	3.48	7.56	-0.35	-10.68	-0.10	0.19	0.22	-0.31	-0.09	0.10	-0.10	0.09	-0.02	0.04	-0.03	0.01	0.04	0.12	-0.09	-0.07
1978-1-16	4	9	59	*****		-26.99	-328.11	129.50	225.60	3.38	7.69	-0.39	-10.68	-0.18	0.21	0.24	-0.27	-0.08	-0.03	-0.04	0.15	-0.09	0.04	-0.01	0.06	0.04	0.00	-0.03	-0.01
1978-1-16	4	14	59	*****		-27.39	-327.01	129.16	225.23	3.34	7.81	-0.43	-10.72	-0.13	0.23	0.21	-0.32	-0.08	0.02	-0.06	0.12	-0.03	0.07	-0.04	0.00	0.04	0.05	-0.05	-0.04
1978-1-16	4	18	0	*****		-27.69	-326.36	128.98	225.07	3.37	7.85	-0.46	-10.76	-0.15	0.23	0.22	-0.30	-0.02	0.02	-0.08	0.08	-0.05	0.06	-0.03	0.02	0.10	0.06	-0.07	-0.08
1978-1-24	3	17	0	*****		-32.48	201.44	155.32	-324.29	-1.35	6.80	-13.90	8.45	0.04	-0.21	-0.03	0.20	0.12	-0.03	0.10	-0.19	0.09	-0.16	-0.12	0.19	-0.07	0.06	0.11	-0.09
1978-1-24	3	20	0	*****		-32.10	201.86	154.43	-324.19	-1.25	6.70	-13.88	8.42	0.17	-0.24	-0.10	0.17	0.20	-0.12	0.14	-0.23	0.21	-0.19	-0.18	0.16	0.01	-0.03	0.15	-0.13
1978-1-24	3	22	0	*****		19.33	253.42	*****	-272.74	-5.83	2.15	*****	3.68	0.10	-0.31	*****	0.21	0.27	0.01	*****	-0.29	0.12	-0.29	*****	0.17	0.08	0.10	*****	-0.19
1978-1-24	3	36	0	*****		-30.66	204.33	150.12	-323.78	-1.04	6.75	-14.10	8.39	0.16	-0.14	0.06	-0.08	0.25	0.00	0.04	-0.29	0.20	-0.08	-0.02	-0.09	0.06	0.09	0.04	-0.19
1978-1-24	3	38	59	*****		-30.45	204.71	149.21	-323.47	-0.94	6.80	-14.09	8.23	0.09	-0.18	-0.01	0.11	0.32	0.07	0.07	-0.46	0.12	-0.13	-0.09	0.10	0.13	0.16	0.08	-0.36
1978-1-24	3	42	0	*****		-30.17	205.16	148.36	-323.34	-0.97	6.69	-14.18	8.46	0.08	-0.17	-0.03	0.12	0.26	-0.03	-0.00	-0.23	0.11	-0.11	-0.10	0.11	0.07	0.06	0.01	-0.13
1978-1-28	3	26	0	*****		-98.76	*****	98.76	*****		-8.04	*****	8.04	*****	-0.03	*****	0.03	*****	-0.00	*****	0.00	*****	0.02	*****	-0.02	*****	0.08	*****	-0.08
1978-1-28	3	29	59	*****		-98.90	*****	98.90	*****		-8.03	*****	8.03	*****	-0.05	*****	0.05	*****	0.01	*****	-0.01	*****	-0.00	*****	0.00	*****	0.10	*****	-0.10
1978-1-28	3	35	0	*****		-99.03	*****	99.03	*****		-8.05	*****	8.05	*****	-0.03	*****	0.03	*****	0.01	*****	-0.01	*****	0.02	*****	-0.02	*****	0.09	*****	-0.09
1978-1-28	3	47	59	*****		-99.47	*****	99.47	*****		-8.08	*****	8.08	*****	-0.04	*****	0.04	*****	0.03	*****	-0.03	*****	0.01	*****	-0.01	*****	0.11	*****	-0.11
1978-1-28	3	51	0	*****		-99.54	*****	99.54	*****		-8.08	*****	8.08	*****	-0.01	*****	0.01	*****	0.04	*****	-0.04	*****	0.04	*****	-0.04	*****	0.12	*****	-0.12
1978-1-28	3	54	59	*****		-99.68	*****	99.68	*****		-8.10	*****	8.10	*****	-0.02	*****	0.02	*****	0.03	*****	-0.03	*****	0.04	*****	-0.04	*****	0.11	*****	-0.11
1978-2-1	3	18	59	*****		-38.00	34.26	-318.56	322.30	3.83	5.03	-8.44	-0.43	-0.11	-0.01	0.25	-0.13	-0.09	0.08	-0.00	0.01	-0.06	0.01	-0.01	0.06	0.03	0.04	0.07	-0.14
1978-2-1	3	22	0	*****		-38.14	34.27	-318.60	322.48	3.81	4.98	-8.42	-0.37	-0.11	-0.04	0.27	-0.12	-0.10	0.04	-0.01	0.07	-0.06	-0.02	0.01	0.07	0.03	-0.01	0.07	-0.09
1978-2-1	3	24	59	*****		-38.26	34.34	-318.65	322.56	3.82	4.99	-8.37	-0.44	-0.09	0.00	0.29	-0.20	-0.06	0.06	0.02	-0.01	-0.04	0.02	0.03	-0.01	0.06	0.02	0.09	-0.16
1978-2-1	3	36	59	*****		-38.79	34.46	-318.91	323.24	3.76	4.97	-8.34	-0.39	-0.04	-0.01	0.26	-0.21	-0.06	0.09	-0.05	0.02	0.02	0.01	-0.00	-0.02	0.06	0.05	0.02	-0.14
1978-2-1	3	36	59	*****		-39.05	34.49	-318.91	323.48	3.68	4.93	-8.24	-0.38	-0.14	-0.02	0.30	-0.15	-0.12	0.07	0.02	0.02	-0.08	0.00	0.04	0.04	0.00	0.03	0.10	-0.13
1978-2-1	3	42	59	*****		-39.20	34.54	-318.94	323.60	3.75	4.86	-8.23	-0.38	-0.13	0.00	0.32	-0.19	-0.04	0.02	0.01	0.02	-0.08	0.00	0.04	0.04	0.00	0.03	0.10	-0.13
1978-2-3	3	27	59	*****		-21.54	-155.49	177.02	*****		8.13	7.55	-15.68	*****	0.24	0.19	-0.43	*****	-0.13	-0.01	0.14	*****	0.06	0.00	-0.06	*****	-0.02	-0.04	0.07
1978-2-3	3	31	0	*****		-21.13	-155.23	176.36	*****		8.17	7.57	-15.74	*****	0.20	0.23	-0.43	*****	-0.11	0.00	0.11	*****	0.02	0.05	-0.06	*****	-0.00	-0.03	0.04
1978-2-3	3	33	59	*****		-20.68	-155.00	175.68	*****		8.22	7.58	-15.80	*****	0.20	0.25	-0.45	*****	-0.07	0.01	0.07	*****	0.01	0.07	-0.08	*****	0.03	-0.03	-0.00
1978-2-3	3	49	0	*****		-18.40	-153.98	172.39	*****		8.33	7.59	-15.92	*****	0.21	0.21	-0.43	*****	-0.06	-0.02	0.08	*****	0.03	0.03	-0.06	*****	0.05	-0.06	0.01
1978-2-3	3	51	59	*****		-17.94	-153.80	171.74	*****		8.30	7.58	-15.89	*****	0.23	0.18	-0.41	*****	-0.09	-0.04	0.14	*****	0.04	0.00	-0.04	*****	0.01	-0.08	0.07
1978-2-3	3	54	59	*****		-17.44	-153.60	171.03	*****		8.28	7.62	-15.90	*****	0.27	0.18	-0.45	*****	-0.14	-0.01	0.15	*****	0.08	-0.01	-0.08	*****	-0.03	-0.05	0.08
1978-2-5	2	35	0	*****		-52.55	76.45	280.17	-304.07	0.46	-0.67	18.64	-18.43	0.08	-0.16	0.05	0.03	0.10	0.16	0.03	-0.29	0.09	-0.12	-0.13	0.16	0.10	0.06	0.03	-0.20
1978-2-5	2	35	0	*****		-52.55	76.45	280.17	-304.07	0.46	-0.67	18.64	-18.43	0.08	-0.16	0.05	0.03	0.10	0.16	0.03	-0.29	0.09	-0.12	-0.13	0.16	0.10	0.06	0.03	-0.20
1978-2-5	2	37	59	*****		-52.89	76.06	280.99	-304.16	0.44	-0.73	18.62	-18.33	0.15	-0.19	0.11	-0.07	0.07	0.12	0.01	-0.20	0.16	-0.15	-0.07	0.07	0.07	0.02	0.01	-0.11
1978-2-5	2	41	0	*****		-53.46	75.75	281.78	-304.07	0.43	-0.68	18.59	-18.34	-0.01	-0.14	0.13	0.02	0.05	0.19	-0.03	-0.21	-0.00	-0.11	-0.05	0.15	0.05	0.09	-0.02	-0.12
1978-2-5	2	53	0	*****		-54.89	74.30	284.69	-304.10	0.48	-0.81	18.62	-18.29	0.14	-0.15	0.03	-0.02	0.03	0.15										

l'observatoire naval de Washington D.C., USA en 1973, 1974, 1975, 1976 et 1977-1978 (f=9,9m).

Les coordonnées sont données dans le repère équatorial terrestre moyen 1950,0 et sont rapportées au centre de Jupiter : la correction de phase photographique réelle pour la planète a été effectuée.

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1967-12-	4	10	58	0		79.96	-51.50	-165.88	-459.13	-36.60	18.28	75.28	199.70	-0.26	-0.12	-0.48	-0.13	-0.13	-0.11	-0.08	-0.27	-0.37	-0.23	-0.32	-0.12	-0.07	0.05	-0.12	-0.16
1967-12-	4	10	59	20		80.41	-51.32	-166.02	-459.36	-36.12	18.35	75.56	199.96	-0.02	-0.20	-0.45	-0.38	0.44	0.08	0.13	0.01	-0.13	-0.31	-0.30	-0.37	0.50	0.24	0.09	0.11
1967-12-	5	10	49	9		-98.39	162.35	-262.73	-413.02	43.72	-71.00	114.21	177.00	-0.07	-0.03	-0.01	0.15	-0.10	-0.42	-0.23	-0.29	-0.04	0.01	0.06	0.10	-0.15	-0.27	-0.25	-0.21
1967-12-	5	10	50	14		-98.71	162.06	-262.94	-413.17	43.72	-70.89	114.39	177.08	-0.31	-0.35	-0.23	-0.06	-0.14	-0.30	-0.04	-0.19	-0.28	-0.31	-0.15	-0.11	-0.19	-0.15	-0.07	-0.11
1967-12-	5	10	51	19		-98.65	162.20	-262.87	-413.10	43.88	-70.73	114.44	177.25	-0.16	-0.23	-0.15	-0.04	-0.00	-0.13	0.01	0.01	-0.13	-0.18	-0.08	-0.09	-0.05	0.02	-0.01	0.09
1967-12-	5	10	52	24		-98.70	162.30	-262.80	-412.97	43.95	-70.80	114.38	177.18	-0.13	-0.15	-0.07	0.03	0.03	-0.20	-0.05	-0.03	-0.10	-0.11	-0.00	-0.03	-0.02	-0.05	-0.08	0.04
1967-12-	5	11	17	9		-100.10	163.02	-262.65	-411.45	44.66	-70.79	114.37	176.52	0.12	0.07	0.11	0.23	0.13	-0.11	-0.01	-0.07	0.14	0.11	0.18	0.17	0.08	0.04	-0.04	0.01
1967-12-	5	11	18	19		-100.35	162.89	-262.85	-411.54	44.47	-70.90	114.30	176.29	-0.06	-0.08	-0.10	0.08	-0.08	-0.21	-0.07	-0.27	-0.04	-0.03	-0.03	0.03	-0.13	-0.06	-0.10	-0.19
1967-12-	5	11	20	14		-100.41	163.04	-262.73	-411.37	44.76	-70.79	114.47	176.29	-0.01	0.04	0.02	0.14	0.17	-0.10	0.10	-0.22	0.01	0.08	0.10	0.09	0.12	0.05	0.07	-0.14
1967-12-	5	11	21	19		-100.45	163.12	-262.67	-411.18	44.64	-70.87	114.36	176.39	0.01	0.10	0.09	0.27	0.02	-0.18	-0.00	-0.09	0.03	0.15	0.16	0.22	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01
1967-12-	14	10	11	10		-104.34	-170.71	*****	368.47	45.97	73.89	*****	-156.46	0.25	0.21	*****	-0.05	0.14	0.11	*****	0.03	0.19	0.12	*****	0.11	0.11	-0.00	*****	-0.09
1967-12-	14	10	12	15		-104.51	-170.73	*****	368.20	45.90	73.87	*****	-156.38	0.04	0.17	*****	-0.23	0.10	0.10	*****	0.07	-0.02	0.09	*****	-0.08	0.07	-0.01	*****	-0.05
1967-12-	14	10	13	20		-104.47	-170.84	*****	368.04	45.88	73.93	*****	-156.40	0.04	0.06	*****	-0.31	0.10	0.17	*****	0.01	-0.02	-0.03	*****	-0.16	0.07	0.06	*****	-0.10
1967-12-	14	11	10	50		-100.97	-169.91	*****	363.66	44.98	73.02	*****	-154.10	0.14	-0.06	*****	-0.17	-0.01	0.01	*****	0.24	0.05	-0.15	*****	-0.02	-0.03	-0.09	*****	0.12
1967-12-	14	11	11	55		-101.01	-169.78	*****	363.63	44.03	73.13	*****	-153.87	0.01	0.04	*****	-0.12	0.07	0.13	*****	0.42	-0.08	-0.05	*****	0.04	0.06	0.04	*****	0.30
1967-12-	14	11	12	50		-101.20	-170.12	*****	363.16	44.09	73.16	*****	-153.98	-0.25	-0.31	*****	-0.51	0.17	0.18	*****	0.28	-0.34	-0.41	*****	-0.35	0.15	0.08	*****	0.16
1968-	1-18	9	55	4		*****	-125.10	-182.71	133.41	*****	57.96	74.33	-48.09	*****	0.05	-0.27	-0.36	*****	0.29	0.02	0.20	*****	-0.01	-0.14	-0.08	*****	0.08	-0.06	0.16
1968-	1-18	10	8	29		*****	-127.72	-181.03	131.30	*****	58.81	73.54	-47.43	*****	-0.29	-0.52	-0.68	*****	0.21	0.09	0.08	*****	-0.36	-0.39	-0.40	*****	0.01	0.01	0.03
1968-	1-18	10	11	19		*****	-127.88	-180.20	131.24	*****	59.02	73.46	-47.16	*****	0.02	-0.09	-0.36	*****	0.23	0.19	0.18	*****	-0.05	-0.04	-0.09	*****	0.02	0.11	0.13
1968-	1-27	6	24	54		-45.32	119.21	226.08	-27.31	22.07	-55.12	-101.35	1.32	-0.21	-0.07	-0.27	0.08	0.07	-0.19	0.10	0.02	-0.02	-0.04	-0.09	-0.11	-0.01	0.06	-0.00	-0.01
1968-	1-27	6	28	49		-46.40	119.78	226.49	-26.94	22.51	-55.51	-101.68	1.00	-0.23	-0.20	-0.35	-0.08	0.06	-0.29	-0.03	-0.06	-0.04	-0.18	-0.16	-0.27	-0.02	-0.05	-0.14	-0.09
1968-	1-27	6	31	59		-47.21	120.56	227.03	-26.27	22.95	-55.71	-101.71	0.83	-0.18	-0.00	-0.20	0.15	0.12	-0.26	0.09	-0.04	0.00	0.02	-0.01	-0.05	0.05	-0.02	-0.01	-0.07
1968-	2-7	6	6	24		-118.57	184.80	-272.75	-447.36	50.73	-79.62	118.95	197.13	0.09	-0.06	-0.12	-0.16	0.09	-0.16	0.02	-0.12	0.02	-0.01	0.03	0.01	0.05	0.03	-0.02	0.00
1968-	2-7	6	12	39		-118.28	185.29	-273.20	-447.66	50.35	-79.82	119.07	197.22	0.05	0.05	-0.03	0.04	-0.10	-0.24	-0.07	-0.22	-0.03	0.11	0.12	0.20	-0.14	-0.06	-0.11	-0.10
1968-	2-7	6	13	44		-118.13	185.21	-273.37	-447.81	50.46	-79.84	119.09	197.18	0.14	-0.09	-0.10	-0.02	0.03	-0.24	-0.08	-0.30	0.06	-0.04	0.05	0.15	0.00	-0.06	-0.12	-0.18
1968-	2-7	6	18	39		-117.90	185.62	-273.66	-448.12	50.23	-80.01	119.23	197.40	0.08	0.03	0.03	0.07	-0.04	-0.31	-0.10	-0.24	-0.00	0.08	0.18	0.23	-0.07	-0.13	-0.14	-0.11
1968-	2-17	6	13	24		48.17	32.62	141.70	543.50	-18.26	-18.85	-64.89	-229.38	-0.34	-0.09	-0.22	-0.18	0.08	-0.10	0.18	0.44	-0.12	-0.09	0.00	-0.17	0.05	0.12	0.06	0.26
1968-	2-17	6	16	24		47.75	33.60	142.47	543.94	-17.97	-19.41	-65.33	-229.56	0.08	0.17	0.04	0.27	0.01	-0.37	-0.05	0.24	0.29	0.17	0.26	0.28	-0.02	-0.15	-0.17	0.07
1968-	2-17	6	19	44		46.51	34.14	142.76	543.58	-17.47	-19.50	-65.43	-229.54	-0.24	-0.08	-0.22	-0.07	0.11	-0.12	0.08	0.25	-0.02	-0.08	-0.00	-0.06	0.07	0.10	-0.04	0.08
1968-	2-17	6	41	29		40.52	39.55	146.42	543.62	-14.60	-21.62	-66.85	-229.42	-0.11	0.20	-0.20	0.08	0.33	-0.13	0.15	0.26	0.11	0.20	0.02	0.09	0.29	0.09	0.03	0.08
1968-	2-17	6	43	49		39.60	39.78	146.87	543.38	-14.45	-21.69	-67.01	-229.34	-0.36	-0.12	-0.14	-0.15	0.18	0.03	0.16	0.33	-0.14	-0.12	0.08	-0.14	0.14	0.25	0.03	0.15
1968-	2-22	7	0	35		119.74	59.80	-303.94	-203.87	-50.45	-20.07	126.03	94.72	-0.04	-0.00	-0.07	-0.31	-0.24	-0.18	-0.02	-0.21	0.03	-0.05	0.01	-0.05	-0.20	-0.25	-0.05	-0.15
1968-	2-22	7	2	55		119.56	59.41	-303.75	-203.97	-50.28	-19.80	126.13	94.97	-0.09	0.13	0.03	-0.10	-0.14	-0.13	0.13	-0.09	-0.01	0.08	0.11	0.16	-0.11	-0.20	0.09	-0.03
1968-	2-22	7	5	20		119.29	58.76	-303.73	-204.45	-50.28	-19.47	125.88	95.07	-0.21	0.04	-0.04	-0.26	-0.22	-0.03	-0.08	-0.12	-0.13	-0.02	0.04	0.01	-0.19	-0.10	-0.11	-0.06
1968-	2-22	7	23	20		118.30	55.00	-303.12	-206.88	-49.65	-18.12	124.80	95.59	0.05	0.37	-0.12	-0.27	-0.23	-0.42	-0.80	-0.59	0.14	0.32	-0.04	-0.01	-0.20	-0.49	-0.84	-0.53
1968-	2-22	7	25	45		118.05	54.29	-302.87	-207.19	-49.44	-17.49	125.10	95.80	-0.00	0.21	-0.03	-0.26	-0.11	-0.02	-0.46	-0.52	-0.09	0.16	0.11	0.01	-0.08	-0.09	-0.49	-0.46
1968-	2-22	7	27	45		117.90	53.89	-303.00	-207.56	-49.17	-17.39	124.99	96.02	0.00	0.27	-0.18	-0.37	0.08	-0.12	-0.53	-0.41	0.09	0.22	-0.10	-0.10	0.11	-0.19	-0.56	-0.35
1968-	2-25	5	23	20		-43.03	190.55	289.21	-543.10	15.69	-78.43	-122.91	228.37	0.25	-0.16	-0.25	0.05	-0.28	-0.33	-0.12	0.07	0.02	-0.12	-0.08	0.11	-0.23	-0.21	-0.21	0.20
1968-	2-25	5	26	15		-42.36	190.48	289.30	-543.22	15.96	-77.82	-122.32	228.72	0.10	-0.10	-0.36	-0.03	0.35	0.22	0.54	0.41	-0.13	-0.07	-0.18	0.03	0.39	0.34	0.45	0.55
1968-	2-25	6	9	55		-29.64	188.54	292.43	-543.76	10.24	-76.98	-124.01	228.28	0.33	-0.03	-0.06	-0.18	-0.03	-0.05	-0.12	-0.06	0.10	0.00	0.11	-0.12	0.02	0.07	-0.20	0.07
1968-	2-25	6	12	57		-29.35	188.54	292.58	-543.58	9.89	-76.87	-123.73	228.24	-0.26	0.13	-0.11	0.03	-0.00	-0.03	0.22	-0.11	-0.49	0.16	0.06	0.09	0.05	0.09	0.14	0.02
1968-	2-26	4	26	29		*****	-56.69	274.50	-521.21	*****	28.63	-111.63	215.20	*****	0.10	-0.27	-0.00	*****	0.20	0.14	-0.08	*****	0.01	-0.13	-0.02	*****	0.03	0.09	0.03
1968-	2-26	4	27	29		*****	-56.86	274.60	-521.09	*****	28.67	-111.61	215.22	*****	0.16	-0.08	0.08	*****	0.15	0.12	-0.04	*****	0.07	0.06	0.06	*****	-0.02	0.07	0.07
1968-	2-26	4	28	44		*****	-57.38	274.21	-521.19	*****	28.71	-111.55	215.11	*****	-0.07	-0.37	-0.07	*****	0.08	0.13									

date (UT)					Coordonnées observées									Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1968	3	19	3	33	35	-65.63	-190.15	172.59	358.20	25.17	77.21	-66.17	-152.68	0.19	0.15	-0.24	0.09	-0.08	0.07	-0.20	-0.19	-0.02	0.04	-0.08	-0.08	-0.06	-0.12	-0.23	-0.30
1968	3	29	3	13	35	-38.13	-60.11	-281.56	-513.61	17.41	28.44	112.02	209.17	-0.15	0.22	0.06	-0.03	0.10	0.16	0.27	0.17	0.04	0.12	0.10	0.06	0.03	-0.00	0.25	0.30
1968	3	29	3	14	50	-38.53	-60.42	-281.52	-513.55	17.54	28.49	111.95	209.06	-0.21	0.18	0.02	0.06	0.09	0.11	0.23	0.05	-0.01	0.07	0.07	0.14	0.03	-0.06	0.21	0.19
1968	3	29	3	16	0	-38.80	-60.66	-281.42	-513.63	17.74	28.71	111.92	209.17	-0.16	0.19	0.06	0.01	0.17	0.23	0.23	0.15	0.04	0.09	0.10	0.10	0.06	0.06	0.21	0.29
1968	3	29	3	17	10	-39.18	-60.89	-281.39	-513.63	17.72	28.72	111.81	209.10	-0.22	0.21	0.01	0.04	0.01	0.14	0.15	0.07	-0.02	0.10	0.06	0.12	-0.05	-0.02	0.13	0.21
1968	3	29	4	53	31	-64.21	-81.28	-275.39	-516.11	27.62	36.63	108.95	209.40	-0.29	0.07	-0.15	-0.27	-0.02	0.16	0.03	-0.30	-0.13	-0.04	-0.11	-0.19	-0.10	-0.02	0.01	-0.16
1968	3	29	4	54	25	-64.38	-81.41	-275.28	-516.03	27.87	36.63	108.84	209.48	-0.24	0.13	-0.11	-0.17	0.14	0.09	-0.04	-0.22	-0.08	0.02	-0.06	-0.09	0.07	-0.07	-0.07	-0.08
1968	3	29	4	55	20	-64.42	-81.66	-275.20	-516.09	27.81	36.57	108.78	209.29	-0.06	0.07	-0.09	-0.21	-0.01	-0.05	-0.08	-0.41	0.10	-0.04	-0.05	-0.13	-0.09	-0.23	-0.10	-0.28
1968	3	29	4	56	15	-64.73	-81.80	-275.12	-516.03	27.87	36.67	108.70	209.29	-0.15	0.11	-0.07	-0.13	-0.04	-0.02	-0.13	-0.42	0.01	0.00	-0.03	-0.05	-0.11	-0.20	-0.16	-0.28
1968	4	12	1	59	0	42.44	*****	-287.36	-177.94	-15.49	*****	114.81	77.98	-0.46	*****	-0.09	-0.35	0.18	*****	0.30	0.13	-0.25	*****	-0.01	-0.10	0.15	*****	0.28	0.17
1968	4	12	1	59	35	42.65	*****	-287.28	-177.78	-15.55	*****	114.74	77.96	-0.10	*****	-0.02	-0.11	0.07	*****	0.23	0.09	0.11	*****	0.06	0.14	0.04	*****	0.21	0.13
1968	4	12	2	0	15	42.51	*****	-287.31	-177.92	-15.29	*****	114.87	78.18	-0.07	*****	-0.05	-0.17	0.25	*****	0.36	0.27	0.14	*****	0.03	0.08	0.22	*****	0.34	0.31
1968	4	12	2	1	2	42.03	*****	-287.28	-178.09	-15.43	*****	114.72	78.05	-0.34	*****	-0.02	-0.24	0.03	*****	0.22	0.10	-0.13	*****	0.06	0.01	0.00	*****	0.20	0.15
1968	4	12	2	1	55	41.71	*****	-287.38	-178.40	-15.14	*****	114.88	78.28	-0.44	*****	-0.13	-0.44	0.22	*****	0.39	0.29	-0.23	*****	-0.05	-0.19	0.19	*****	0.36	0.33
1968	4	12	2	2	50	41.48	*****	-287.28	-178.33	-15.14	*****	114.88	78.21	-0.42	*****	-0.04	-0.26	0.12	*****	0.39	0.18	-0.22	*****	0.05	-0.01	0.09	*****	0.36	0.22
1968	4	12	2	49	35	29.30	*****	-287.04	-184.23	-10.12	*****	114.25	80.34	-0.19	*****	-0.13	-0.34	0.07	*****	0.02	0.02	0.02	*****	-0.06	-0.09	0.03	*****	-0.00	0.06
1968	4	12	2	50	25	29.13	*****	-287.03	-184.33	-10.14	*****	114.11	80.17	-0.13	*****	-0.13	-0.34	-0.04	*****	-0.12	-0.20	0.08	*****	-0.05	-0.10	-0.08	*****	-0.14	-0.16
1968	4	17	1	50	55	111.25	-116.15	84.61	-387.86	-44.96	42.97	-29.98	150.82	0.02	-0.08	-0.18	0.01	-0.25	-0.06	-0.12	-0.12	0.07	-0.12	0.03	-0.07	-0.20	-0.05	-0.17	-0.04
1968	4	17	1	51	40	111.46	-115.76	84.57	-387.67	-44.69	43.03	-29.69	150.94	0.24	0.19	-0.10	0.13	0.01	0.06	0.12	0.03	0.29	0.15	0.11	0.06	0.06	0.07	0.07	0.11
1968	4	17	1	52	30	111.33	-115.65	84.46	-387.59	-44.86	42.76	-29.85	150.74	0.14	0.16	-0.06	0.15	-0.16	-0.16	-0.10	-0.15	0.18	0.11	0.15	0.07	-0.11	-0.14	-0.15	-0.07
1968	4	17	1	53	40	111.23	-115.65	84.15	-387.53	-44.80	42.76	-29.71	150.86	0.06	-0.04	-0.18	0.11	-0.11	-0.07	-0.03	0.01	0.10	-0.08	0.03	0.04	-0.06	-0.06	-0.08	0.09
1968	4	17	1	54	45	111.19	-115.32	84.01	-387.49	-44.77	42.65	-29.63	150.73	0.04	0.11	-0.15	0.07	-0.11	-0.10	-0.02	-0.08	0.08	0.07	0.06	-0.01	-0.06	-0.09	-0.07	0.00
1968	4	22	2	0	10	59.52	166.91	226.95	406.78	-25.58	-64.99	-92.72	-166.27	0.06	0.01	-0.16	0.20	-0.22	-0.14	0.01	0.20	-0.10	0.03	0.01	0.08	-0.15	-0.04	-0.08	0.08
1968	4	22	2	2	5	59.87	166.56	227.07	406.73	-25.35	-64.77	-92.58	-166.24	-0.02	-0.22	-0.23	0.02	0.18	0.02	0.23	0.29	-0.18	-0.20	-0.06	-0.10	0.25	0.12	0.14	0.17
1968	4	22	2	3	41	60.41	166.66	227.32	406.86	-25.50	-64.72	-92.64	-166.14	0.16	-0.01	-0.13	0.03	0.17	0.02	0.22	0.43	-0.01	0.01	0.03	-0.09	0.25	0.12	0.13	0.31
1968	4	22	2	5	10	60.69	166.65	227.55	407.15	-25.84	-64.79	-92.87	-166.44	0.10	0.07	-0.05	0.22	-0.04	-0.10	0.05	0.17	-0.06	0.09	0.12	0.10	0.03	0.00	-0.04	0.05
1968	5	9	1	33	31	-96.77	79.35	-39.32	410.52	39.72	-34.90	19.13	-168.06	-0.01	-0.03	-0.17	0.17	-0.01	-0.29	-0.13	-0.12	0.03	0.03	0.02	0.07	-0.08	-0.13	-0.18	-0.25
1968	5	9	1	35	36	-97.08	79.78	-39.94	410.58	39.89	-35.05	19.34	-168.04	-0.13	0.03	-0.46	0.11	0.08	-0.29	-0.06	-0.05	-0.08	0.09	-0.27	0.01	0.01	-0.13	-0.10	-0.18
1968	5	9	1	37	1	-97.14	80.03	-40.28	410.79	39.84	-35.13	19.40	-168.06	-0.06	0.03	-0.57	0.24	-0.01	-0.27	-0.09	-0.04	-0.01	0.08	-0.37	0.14	-0.08	-0.11	-0.13	-0.17
1968	5	31	2	13	4	71.92	154.13	-142.49	34.68	-30.59	-61.86	60.84	-8.39	0.16	0.09	-0.26	-0.23	0.01	-0.08	-0.01	0.14	0.05	0.13	-0.07	0.01	0.08	0.02	-0.06	0.12
1968	5	31	2	14	19	71.97	153.92	-142.72	34.47	-30.80	-61.76	61.00	-8.39	-0.00	-0.08	-0.34	-0.30	-0.12	0.01	0.09	0.08	-0.11	-0.04	-0.15	-0.06	-0.04	0.11	0.04	0.06
1968	5	31	2	15	4	72.22	153.92	-142.66	34.41	-30.61	-61.67	61.04	-8.24	0.13	-0.05	-0.18	-0.27	0.11	0.08	0.10	0.19	0.02	-0.02	0.01	-0.04	0.19	0.18	0.05	0.17
1968	5	31	2	15	54	72.40	154.02	-142.72	34.39	-30.76	-61.88	61.02	-8.28	0.18	0.08	-0.14	-0.20	0.02	-0.14	0.04	0.11	0.08	0.11	0.05	0.04	0.10	-0.04	-0.01	0.09
1968	6	7	1	39	57	42.12	152.59	-103.75	-241.65	-18.97	-62.78	45.75	94.95	-0.15	-0.17	-0.19	-0.03	-0.06	-0.24	0.03	-0.03	-0.30	-0.12	0.02	-0.13	0.02	-0.12	-0.03	0.00
1968	6	7	1	39	47	42.39	152.84	-103.90	-241.71	-18.84	-62.53	45.73	95.00	0.16	0.08	-0.36	-0.08	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01	0.13	-0.15	-0.18	0.13	0.13	-0.04	0.04
1968	6	7	1	40	42	42.48	152.61	-104.11	-241.71	-19.09	-62.74	45.77	94.95	0.05	-0.16	-0.44	-0.16	-0.12	-0.19	0.01	-0.00	-0.10	-0.11	-0.23	-0.27	-0.04	-0.08	-0.05	0.03
1968	6	7	1	41	42	42.75	152.71	-104.19	-241.57	-19.22	-62.68	45.67	94.66	0.11	-0.07	-0.39	-0.11	-0.16	-0.13	-0.15	-0.26	-0.04	-0.02	-0.18	-0.21	-0.08	-0.01	-0.21	-0.22
1968	6	7	1	58	30	46.30	153.12	-106.25	-239.86	-20.60	-62.69	46.72	94.01	0.18	0.16	-0.22	0.06	-0.12	-0.14	-0.00	-0.26	0.03	0.20	-0.01	-0.04	-0.05	-0.02	-0.06	-0.23
1968	6	7	1	59	20	46.47	152.91	-106.56	-239.92	-20.66	-62.48	46.76	94.09	0.18	-0.06	-0.42	-0.08	-0.11	0.07	-0.01	-0.15	0.03	-0.01	-0.21	-0.18	-0.04	0.19	-0.06	-0.11
1968	6	7	2	0	15	46.63	152.89	-106.67	-239.98	-20.91	-62.67	46.74	94.05	0.15	-0.09	-0.40	-0.22	-0.28	-0.12	-0.08	-0.15	0.01	-0.04	-0.20	-0.32	-0.21	-0.00	-0.13	-0.12
1968	6	7	2	1	15	46.70	152.93	-106.75	-239.90	-20.64	-62.65	46.91	93.95	0.01	-0.05	-0.36	-0.23	0.07	-0.10	0.03	-0.22	-0.14	-0.00	-0.15	-0.33	0.14	0.02	-0.02	-0.19
1968	6	7	2	17	45	50.17	153.19	-108.82	-238.20	-22.23	-62.79	47.77	93.27	0.15	0.11	-0.24	-0.04	-0.17	-0.26	0.01	-0.26	0.01	0.16	-0.03	-0.14	-0.09	-0.14	-0.04	-0.23
1968	6	7	2	18	50	50.50	153.28	-108.88	-237.91	-22.36	-62.62	47.85	93.21	0.27	0.19	-0.16	0.15	-0.20	-0.09	0.04	-0.28	0.13	0.23	0.05	-0.05	-0.13	0.02	-0.02	-0.25
1968	6	7	2	19	35	50.54	153.09	-109.09	-238.10	-22.31	-62.58	47.71	93.21	0.16	-0.00	-0.27	-0.11	-0.10	-0.05	-0.15	-0.25	0.02	0.05	-0.06	-0.21	-0.02	0.06	-0.20	-0.22
1968	6	7	2	20	25	50.59	153.13	-109.21	-238.04	-22.19	-62.47	47.98	93.41	0.04	0														

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1973	7	28	5	52	49	-132.18	123.03	*****	-213.93	-39.14	36.71	*****	-67.43	-0.08	-0.02	*****	0.39	0.04	-0.09	*****	0.12	-0.01	0.00	*****	0.00	0.03	0.07	*****	-0.02
1973	7	28	5	54	4	-132.32	122.78	*****	-213.76	-39.19	36.68	*****	-67.35	-0.11	0.02	*****	0.37	0.02	-0.03	*****	0.15	-0.05	0.04	*****	-0.01	0.01	0.13	*****	0.01
1973	8	6	4	31	46	-136.41	-91.56	-346.88	59.25	-39.61	-26.84	-99.58	21.90	-0.08	-0.01	-0.33	-0.19	0.19	0.26	0.15	0.24	-0.10	-0.07	-0.38	0.00	0.13	0.11	0.15	0.24
1973	8	6	4	32	46	-136.17	-91.24	-346.30	59.12	-39.66	-26.76	-99.49	21.64	0.13	0.07	0.24	-0.16	0.13	0.27	0.24	0.02	0.11	0.01	0.19	0.03	0.08	0.12	0.23	0.03
1973	8	6	4	34	1	-136.11	-90.94	-346.38	58.96	-39.55	-26.71	-99.53	21.56	0.14	0.07	0.14	-0.12	0.23	0.24	0.19	0.00	0.12	0.02	0.09	0.07	0.18	0.10	0.19	0.01
1973	8	6	4	52	1	-135.47	-86.69	-346.26	56.01	-39.53	-25.60	-99.56	20.65	0.00	-0.05	-0.02	-0.20	0.07	0.13	0.11	-0.08	-0.03	-0.11	-0.07	-0.01	0.01	-0.02	0.11	-0.07
1973	8	6	4	53	21	-135.37	-86.32	-346.15	55.81	-39.27	-25.28	-99.43	20.78	0.04	-0.01	0.08	-0.19	0.32	0.36	0.23	0.11	0.01	-0.07	0.03	-0.00	0.26	0.21	0.23	0.12
1973	8	6	4	54	31	-135.34	-85.99	-346.11	55.69	-39.39	-25.40	-99.54	20.57	0.01	0.04	0.09	-0.12	0.18	0.16	0.12	-0.04	-0.02	-0.02	0.05	0.07	0.12	0.01	0.12	-0.04
1973	8	27	3	2	47	-84.39	-184.60	-318.81	-600.59	-22.20	-49.68	-85.20	-163.30	-0.05	0.02	0.27	0.12	0.05	0.17	0.41	0.38	0.15	-0.05	0.13	0.09	0.11	0.16	0.35	0.18
1973	8	27	3	5	32	-85.17	-184.06	-319.01	-600.53	-22.37	-49.50	-85.30	-163.22	-0.13	0.20	0.26	0.19	0.08	0.26	0.37	0.46	0.07	0.13	0.12	0.16	0.13	0.24	0.31	0.27
1973	8	27	3	6	52	-85.34	-183.87	-319.19	-600.57	-22.75	-49.82	-85.75	-163.56	0.03	0.21	0.19	0.16	-0.21	-0.10	-0.06	0.12	0.23	0.14	0.05	0.13	-0.15	-0.12	-0.11	-0.07
1973	8	27	3	24	32	-89.90	-181.38	-320.35	-600.73	-23.66	-48.90	-85.89	-163.47	-0.11	0.32	0.27	0.07	0.13	0.21	0.17	0.26	0.09	0.25	0.13	0.04	0.18	0.19	0.12	0.06
1973	8	27	3	27	12	-90.37	-181.01	-320.39	-600.54	-23.78	-48.72	-85.76	-163.32	0.07	0.33	0.41	0.28	0.19	0.29	0.35	0.41	0.26	0.26	0.27	0.25	0.24	0.27	0.30	0.21
1973	8	27	3	28	22	-90.82	-180.92	-320.64	-600.69	-23.99	-48.83	-85.92	-163.44	-0.10	0.25	0.24	0.13	0.06	0.15	0.22	0.30	0.09	0.18	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.10
1973	8	27	3	45	12	-94.82	-178.73	-321.88	-600.86	-25.19	-48.32	-86.35	-163.41	-0.08	0.09	0.15	0.03	-0.00	0.05	0.12	0.36	0.10	0.01	0.01	-0.01	0.04	0.03	0.07	0.17
1973	8	27	3	46	32	-95.27	-178.54	-321.98	-600.86	-25.08	-48.17	-86.25	-163.30	-0.22	0.08	0.14	0.03	0.20	0.16	0.25	0.47	-0.04	0.01	-0.00	-0.00	0.24	0.13	0.19	0.27
1973	8	27	3	47	37	-95.47	-178.42	-322.07	-600.95	-25.46	-48.24	-86.43	-163.55	-0.17	0.05	0.13	-0.06	-0.11	0.05	0.09	0.22	0.01	-0.02	-0.01	-0.09	-0.07	0.02	0.04	0.03
1973	8	28	2	59	30	118.46	138.91	-294.16	-565.91	32.00	35.97	-80.84	-155.38	0.28	0.16	0.14	0.27	0.14	0.39	0.12	0.33	0.16	0.13	0.14	0.12	0.13	0.13	0.15	0.12
1973	8	28	3	2	55	118.81	139.43	-293.98	-565.92	32.19	36.27	-80.59	-155.14	0.11	0.00	-0.05	0.08	0.17	0.50	0.28	0.52	-0.00	-0.02	-0.05	-0.07	0.16	0.24	0.31	0.31
1973	8	28	3	4	25	119.04	139.72	-293.68	-565.66	32.24	36.17	-80.66	-155.22	0.12	-0.00	0.10	0.26	0.16	0.33	0.16	0.42	0.00	-0.03	0.10	0.11	0.15	0.07	0.20	0.21
1973	8	28	3	20	10	121.45	142.79	-292.10	-564.87	32.90	37.01	-80.26	-154.99	0.24	-0.01	0.02	0.21	0.15	0.33	0.14	0.44	0.13	-0.03	0.02	0.06	0.14	0.07	0.17	0.23
1973	8	28	3	21	55	121.62	143.13	-291.96	-564.95	33.06	37.20	-80.14	-154.97	0.17	-0.01	-0.03	0.03	0.25	0.43	0.20	0.44	0.06	-0.03	-0.02	-0.12	0.24	0.17	0.24	0.23
1973	8	28	3	23	20	121.78	143.44	-291.68	-564.61	33.01	37.11	-80.05	-154.96	0.13	0.03	0.10	0.30	0.13	0.27	0.25	0.43	0.03	0.01	0.11	0.15	0.13	0.01	0.29	0.22
1973	8	28	3	25	15	121.89	143.80	-291.62	-564.56	33.04	37.31	-80.12	-154.97	-0.02	0.02	-0.05	0.25	0.09	0.37	0.13	0.39	-0.13	-0.00	-0.05	0.10	0.09	0.11	0.17	0.18
1973	9	1	2	37	20	59.20	211.23	214.34	159.65	17.09	55.46	59.55	38.25	-0.30	-0.18	-0.04	0.35	-0.18	0.08	-0.02	-0.01	-0.07	-0.15	-0.05	-0.04	-0.07	-0.06	-0.08	-0.02
1973	9	1	2	49	37	55.50	211.52	212.20	161.37	16.18	55.50	59.20	38.70	-0.39	-0.18	-0.21	0.23	-0.12	0.02	0.14	-0.06	-0.15	-0.15	-0.22	-0.16	-0.01	-0.11	0.08	-0.08
1973	9	17	1	58	14	34.17	-203.16	-231.15	*****	10.24	-51.97	-58.39	*****	-0.32	0.14	0.22	*****	-0.11	-0.02	0.16	*****	-0.07	0.09	0.07	*****	-0.03	0.09	0.08	*****
1973	9	17	1	59	19	33.85	-203.26	-231.35	*****	10.35	-52.00	-58.45	*****	-0.32	0.06	0.17	*****	0.09	-0.04	0.14	*****	-0.07	0.01	0.02	*****	0.19	0.06	0.06	*****
1973	9	17	2	0	19	33.49	-203.31	-231.50	*****	10.14	-52.04	-58.43	*****	-0.36	0.03	0.16	*****	-0.04	-0.07	0.20	*****	-0.11	-0.02	0.01	*****	0.07	0.03	0.12	*****
1973	9	17	2	14	4	29.42	-203.44	-233.34	*****	8.98	-52.30	-59.19	*****	-0.25	0.12	0.23	*****	-0.10	-0.25	-0.05	*****	0.00	0.07	0.07	*****	0.00	-0.14	-0.13	*****
1973	9	17	2	15	9	29.07	-203.56	-233.56	*****	8.98	-52.15	-59.03	*****	-0.26	0.02	0.15	*****	-0.02	-0.09	0.15	*****	-0.01	-0.03	0.00	*****	0.09	0.01	0.07	*****
1973	9	28	0	53	59	-99.79	-177.30	263.79	-471.72	-25.54	-45.89	67.23	-120.53	-0.15	0.18	0.09	0.10	-0.01	-0.00	0.17	0.16	-0.00	0.10	0.05	0.19	0.02	-0.00	0.19	0.02
1973	9	28	0	55	14	-100.04	-177.29	263.82	-471.92	-25.59	-45.91	67.07	-120.49	-0.17	0.05	-0.01	0.0	0.01	-0.05	-0.02	0.23	-0.02	-0.03	-0.06	0.09	0.03	-0.05	-0.00	0.09
1973	9	28	0	56	19	-100.26	-177.16	263.83	-472.08	-25.59	-45.78	67.19	-120.48	-0.20	0.07	-0.11	-0.08	0.06	0.05	0.07	0.26	-0.05	-0.01	-0.16	0.01	0.09	0.05	0.08	0.12
1973	9	28	0	57	19	-100.38	-177.13	263.93	-472.12	-25.56	-45.76	67.13	-120.51	-0.14	-0.01	-0.12	-0.04	0.14	0.05	-0.02	0.26	0.01	-0.09	-0.17	0.04	0.16	0.05	-0.00	0.11
1973	9	28	1	11	14	-102.99	-175.63	265.28	-473.17	-26.87	-45.65	67.48	-121.14	-0.31	-0.04	-0.21	-0.05	-0.49	-0.21	-0.07	-0.08	-0.16	-0.12	-0.26	0.04	-0.47	-0.21	-0.05	-0.23
1973	9	28	1	12	19	-103.04	-175.36	265.47	-473.16	-26.52	-45.60	67.62	-121.08	-0.18	0.10	-0.13	0.04	-0.09	-0.19	0.04	-0.01	-0.04	0.02	-0.18	0.12	-0.07	-0.19	0.06	-0.15
1973	9	28	1	13	19	-103.23	-175.25	265.67	-473.27	-26.39	-45.41	67.70	-120.92	-0.19	0.11	-0.04	0.01	0.08	-0.02	0.09	0.18	-0.05	0.03	-0.03	0.09	0.10	-0.03	0.11	0.03
1973	10	5	0	0	15	-61.03	-189.45	225.86	252.63	-15.05	-48.65	57.08	61.85	-0.14	0.13	0.02	0.20	-0.02	0.04	0.09	0.00	0.08	0.06	-0.04	-0.13	0.04	0.08	0.11	0.03
1973	10	5	0	1	15	-61.42	-189.56	225.95	252.76	-15.07	-48.60	57.08	61.81	-0.27	-0.03	-0.02	0.20	0.04	0.08	0.06	-0.07	-0.05	-0.10	-0.09	-0.12	0.10	0.12	0.03	-0.04
1973	10	5	0	2	20	-61.82	-189.62	225.96	252.85	-15.25	-48.73	57.16	61.90	-0.39	-0.14	-0.15	0.16	-0.07	-0.06	0.10	-0.01	-0.18	-0.21	-0.22	-0.16	-0.01	-0.01	0.12	0.01
1973	10	5	0	3	20	-61.93	-189.42	226.18	253.07	-15.29	-48.76	57.03	61.89	-0.25	0.00	-0.06	0.25	-0.04	-0.11	-0.07	-0.06	-0.03	-0.06	-0.12	-0.07	0.02	-0.06	-0.05	-0.03
1973	10	5	0	14	15	-64.76	-188.81	227.55	254.45	-15.97	-48.62	57.60	62.35	-0.29	0.04	-0.07	0.27	0.03	-0.09	0.13	0.04	-0.08	-0.02	-0.13	-0.05	0.09	-0.05	0.15	0.06
1973	10	5	0	15	15	-65.01	-188.80	227.75	254.49	-16.05	-48.53	57.59	62.35	-0.28	0.00	0.00	0.18	0.02	-0.01	0.08	0.01	-0.07	-0.07	-0.06	-0.14	0.07	0.03	0.10	0.04
1973	10	5	0	17	30	-65.46	-188.61	228.05	254.98	-16.29	-48.55	57.50	62.30																

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1974	7	21	8	37	10	*****	151.87	102.14	534.56	*****	73.70	37.82	244.67	*****	-0.15	0.16	-0.27	*****	0.01	0.09	-0.22	*****	-0.13	-0.01	-0.23	*****	-0.05	-0.04	-0.15
1974	7	21	8	38	0	*****	151.88	101.90	534.36	*****	73.72	37.67	244.62	*****	-0.27	0.07	-0.43	*****	-0.02	0.02	-0.25	*****	-0.25	-0.10	-0.39	*****	-0.08	-0.12	-0.19
1974	7	21	8	39	0	*****	152.10	101.76	534.42	*****	73.75	37.59	244.60	*****	-0.20	0.11	-0.35	*****	-0.06	0.02	-0.25	*****	-0.18	-0.06	-0.31	*****	-0.12	-0.11	-0.18
1974	7	21	8	56	45	*****	154.82	98.54	533.74	*****	74.79	35.96	244.17	*****	-0.19	0.11	-0.41	*****	-0.18	-0.07	-0.31	*****	-0.17	-0.06	-0.37	*****	-0.23	-0.20	-0.25
1974	7	21	8	58	0	*****	154.98	98.20	533.83	*****	74.98	36.10	244.32	*****	-0.22	0.00	-0.28	*****	-0.08	0.18	-0.13	*****	-0.20	-0.17	-0.24	*****	-0.13	0.04	-0.07
1974	7	21	8	59	20	*****	155.19	97.98	533.69	*****	74.99	35.75	244.18	*****	-0.21	0.02	-0.37	*****	-0.15	-0.06	-0.25	*****	-0.19	-0.16	-0.33	*****	-0.20	-0.19	-0.18
1974	9	2	5	19	49	132.11	209.51	104.05	-435.00	60.76	96.25	37.19	-186.59	0.08	-0.09	0.20	0.47	0.02	-0.03	0.16	0.08	0.11	-0.10	0.04	0.19	0.03	0.02	0.02	-0.05
1974	9	2	5	20	29	132.10	209.61	104.02	-434.85	60.75	96.36	37.22	-186.40	0.07	-0.01	0.30	0.54	0.03	0.08	0.24	0.22	0.11	-0.02	0.14	0.26	0.03	0.13	0.10	0.10
1974	9	2	5	21	15	131.82	209.55	103.67	-434.95	60.56	96.11	36.91	-186.62	-0.19	-0.12	0.10	0.37	-0.14	-0.19	0.00	-0.03	-0.16	-0.13	-0.06	0.08	-0.13	-0.14	-0.13	-0.16
1974	9	2	5	22	24	131.83	209.58	103.45	-434.80	60.74	96.27	36.92	-186.49	-0.16	-0.14	0.10	0.39	0.06	-0.04	0.12	0.04	-0.12	-0.15	-0.06	0.11	0.07	0.01	-0.02	-0.09
1974	9	2	5	34	49	131.56	210.10	100.96	-433.46	60.49	96.55	35.88	-185.93	-0.15	-0.21	0.06	0.41	0.09	0.06	0.23	-0.06	-0.11	-0.22	-0.10	0.13	0.10	0.11	0.09	-0.18
1974	9	2	5	35	29	131.60	210.24	101.04	-433.27	60.49	96.65	35.81	-185.82	-0.08	-0.10	0.28	0.53	0.10	0.15	0.22	0.02	-0.04	-0.11	0.11	0.25	0.11	0.20	0.08	-0.11
1974	9	2	5	36	14	131.52	210.28	100.72	-433.17	60.34	96.46	35.67	-185.75	-0.15	-0.09	0.11	0.55	-0.03	-0.04	0.15	0.05	-0.10	-0.10	-0.06	0.27	-0.02	0.01	0.01	-0.07
1974	9	2	5	50	13	131.04	210.83	98.02	-431.77	60.10	96.79	34.61	-184.99	-0.14	-0.13	0.16	0.47	0.12	0.11	0.37	0.07	-0.09	-0.14	-0.00	0.18	0.13	0.17	0.24	-0.06
1974	9	2	5	51	38	130.96	210.88	97.64	-431.65	60.05	96.77	34.31	-184.96	-0.16	-0.14	0.07	0.43	0.10	0.07	0.21	0.02	-0.10	-0.15	-0.10	0.15	0.12	0.13	0.07	-0.10
1974	9	10	4	10	44	-133.09	53.96	-133.40	483.04	-60.93	18.67	-70.55	209.07	0.05	0.16	0.32	-0.23	0.11	-0.14	0.25	-0.11	0.03	0.02	0.05	-0.09	0.11	0.09	0.11	-0.06
1974	9	10	4	12	29	-132.99	53.53	-133.65	482.86	-60.83	18.40	-70.71	209.01	0.14	0.17	0.39	-0.25	0.18	-0.20	0.24	-0.09	0.12	0.03	0.13	-0.11	0.18	0.03	0.10	-0.04
1974	9	10	4	13	29	-133.05	53.26	-133.90	482.78	-60.84	18.30	-70.73	208.81	0.06	0.15	0.33	-0.25	0.15	-0.19	0.30	-0.24	0.04	0.01	0.07	-0.11	0.15	0.05	0.16	-0.19
1974	9	10	4	26	19	-132.74	50.06	-136.29	481.64	-60.54	16.85	-71.85	208.36	0.15	0.21	0.37	-0.22	0.20	-0.15	0.25	-0.11	0.11	0.08	0.11	-0.08	0.20	0.09	0.11	-0.06
1974	9	10	4	27	9	-132.88	49.74	-136.57	481.52	-60.54	16.76	-71.90	208.37	-0.01	0.11	0.26	-0.26	0.19	-0.14	0.26	-0.06	-0.04	-0.03	-0.01	-0.12	0.18	0.09	0.13	-0.01
1974	9	10	4	27	49	-132.85	49.58	-136.67	481.51	-60.58	16.73	-71.93	208.37	0.00	0.12	0.28	-0.21	0.13	-0.09	0.29	-0.03	-0.03	-0.02	0.02	-0.07	0.13	0.14	0.16	0.02
1974	9	10	4	28	44	-132.77	49.23	-136.78	481.35	-60.58	16.56	-72.06	208.30	0.06	-0.00	0.35	-0.29	0.11	-0.16	0.24	-0.06	0.03	-0.14	0.08	-0.15	0.10	0.07	0.11	-0.01
1974	9	10	4	41	34	-132.36	46.09	-139.27	480.17	-60.20	15.08	-73.13	207.66	0.08	0.14	0.28	-0.30	0.17	-0.14	0.24	-0.11	0.04	0.00	0.01	-0.16	0.16	0.09	0.10	-0.05
1974	9	10	4	42	19	-132.37	45.87	-139.44	480.09	-60.36	14.85	-73.35	207.62	0.05	0.11	0.24	-0.30	-0.00	-0.27	0.07	-0.11	0.01	-0.03	-0.03	-0.16	-0.01	-0.04	-0.06	-0.06
1974	9	10	4	43	4	-132.39	45.60	-139.56	479.91	-60.20	14.87	-73.23	207.66	-0.00	0.04	0.26	-0.42	0.13	-0.17	0.26	-0.04	-0.05	-0.10	-0.01	-0.28	0.13	0.06	0.12	0.01
1974	9	10	4	43	49	-132.35	45.49	-139.70	479.92	-60.25	14.61	-73.36	207.47	0.02	0.12	0.27	-0.34	0.06	-0.34	0.19	-0.19	-0.03	-0.02	0.00	-0.20	0.05	-0.11	0.06	-0.14
1974	9	12	4	15	56	-86.02	38.52	-277.90	114.89	-36.08	23.19	-120.35	33.34	0.28	-0.13	0.36	-0.26	0.09	0.14	0.11	0.08	0.07	-0.04	0.22	0.00	0.03	-0.02	0.13	0.05
1974	9	12	4	16	41	-85.89	38.82	-277.88	114.82	-36.02	23.30	-120.27	33.26	0.23	-0.02	0.29	-0.21	0.06	0.16	0.15	0.05	0.02	0.07	0.15	0.05	0.00	-0.00	0.16	0.02
1974	9	12	4	17	31	-85.60	39.01	-277.81	114.67	-35.81	23.42	-120.22	33.21	0.31	-0.04	0.26	-0.23	0.17	0.19	0.15	0.06	0.10	0.05	0.12	0.03	0.11	0.03	0.17	0.02
1974	9	12	4	18	16	-85.43	39.21	-277.70	114.60	-35.71	23.48	-120.26	33.11	0.29	-0.04	0.29	-0.19	0.17	0.16	0.06	0.02	0.07	0.05	0.14	0.07	0.11	-0.00	0.08	-0.02
1974	9	12	4	19	11	-85.24	39.43	-277.67	114.45	-35.71	23.51	-120.26	33.02	0.25	-0.04	0.21	-0.20	0.07	0.09	0.01	-0.01	0.04	0.05	0.07	0.06	0.01	-0.07	0.02	-0.05
1974	9	12	4	31	12	-82.11	42.49	-276.21	112.61	-34.17	24.94	-119.50	32.26	0.33	-0.04	0.26	-0.21	0.12	0.16	0.06	0.07	0.11	0.05	0.11	0.06	0.06	-0.00	0.08	0.04
1974	9	12	4	32	11	-81.94	42.68	-276.08	112.46	-34.01	25.09	-119.37	32.20	0.25	-0.10	0.27	-0.21	0.15	0.20	0.13	0.08	0.03	-0.01	0.13	0.05	0.09	0.04	0.15	0.05
1974	9	12	4	32	56	-81.66	42.89	-275.92	112.37	-33.92	25.11	-119.40	32.11	0.33	-0.08	0.34	-0.18	0.15	0.13	0.06	0.05	0.11	0.01	0.19	0.08	0.09	-0.03	0.07	0.01
1974	9	12	4	33	41	-81.43	43.05	-275.86	112.21	-33.85	25.30	-119.31	32.06	0.36	-0.11	0.31	-0.23	0.13	0.24	0.10	0.05	0.14	-0.02	0.17	0.03	0.07	0.08	0.12	0.01
1974	9	12	4	34	31	-81.31	43.31	-275.77	112.09	-33.76	25.23	-119.27	31.97	0.27	-0.06	0.31	-0.22	0.11	0.08	0.09	0.01	0.05	0.03	0.17	0.04	0.05	-0.08	0.11	-0.02
1974	9	15	4	28	59	-72.28	-146.17	334.89	-478.30	-36.76	-61.44	151.08	-229.08	-0.25	-0.14	0.09	-0.41	-0.01	0.19	0.30	0.02	-0.02	-0.07	0.04	-0.21	0.06	0.02	0.22	-0.11
1974	9	15	4	29	44	-72.55	-146.07	334.92	-478.36	-37.04	-61.59	150.83	-229.20	-0.31	-0.18	0.14	-0.40	-0.20	-0.02	0.06	-0.07	-0.08	-0.11	0.09	-0.20	-0.12	-0.19	-0.02	-0.20
1974	9	15	4	30	34	-72.72	-145.85	334.94	-478.35	-37.09	-61.42	150.84	-229.24	-0.26	-0.11	0.18	-0.31	-0.15	0.07	0.09	-0.08	-0.03	-0.05	0.13	-0.12	-0.08	-0.10	0.00	-0.21
1974	9	15	4	43	44	-76.32	-143.38	334.55	-479.60	-38.43	-60.21	150.69	-229.48	-0.29	-0.11	0.09	-0.36	0.06	0.10	0.16	0.17	-0.07	-0.05	0.03	-0.17	0.13	-0.07	0.08	0.04
1974	9	15	4	44	44	-76.50	-143.17	334.66	-479.63	-38.61	-60.07	150.71	-229.51	-0.20	-0.10	0.22	-0.30	-0.00	0.15	0.20	0.18	0.02	-0.03	0.16	-0.11	0.07	-0.02	0.11	0.05
1974	9	15	4	45	34	-76.78	-143.10	334.48	-479.76	-38.53	-59.83	150.68	-229.47	-0.26	-0.19	0.06	-0.35	0.17	0.31	0.18	0.25	-0.04	-0.12	0.00	-0.16	0.24	0.14	0.10	0.12
1974	9	16	4	20	39	108.16	176.71	187.06	-571.86	52.17	82.77	76.18	-264.89	0.18	-0.09	0.12	0.24	0.22	0.14	0.22	0.42	0.04	-0.04	0.02	0.32	0.17	0.10	0.10	0.27
1974	9	16	4	21	34	108.41	176.88	186.96	-571.91	52.07	82.67	75.97	-265.06	0.26	-0.05	0.18	0.22	0.05	-0.01	0.08	0.27	0.12	-0.00	0.07	0.30	-0.00	-0.05	-0.04	0.11
1974	9	16	4	22	14</																								

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5												
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1974-10-5	3	15	0			-93.17	*****	123.72	-462.50	-39.43	*****	64.33	-197.81	0.25	*****	0.14	0.38	0.03	*****	0.09	0.11	0.05	*****	-0.10	0.14	-0.03	*****	0.01	-0.04	
1974-10-5	3	26	10			-90.68	*****	125.91	-461.53	-38.29	*****	65.17	-197.35	0.24	*****	0.27	0.33	-0.04	*****	0.03	0.06	0.04	*****	0.02	0.08	-0.09	*****	-0.05	-0.08	
1974-10-5	3	27	40			-90.44	*****	126.03	-461.30	-37.91	*****	65.37	-197.18	0.14	*****	0.11	0.42	0.18	*****	0.11	0.17	-0.07	*****	-0.13	0.17	0.12	*****	0.03	0.02	
1974-10-5	3	28	55			-90.01	*****	126.44	-461.17	-37.83	*****	65.44	-197.03	0.29	*****	0.29	0.44	0.11	*****	0.07	0.26	0.08	*****	0.04	0.20	0.06	*****	-0.01	0.11	
1974-10-5	3	30	30			-89.62	*****	126.63	-461.13	-37.68	*****	65.55	-197.04	0.32	*****	0.19	0.33	0.09	*****	0.06	0.18	0.11	*****	-0.05	0.09	0.04	*****	-0.02	0.03	
1974-10-7	2	51	55			75.20	*****	276.94	-101.57	*****	38.21	119.07	-28.98	*****	-0.04	0.00	0.58	*****	0.18	0.21	0.14	*****	0.05	-0.06	0.18	*****	0.03	0.11	0.10	
1974-10-7	2	52	35			75.32	*****	276.80	-101.42	*****	38.25	119.03	-28.99	*****	-0.07	-0.07	0.62	*****	0.15	0.20	0.09	*****	0.02	-0.14	0.23	*****	0.01	0.10	0.05	
1974-10-7	2	53	10			75.47	*****	276.79	-101.40	*****	38.28	118.93	-29.01	*****	-0.05	-0.02	0.56	*****	0.12	0.13	0.03	*****	0.04	-0.08	0.16	*****	-0.02	0.03	-0.02	
1974-10-7	2	53	50			75.71	*****	276.83	-101.36	*****	38.56	119.04	-28.71	*****	0.03	0.09	0.49	*****	0.34	0.28	0.28	*****	0.12	0.02	0.10	*****	0.19	0.18	0.04	
1974-10-7	2	54	30			75.96	*****	276.79	-101.23	*****	38.42	118.99	-28.83	*****	0.12	0.12	0.53	*****	0.13	0.26	0.12	*****	0.21	0.06	0.14	*****	-0.02	0.16	0.07	
1974-10-7	3	9	55			79.31	*****	274.86	-99.01	*****	39.98	118.25	-27.95	*****	-0.11	-0.15	0.44	*****	0.14	0.34	-0.04	*****	-0.02	-0.22	0.05	*****	-0.01	0.24	-0.09	
1974-10-7	3	10	35			79.74	*****	275.13	-98.67	*****	40.04	118.08	-27.86	*****	0.17	0.19	0.68	*****	0.14	0.21	-0.01	*****	0.26	0.13	0.29	*****	-0.01	0.11	-0.05	
1974-10-7	3	11	10			79.67	*****	274.79	-98.95	*****	40.04	118.00	-27.82	*****	-0.04	-0.08	0.32	*****	0.08	0.15	-0.01	*****	0.05	-0.15	-0.08	*****	-0.07	0.05	-0.05	
1974-10-7	3	11	50			79.78	*****	274.84	-98.75	*****	40.19	117.90	-27.81	*****	-0.08	0.04	0.42	*****	0.16	0.09	-0.04	*****	0.01	-0.03	0.03	*****	0.02	-0.01	-0.09	
1974-10-7	3	12	30			79.96	*****	274.74	-98.59	*****	40.26	117.95	-27.69	*****	-0.05	0.01	0.48	*****	0.16	0.18	0.03	*****	0.04	-0.05	0.08	*****	0.01	0.07	-0.01	
1974-10-12	2	30	41			-117.70		49.67	75.14	562.98	-51.78	17.17	42.49	249.67	0.06	0.14	0.22	-0.13	-0.19	-0.14	0.10	-0.07	-0.06	0.00	-0.01	-0.13	-0.21	0.07	0.04	0.03
1974-10-12	2	31	31			-117.60		49.43	75.23	562.85	-51.44	17.14	42.61	249.61	0.06	0.11	0.16	-0.24	0.10	-0.08	0.16	-0.12	-0.06	-0.03	-0.08	-0.24	0.07	0.13	0.09	-0.02
1974-10-12	2	32	26			-117.39		49.26	75.59	563.03	-51.28	17.04	42.64	249.73	0.16	0.16	0.34	-0.04	0.20	-0.08	0.11	0.01	0.04	0.02	0.11	-0.05	0.17	0.13	0.04	0.11
1974-10-12	2	33	26			-117.32		49.00	75.71	562.94	-51.37	16.88	42.73	249.71	0.11	0.15	0.27	-0.12	0.05	-0.14	0.12	0.00	-0.01	0.01	0.03	-0.12	0.02	0.07	0.05	0.10
1974-10-12	2	45	31			-115.88		45.94	77.95	562.69	-50.65	15.60	43.83	249.60	0.02	0.05	0.20	-0.10	-0.03	-0.09	0.21	0.07	-0.11	-0.09	-0.03	-0.10	-0.06	0.12	0.14	0.17
1974-10-12	2	46	46			-115.75		45.61	78.16	562.69	-50.45	15.28	43.87	249.30	-0.02	0.02	0.17	-0.07	0.09	-0.27	0.14	-0.21	-0.14	-0.13	-0.07	-0.08	0.06	-0.06	0.07	-0.11
1974-10-12	2	48	1			-115.51		45.46	78.37	562.58	-50.38	15.23	43.91	249.39	0.06	0.17	0.14	-0.16	0.07	-0.18	0.07	-0.10	-0.06	0.03	-0.10	-0.16	0.04	0.03	0.01	-0.00
1974-10-27	1	58	45			119.72		-177.13	230.16	481.75	52.96	-79.76	107.81	221.59	0.15	0.24	0.34	0.33	0.04	0.02	0.11	-0.05	0.22	0.20	0.17	0.14	0.06	0.04	0.04	0.06
1974-10-27	1	59	30			119.66		-177.21	230.19	481.72	52.96	-79.88	107.86	221.53	0.14	0.22	0.27	0.25	0.08	-0.07	0.12	-0.13	0.21	0.19	0.11	0.06	0.09	-0.05	0.04	-0.02
1974-10-27	2	0	15			119.51		-177.35	230.30	481.83	52.83	-79.87	107.78	221.57	0.03	0.17	0.29	0.30	-0.04	-0.02	0.00	-0.12	0.10	0.13	0.13	0.11	-0.02	-0.01	-0.07	-0.01
1974-10-27	2	20	45			118.21		-179.37	232.90	483.09	52.09	-80.67	108.99	222.05	0.13	0.08	0.31	0.20	0.03	-0.08	0.14	-0.17	0.22	0.04	0.14	0.02	0.05	-0.07	0.07	-0.06
1974-10-27	2	21	40			118.08		-179.33	233.06	483.20	51.96	-80.90	109.04	222.26	-0.08	0.10	0.05	0.23	-0.02	-0.14	0.07	-0.00	0.01	0.06	-0.11	0.05	-0.01	-0.13	-0.00	0.11
1974-10-27	2	22	25			117.88		-179.50	232.85	483.23	51.96	-80.80	109.01	222.26	-0.08	0.10	0.05	0.23	-0.02	-0.14	0.07	-0.00	0.01	0.06	-0.11	0.05	-0.01	-0.13	-0.00	0.11
1974-10-28	2	3	35			-99.67		-40.12	306.54	541.24	-42.68	-13.28	134.98	242.76	0.21	-0.03	0.00	0.05	0.10	0.12	0.05	-0.01	0.05	0.06	-0.04	-0.03	0.06	-0.05	-0.02	0.10
1974-10-28	2	4	30			-99.44		-39.84	306.58	541.31	-42.56	-13.07	135.03	242.70	0.28	0.04	0.06	0.10	0.14	0.24	0.11	-0.07	0.11	0.12	0.02	0.03	0.10	0.07	0.04	0.04
1974-10-28	2	5	15			-99.32		-39.70	306.37	541.17	-42.57	-13.09	134.98	242.67	0.27	0.00	-0.13	-0.05	0.06	0.14	0.08	-0.10	0.10	0.09	-0.17	-0.12	0.02	-0.04	0.01	0.01
1974-10-28	2	27	45			-95.35		-34.56	305.80	541.54	-40.60	-10.76	134.73	242.94	0.17	-0.08	-0.04	-0.01	0.06	0.15	0.23	0.11	-0.01	-0.00	-0.08	-0.08	0.01	-0.00	0.09	0.05
1974-10-28	2	28	30			-95.14		-34.40	305.77	541.57	-40.53	-10.66	134.64	242.77	0.23	-0.10	-0.04	0.01	0.05	0.18	0.16	-0.06	0.06	-0.02	-0.08	-0.07	0.01	-0.00	0.09	0.05
1974-10-28	2	29	30			-95.02		-34.19	305.68	541.46	-40.43	-10.58	134.65	242.88	0.17	-0.13	-0.11	-0.11	0.06	0.15	0.18	0.04	-0.01	-0.04	-0.15	-0.19	0.02	-0.03	0.11	0.15
1974-11-11	0	37	15			-115.50		-116.59	291.57	212.42	-52.36	-48.03	131.22	107.32	0.01	-0.03	-0.07	0.32	-0.07	0.18	0.33	0.17	0.03	0.02	-0.15	-0.00	-0.05	0.03	0.25	0.21
1974-11-11	0	38	12			-115.52		-116.38	291.64	212.54	-52.22	-47.92	131.06	107.15	0.03	0.00	-0.02	0.32	0.08	0.21	0.16	-0.06	0.05	0.06	-0.11	-0.00	0.10	0.06	0.08	-0.01
1974-11-11	0	39	20			-115.77		-116.36	291.51	212.49	-52.33	-47.89	131.17	107.34	-0.18	-0.17	-0.19	0.13	-0.02	0.15	0.25	0.07	-0.15	-0.11	-0.28	-0.20	0.00	0.10	0.06	0.08
1974-11-11	0	40	20			-115.59		-116.11	291.63	212.68	-52.23	-47.89	131.09	107.36	0.04	-0.10	-0.10	0.20	0.09	0.07	0.16	0.04	0.06	-0.04	-0.19	-0.12	0.11	-0.09	0.09	0.08
1974-11-11	0	41	20			-115.73		-115.89	291.72	212.77	-52.21	-47.59	131.17	107.46	-0.05	-0.06	-0.04	0.16	0.12	0.29	0.23	0.08	-0.03	-0.00	-0.13	-0.16	0.14	0.13	0.16	0.12
1974-11-11	0	53	0			-116.12		-113.73	292.19	214.46	-52.30	-46.72	131.28	108.10	-0.04	0.02	0.07	0.40	0.12	0.21	0.24	0.09	-0.02	0.08	-0.02	0.08	0.14	0.05	0.16	0.14
1974-11-11	0	53	55			-116.27		-113.67	291.97	214.43	-52.29	-46.66	131.22	107.95	-0.17	-0.09	-0.18	0.26	0.14	0.19	0.18	-0.11	-0.15	-0.03	-0.26	-0.06	0.15	0.04	0.10	-0.06
1974-11-11	0	54	45			-116.22		-113.51	292.13	214.52	-52.34	-46.56	131.40	108.18	-0.09	-0.08	-0.05	0.25	0.08	0.23	0.35	0.08	-0.07	-0.02	-0.13	-0.07	0.10	0.07	0.27	0.13
1974-11-11	0	55	45			-116.24		-113.32	292.12	214.71	-52.31	-46.48	131.28	108.16	-0.08	-0.07	-0.09	0.31	0.13	0.23	0.22	0.00	-0.06	-0.01	-0.18	-0.01	0.14	0.07	0.14	0.05
1974-11-11	0	56	50			-116.26		-113.14	292.20	214.76	-52.32	-46.47	131.30	108.20	-0.07	-0.08	-0.04	0.22	0.12	0.15	0.23	-0.01	-0.06	-0.02	-0.13	-0.10	0.13	-0.01	0.16	0.04
1974-11-24	0	52	0			53.35	*****	-56.95	*****	-414.93	26.82	-28																		

date (UT)				Coordonnées observées				Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5												
an	mois	jr	hr m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	
1975-9-9	7	21	10	28.90	-135.15	274.96	187.50	4.04	-49.27	106.20	113.68	-0.02	0.06	0.09	0.13	-0.07	0.21	0.27	-0.01	0.22	0.05	-0.10	-0.16	0.06	0.01	0.12	0.06	
1975-9-9	7	21	50	28.81	-134.92	274.90	187.77	3.86	-49.34	106.13	113.69	0.10	0.16	0.11	0.31	-0.16	0.08	0.23	-0.05	0.34	0.16	-0.09	0.02	-0.03	-0.12	0.08	0.02	
1975-9-9	7	23	25	*****	-134.46	274.95	188.22	*****	-49.05	106.00	113.56	*****	0.32	0.33	0.53	*****	0.23	0.19	-0.26	*****	0.32	0.13	0.23	*****	0.03	0.04	-0.19	
1975-9-9	7	24	15	*****	-134.38	274.81	188.35	*****	-48.85	105.96	113.90	*****	0.24	0.28	0.54	*****	0.35	0.20	0.03	*****	0.24	0.08	0.25	*****	0.15	0.05	0.09	
1975-9-9	7	28	25	*****	-131.91	273.10	189.98	*****	-47.72	104.86	114.52	*****	-0.03	0.16	0.12	*****	0.17	-0.08	-0.18	*****	-0.03	-0.04	-0.17	*****	-0.02	-0.23	-0.11	
1975-9-9	7	39	10	*****	-131.80	272.91	190.14	*****	-47.72	104.80	114.53	*****	-0.07	0.06	0.18	*****	0.11	-0.09	-0.22	*****	-0.08	-0.14	-0.12	*****	-0.09	-0.24	-0.15	
1975-9-29	6	45	10	-134.23	*****	262.61	601.05	-57.37	*****	126.92	259.08	-0.07	*****	-0.00	-0.13	0.28	*****	0.24	0.11	-0.12	*****	-0.06	-0.16	-0.06	0.32	*****	0.11	-0.11
1975-9-29	6	46	45	-134.11	*****	262.90	601.06	-57.49	*****	126.83	258.92	0.03	*****	0.08	-0.12	0.12	*****	0.08	-0.25	-0.03	*****	-0.08	-0.05	0.16	*****	-0.05	-0.25	
1975-9-29	6	47	35	-134.16	*****	263.04	601.00	-57.60	*****	126.64	258.65	-0.04	*****	0.12	-0.17	-0.01	*****	-0.14	-0.50	-0.09	*****	-0.04	-0.10	0.02	*****	-0.27	-0.50	
1975-9-29	7	6	40	-133.58	-21.60	265.28	600.71	-56.79	-20.95	128.05	259.40	-0.05	-0.25	-0.14	-0.39	0.13	-0.08	0.37	0.46	-0.12	-0.22	-0.29	-0.32	0.16	-0.02	0.23	0.46	
1975-9-29	7	7	20	-133.40	-21.68	*****	600.79	-56.98	-21.16	*****	259.03	0.11	-0.16	*****	-0.31	-0.09	-0.21	*****	0.09	0.04	-0.13	*****	-0.24	-0.06	-0.16	*****	0.10	
1975-9-29	7	8	15	-133.41	-22.08	*****	600.70	-56.82	-20.98	*****	259.31	0.06	-0.32	*****	-0.40	0.04	0.06	*****	0.38	-0.01	-0.29	*****	-0.32	0.07	0.12	*****	0.38	
1975-9-29	7	9	5	-133.33	-22.12	*****	600.80	-56.96	-21.30	*****	259.08	0.10	-0.14	*****	-0.29	-0.13	-0.16	*****	0.16	0.04	-0.11	*****	-0.22	-0.10	-0.10	*****	0.16	
1975-10-5	5	53	40	99.29	203.79	-49.68	-384.94	49.45	92.92	-1.11	-196.17	0.10	-0.12	0.21	-0.31	0.31	-0.10	0.24	0.15	-0.03	-0.18	-0.07	-0.02	0.17	0.06	0.12	0.09	
1975-10-5	5	55	35	99.71	204.00	-49.11	-385.08	49.43	93.03	-1.00	-196.18	0.10	-0.08	0.38	-0.22	0.13	-0.03	0.18	0.22	-0.03	-0.14	0.10	0.07	-0.00	0.12	0.06	0.17	
1975-10-5	5	56	31	99.98	204.10	-48.90	-385.08	49.56	92.87	-0.91	-196.25	0.16	-0.06	0.41	-0.11	0.19	-0.22	0.18	0.20	0.03	-0.12	0.13	0.18	0.05	-0.06	0.06	0.14	
1975-10-5	6	6	56	102.15	204.93	-46.89	-386.36	50.34	93.27	0.03	-196.75	0.06	-0.09	0.27	-0.14	0.15	-0.06	0.17	0.17	-0.05	-0.15	-0.01	0.15	0.02	0.10	0.05	0.12	
1975-10-5	6	9	43	102.69	205.16	-46.41	-386.79	50.47	93.37	0.30	-196.82	0.00	-0.09	0.17	-0.23	0.06	-0.03	0.18	0.24	-0.11	-0.15	-0.11	0.06	-0.07	0.14	0.06	0.18	
1975-10-5	6	10	45	103.05	205.29	-46.07	-386.73	50.48	93.22	0.28	-197.05	0.14	-0.05	0.30	-0.04	-0.01	-0.19	0.07	0.06	0.03	-0.11	0.02	0.25	-0.14	-0.03	-0.05	0.00	
1975-10-23	4	41	20	129.56	214.51	*****	-557.87	55.70	94.68	*****	-259.95	-0.13	0.04	*****	0.03	0.04	-0.24	*****	0.04	-0.03	-0.04	*****	0.14	0.03	-0.03	*****	-0.02	
1975-10-23	4	43	30	129.42	214.38	*****	-557.95	55.57	94.64	*****	-259.69	-0.11	-0.06	*****	0.06	0.03	-0.23	*****	0.33	-0.01	-0.14	*****	0.18	0.02	-0.03	*****	0.27	
1975-10-23	4	54	20	128.57	214.39	*****	-558.30	54.95	94.52	*****	-260.05	-0.08	0.10	*****	0.29	0.02	-0.14	*****	0.13	0.03	0.01	*****	0.40	0.02	0.07	*****	0.07	
1975-10-23	4	55	5	128.45	214.32	*****	-558.41	54.99	94.48	*****	-260.09	-0.13	0.04	*****	0.22	0.11	-0.17	*****	0.10	-0.02	-0.04	*****	0.34	0.10	0.04	*****	0.04	
1975-10-23	4	55	55	128.38	214.28	*****	-558.50	54.87	94.42	*****	-260.05	-0.13	0.02	*****	0.18	0.04	-0.21	*****	0.15	-0.02	-0.07	*****	0.29	0.03	-0.00	*****	0.09	
1975-10-23	5	5	20	127.47	214.11	*****	-559.14	54.25	94.18	*****	-260.15	-0.18	0.02	*****	0.03	-0.01	-0.24	*****	0.19	-0.07	-0.07	*****	0.15	-0.01	-0.03	*****	0.13	
1975-10-23	5	7	10	127.24	214.03	*****	-559.22	54.32	94.27	*****	-259.96	-0.24	-0.03	*****	0.05	0.17	-0.11	*****	0.40	-0.13	-0.11	*****	0.16	0.17	0.10	*****	0.35	
1975-10-24	4	33	49	-109.11	-46.86	-250.40	-593.20	-43.47	-31.58	-124.38	-262.23	0.19	-0.04	0.43	0.09	0.20	0.20	0.25	0.17	0.02	-0.04	0.13	0.05	0.16	0.22	0.19	0.12	
1975-10-24	4	36	5	-108.63	-47.45	-250.72	-593.08	-43.45	-32.14	-124.72	-262.29	0.24	-0.05	0.43	0.20	-0.01	-0.11	0.04	0.08	0.07	-0.05	0.13	0.16	-0.05	-0.09	-0.02	0.04	
1975-10-24	4	36	55	-108.54	-47.68	-250.89	-593.21	-43.32	-32.11	-124.63	-262.10	0.17	-0.07	0.37	0.06	0.03	0.01	0.17	0.27	-0.00	-0.06	0.07	0.02	-0.01	0.03	0.11	0.22	
1975-10-24	4	37	50	-108.44	-47.96	-251.02	-593.11	-43.04	-32.11	-124.64	-262.14	0.09	-0.12	0.37	0.16	0.22	0.10	0.21	0.21	-0.08	-0.11	0.06	0.12	0.18	0.13	0.15	0.17	
1975-10-24	4	48	10	-106.33	-50.55	-252.45	-593.15	-42.02	-33.21	-125.14	-261.97	0.17	-0.07	0.37	0.06	0.16	0.14	0.25	0.26	-0.00	-0.06	0.07	0.02	0.11	0.17	0.19	0.21	
1975-10-24	4	49	45	-105.85	-50.82	-252.56	-593.03	-42.03	-33.47	-125.33	-262.05	0.33	0.06	0.48	0.17	-0.01	0.06	0.15	0.17	0.16	0.07	0.18	0.13	-0.06	0.08	0.09	0.12	
1975-10-24	4	50	40	-105.79	-51.13	-252.81	-593.00	-41.84	-33.59	-125.38	-261.99	0.21	-0.02	0.36	0.20	0.08	0.04	0.15	0.21	0.03	-0.01	0.06	0.16	0.03	0.06	0.09	0.17	
1975-11-3	3	31	5	*****	176.32	56.03	468.35	*****	72.64	43.96	187.54	*****	0.28	0.38	-0.16	*****	-0.37	0.03	-0.09	*****	0.17	0.07	0.08	*****	-0.15	-0.12	-0.12	
1975-11-3	3	31	50	*****	175.98	56.07	468.15	*****	72.77	44.11	187.63	*****	0.05	0.27	-0.29	*****	-0.17	0.12	0.04	*****	-0.06	-0.04	-0.05	*****	0.04	-0.04	0.01	
1975-11-3	3	32	40	*****	175.87	56.31	468.03	*****	72.73	44.31	187.64	*****	0.06	0.35	-0.33	*****	-0.16	0.24	0.09	*****	-0.05	0.03	-0.09	*****	0.06	0.08	0.06	
1975-11-3	3	33	30	*****	175.71	56.45	468.02	*****	72.59	44.36	187.51	*****	0.02	0.31	-0.26	*****	-0.23	0.22	-0.00	*****	-0.09	-0.00	-0.02	*****	-0.01	0.06	-0.03	
1975-11-3	3	43	40	*****	174.34	58.50	466.95	*****	71.80	45.08	186.98	*****	0.12	0.32	-0.36	*****	-0.25	0.04	-0.03	*****	0.01	0.01	-0.12	*****	-0.03	-0.11	-0.05	
1975-11-3	3	44	40	*****	174.31	58.86	467.09	*****	71.74	45.35	186.98	*****	0.24	0.49	-0.12	*****	-0.23	0.22	0.02	*****	0.13	0.17	0.11	*****	-0.01	0.07	-0.00	
1975-11-3	3	45	30	*****	174.17	58.99	466.94	*****	71.72	45.32	187.03	*****	0.21	0.44	-0.20	*****	-0.19	0.13	0.11	*****	0.11	0.13	0.04	*****	0.03	-0.03	0.08	
1975-11-3	3	46	25	*****	174.01	59.00	466.91	*****	71.78	45.54	187.03	*****	0.20	0.27	-0.14	*****	-0.06	0.26	0.16	*****	0.09	-0.04	0.10	*****	0.16	0.11	0.13	
1975-11-7	3	31	34	-130.99	39.24	-173.30	-325.43	-59.37	7.00	-94.04	-174.65	0.15	0.20	0.53	-0.15	-0.04	-0.12	0.07	0.06	0.13	0.14	0.20	0.17	0.02	-0.01	-0.03	0.00	
1975-11-7	3	33	39	-131.17	38.55	-173.82	-325.90	-59.16	6.85	-94.10	-174.62	0.00	0.04	0.38	-0.35	0.15	-0.02	0.16	0.20	-0.02	-0.02	0.05	-0.04	0.21	0.09	0.07	0.14	
1975-11-7	3	34	34	-131.11	38.31	-173.99	-325.96	-59.31	6.78	-94.07	-174.65	0.08	0.03	0.36	-0.30	-0.02	0.02	0.26	0.22	0.05	-0.03	0.03	0.02	0.04	0.13	0.16	0.16	
1975-11-7	3	54	8	-131.21	33.44	-177.29	-328.39	-59.26	4.11	-95.94	-176.07	0.08	0.11	0.44	-0.25	-0.31	-0.39	-0.23	-0.20	0.04	0.05	0.11	0.06	-0.26	-0.28	-0.33	-0.25	
1975-11-7	3	55	29	-131.18	33.20	-177.53	-328.51	-58.88	4.25	-95.73	-175.84	0.10	0.22	0.43	-0.21	0.04	-0.09	0.08	0.10	0.06	0.16	0.10	0.11	0.09	0.01	-0.02	0.04	
1975-11-7	4	6	39	-131.16	29.87	-179.77	-330.28	-58.54	2.81	-96.54	-176.33	0.04	-0.28	0.10	-0.57	0.12	-0.24	0.05	0.18	-0.01	-0.34	-0.23	-0.26	0.16	-0.13</			

date (UT)					Coordonnées observées					Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5											
an	mois	jr	hr	m	s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1975-11-18	1	45	0			-61.56	-62.48	216.74	572.31	-21.05	-37.86	111.19	257.06	0.27	-0.00	0.11	-0.16	0.14	-0.03	0.14	0.01	0.05	-0.02	-0.09	-0.10	0.04	-0.03	0.01	0.02
1975-11-18	1	57	25			-58.16	-65.50	218.59	572.18	-19.25	-39.04	111.99	256.96	0.22	-0.06	0.14	-0.23	0.27	0.08	0.21	0.04	-0.01	-0.08	-0.05	-0.18	0.16	0.08	0.08	0.05
1975-11-18	1	58	55			-57.83	-65.91	218.65	572.10	-19.06	-39.14	112.04	256.95	0.13	-0.12	-0.01	-0.31	0.26	0.13	0.19	0.04	-0.10	-0.13	-0.20	-0.25	0.15	0.13	0.05	0.06
1975-11-18	1	59	45			-57.51	-66.00	218.90	572.16	-18.98	-39.34	111.97	256.87	0.20	-0.01	0.11	-0.24	0.23	0.01	0.07	-0.03	-0.02	-0.03	-0.08	-0.18	0.12	0.01	-0.07	-0.01
1975-11-23	2	17	45			-126.14	-37.32	-289.27	-185.87	-56.58	-7.06	-122.87	-114.32	-0.07	-0.11	0.02	-0.42	0.05	0.13	0.12	0.04	-0.12	-0.05	-0.18	-0.08	0.09	0.03	0.11	-0.01
1975-11-23	2	18	25			-126.02	-37.15	-289.04	-185.90	-56.49	-6.91	-122.88	-114.29	0.04	-0.10	0.19	-0.35	0.13	0.20	0.08	0.11	-0.01	-0.05	-0.01	-0.01	0.17	0.10	0.07	0.06
1975-11-23	2	19	10			-126.07	-36.91	-288.97	-186.08	-56.59	-6.83	-122.88	-114.37	-0.03	-0.04	0.20	-0.43	-0.00	0.19	0.05	0.07	-0.08	0.02	0.00	-0.09	0.04	0.10	0.03	0.02
1975-11-23	2	33	45			-125.61	-33.41	-287.74	-188.08	-56.21	-5.44	-122.39	-115.38	0.04	-0.05	0.19	-0.41	-0.07	-0.03	-0.16	-0.07	-0.03	0.00	-0.01	-0.07	-0.03	-0.13	-0.18	-0.12
1975-11-23	2	34	25			-125.72	-33.39	-287.78	-188.20	-56.26	-5.30	-122.27	-115.37	-0.09	-0.20	0.10	-0.44	-0.13	0.02	-0.07	-0.02	-0.16	-0.14	-0.10	-0.10	-0.10	-0.07	-0.09	-0.07
1975-11-29	0	26	35			77.89	-146.96	-253.06	-289.21	41.16	-72.82	-124.58	-104.78	0.12	-0.01	0.40	0.45	0.23	0.13	0.20	0.10	-0.02	0.01	0.16	0.13	0.08	0.03	0.16	0.12
1975-11-29	0	27	15			77.94	-147.09	-253.21	-289.21	41.21	-72.68	-124.55	-104.67	0.02	-0.03	0.32	0.37	0.21	0.31	0.26	0.17	-0.12	-0.00	0.07	0.04	0.07	0.22	0.22	0.19
1975-11-29	0	28	0			78.25	-147.18	-253.29	-289.16	41.35	-72.75	-124.54	-104.64	0.15	-0.01	0.33	0.32	0.27	0.29	0.30	0.16	0.01	0.02	0.09	0.00	0.12	0.20	0.26	0.18
1975-11-29	0	28	50			78.62	-147.48	-253.44	-288.91	41.43	-72.98	-124.70	-104.66	0.33	-0.17	0.28	0.47	0.27	0.11	0.18	0.09	0.18	-0.14	0.03	0.15	0.12	0.02	0.14	0.11
1975-11-29	0	44	40			82.03	-149.79	-255.17	-287.15	42.50	-74.12	-125.51	-103.95	0.06	0.02	0.32	0.26	-0.14	-0.04	0.03	-0.16	-0.08	0.05	0.07	-0.06	-0.28	-0.13	-0.01	-0.14
1975-11-29	0	45	20			82.32	-149.89	-255.21	-286.96	42.77	-74.14	-125.61	-103.86	0.19	0.03	0.35	0.37	0.07	-0.01	-0.04	-0.11	0.05	0.06	0.11	0.04	-0.08	-0.11	-0.08	-0.09
1975-11-29	0	46	45			82.60	-150.21	-255.42	-286.83	42.97	-74.15	-125.61	-103.65	0.15	-0.07	0.30	0.32	0.14	0.06	0.02	0.02	0.01	-0.04	0.06	-0.00	-0.00	-0.04	-0.02	0.04
1975-11-29	0	47	35			82.79	-150.19	-255.50	-286.61	42.86	-74.28	-125.66	-103.80	0.15	0.07	0.32	0.43	-0.05	-0.01	0.00	-0.19	0.01	0.10	0.07	0.11	-0.19	-0.11	-0.03	-0.17
1975-12-6	1	8	35			59.58	-126.73	-226.78	471.89	33.33	-64.30	-113.83	198.82	0.09	-0.06	0.29	-0.31	0.19	0.10	0.15	0.07	-0.08	-0.04	0.01	-0.13	0.04	0.02	0.09	0.05
1975-12-6	1	9	15			59.71	-126.92	-226.91	471.72	33.50	-64.35	-113.97	198.96	0.04	-0.13	0.24	-0.43	0.29	0.09	0.04	0.23	-0.13	-0.11	-0.03	-0.25	0.13	0.02	-0.02	0.22
1975-12-6	1	9	55			59.79	-127.00	-226.96	471.70	33.51	-64.37	-113.89	198.83	-0.05	-0.09	0.27	-0.41	0.22	0.12	0.15	0.13	-0.22	-0.08	-0.00	-0.23	0.06	0.04	0.09	0.11
1975-12-6	1	10	37			60.15	-127.02	-226.99	471.64	33.51	-64.42	-113.95	198.85	0.13	0.01	0.34	-0.41	0.14	0.12	0.13	0.17	-0.04	0.03	0.06	-0.24	-0.01	0.05	0.07	0.16
1975-12-6	1	21	10			62.83	-128.94	-228.45	471.04	34.60	-65.35	-114.49	198.07	0.09	-0.04	0.21	-0.26	0.09	-0.04	0.11	-0.19	-0.08	-0.03	-0.07	-0.08	-0.06	-0.11	0.05	-0.21
1975-12-6	1	21	45			62.96	-129.08	-228.52	470.88	34.66	-65.31	-114.59	198.30	0.07	-0.08	0.21	-0.39	0.09	0.04	0.04	0.06	-0.10	-0.07	-0.07	-0.21	-0.07	-0.04	-0.02	0.04
1975-12-6	1	22	30			63.19	-129.21	-228.63	470.91	34.74	-65.39	-114.77	198.06	0.11	-0.08	0.19	-0.30	0.09	0.02	-0.11	-0.15	-0.05	-0.07	-0.08	-0.12	-0.06	-0.05	-0.17	-0.17
1975-12-6	1	23	12			63.38	-129.30	-228.56	470.90	34.81	-65.45	-114.58	198.11	0.12	-0.04	0.35	-0.26	0.09	0.01	0.12	-0.07	-0.05	-0.03	0.07	-0.08	-0.07	0.06	-0.09	
1976-9-1	9	11	45			-119.58	-123.93	294.09	307.77	-25.38	-35.71	60.42	42.19	-0.12	-0.25	0.10	-0.30	0.03	0.11	0.13	0.09	-0.13	-0.02	-0.04	0.03	-0.02	-0.06	0.05	0.00
1976-9-1	9	12	35			-119.41	-124.09	293.96	307.58	-25.38	-35.86	60.40	42.01	0.03	-0.26	0.01	-0.40	0.01	-0.01	0.13	-0.06	0.01	-0.03	-0.14	-0.07	-0.04	-0.18	0.05	-0.15
1976-9-1	9	13	30			-119.43	-124.24	293.90	307.48	-25.29	-35.73	60.19	42.12	-0.01	-0.26	-0.01	-0.39	0.08	0.14	-0.07	0.07	-0.03	-0.02	-0.16	-0.06	0.03	-0.02	-0.15	-0.02
1976-9-1	9	15	20			-119.41	-124.65	293.72	307.23	-25.13	-35.68	60.40	42.10	-0.04	-0.35	-0.11	-0.43	0.19	0.26	0.18	0.11	-0.06	-0.11	-0.26	-0.10	0.15	0.09	0.10	0.02
1976-9-1	9	16	20			-119.35	-124.78	293.79	307.09	-25.27	-35.89	60.07	41.97	-0.00	-0.30	0.01	-0.46	0.04	0.08	-0.13	0.01	-0.02	-0.07	-0.13	-0.13	-0.01	-0.09	-0.21	-0.08
1976-9-8	8	45	35			-118.62	-91.85	308.87	485.71	-27.35	-29.80	65.44	-91.36	-0.15	-0.30	-0.16	0.19	-0.01	0.08	0.03	-0.20	-0.10	-0.04	-0.26	0.04	-0.01	-0.06	-0.05	-0.07
1976-9-8	8	46	25			-118.55	-91.99	308.99	485.59	-27.45	-29.88	65.51	-91.32	-0.02	-0.26	-0.02	0.26	-0.10	0.03	0.11	-0.18	0.04	-0.00	-0.12	0.11	-0.10	-0.11	0.03	-0.05
1976-9-8	8	47	20			-118.67	-92.24	308.97	485.55	-27.33	-29.85	65.44	-91.19	-0.07	-0.32	-0.03	0.24	0.01	0.11	0.06	-0.06	-0.01	-0.06	-0.13	0.09	0.01	-0.04	-0.02	0.07
1976-9-8	8	48	18			-118.77	-92.40	308.88	485.50	-27.19	-29.86	65.52	-91.30	-0.09	-0.28	-0.10	0.23	0.15	0.13	0.16	-0.19	-0.04	-0.02	-0.20	0.08	0.15	-0.01	0.08	-0.07
1976-9-8	8	49	20			-118.80	-92.55	308.89	485.35	-27.37	-29.96	65.49	-91.19	-0.05	-0.21	-0.07	0.32	-0.03	0.07	0.14	-0.10	0.00	0.05	-0.17	0.17	-0.03	-0.07	0.06	0.02
1976-10-13	7	30	28			-28.41	101.09	279.31	-287.47	-1.91	12.33	73.32	-33.06	-0.32	-0.35	-0.14	0.27	-0.25	-0.10	-0.03	-0.25	-0.09	-0.15	-0.20	0.01	-0.07	-0.08	-0.13	-0.13
1976-10-13	7	32	15			27.83	100.77	279.60	-287.16	-2.10	12.05	73.24	-32.95	-0.31	-0.26	-0.06	0.33	-0.30	-0.28	-0.14	-0.20	-0.09	-0.06	-0.12	0.06	-0.13	-0.25	-0.24	-0.07
1976-10-13	7	33	5			27.66	100.65	279.73	-287.04	-2.33	12.12	73.25	-32.97	-0.21	-0.18	-0.04	0.33	-0.46	-0.16	-0.15	-0.26	0.01	0.02	-0.10	0.07	-0.29	-0.13	-0.25	-0.13
1976-10-13	7	35	5			26.90	100.02	279.77	-286.86	-2.39	11.96	73.33	-32.89	-0.31	-0.35	-0.24	0.24	-0.37	-0.20	-0.10	-0.24	-0.09	-0.15	-0.30	-0.02	-0.19	-0.17	-0.20	-0.11
1976-11-16	4	22	15			-97.64	-35.73	-214.78	-152.30	-30.31	2.97	-37.14	-2.56	-0.12	0.20	0.32	0.34	-0.02	0.04	0.22	-0.03	0.05	0.03	0.07	0.05	0.08	0.05	0.14	0.08
1976-11-16	4	23	15			-97.91	-35.54	-214.64	-152.19	-30.38	3.11	-37.04	-2.47	-0.15	0.12	0.29	0.29	-0.04	0.11	0.28	0.02	0.02	-0.05	0.04	0.00	0.06	0.12	0.20	0.13
1976-11-16	4	24	8			-98.07	-35.20	-214.52	-151.96	-30.30	3.24	-37.06	-2.54	-0.09	0.21	0.25	0.38	0.09	0.18	0.21	-0.09	0.08	0.05	0.00	0.09	0.18	0.18	0.13	0.02
1976-11-16	4	25	18			-98.50	-35.21	-214.37	-152.06	-30.41	3.11	-37.05	-2.41	-0.22	-0.11	0.20	0.10	0.02	-0.04	0.17	-0.02	-0.05	-0.28	-0.05	-0.19	0.12	-0.04	0.08	0.10
1976-11-16	4	26	20			-98.73	-34.72	-214.12	-151.73	-30.51	3.35	-36.87	-2.34	-0.19	0.10	0.27	0.25	-0.03	0.13	0.29	0.01	-0.03	-0.07	0.02	-0.0				

date (UT)				Coordonnées observées								Observations-Ephémérides SV2								Observations-Ephémérides G-5							
an	mois	jr	hr m s	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1977-10-31	9	13	15	-76.82	193.50	-187.41	-561.39	8.97	-7.51	0.64	36.75	0.22	-0.07	0.22	0.24	0.21	-0.01	-0.02	-0.11	0.02	-0.10	0.09	0.22	0.14	0.08	0.06	0.06
1977-10-31	9	15	0	-76.55	193.49	-187.84	-561.54	8.91	-7.58	0.55	36.75	0.04	-0.23	0.07	0.05	0.17	-0.05	-0.13	-0.13	-0.16	-0.25	-0.06	0.03	0.09	0.04	-0.06	0.05
1977-10-31	9	15	50	-76.27	193.56	-188.02	-561.54	8.90	-7.53	0.64	36.81	0.12	-0.21	0.03	0.03	0.17	0.01	-0.06	-0.06	-0.08	-0.24	-0.10	0.01	0.09	0.11	0.01	0.11
1977-10-31	9	16	40	-76.00	193.69	-187.98	-561.37	8.89	-7.54	0.75	36.92	0.18	-0.16	0.20	0.17	0.16	0.01	0.04	0.04	-0.02	-0.18	0.07	0.16	0.08	0.11	0.12	0.21
1977-10-31	9	17	45	-75.86	193.70	-188.32	-561.45	8.80	-7.60	0.65	36.80	0.04	-0.23	0.04	0.07	0.07	-0.03	-0.07	-0.08	-0.16	-0.26	-0.09	0.05	-0.00	0.06	0.00	0.09
1977-10-31	9	18	50	-75.31	194.01	-188.32	-561.21	8.75	-7.74	0.66	36.66	0.31	-0.00	0.22	0.28	0.03	-0.16	-0.08	-0.23	0.11	-0.03	0.09	0.26	-0.04	-0.06	-0.01	-0.05
1977-11-15	7	16	15	115.91	123.95	-311.11	-520.30	-9.17	-13.09	10.89	16.80	-0.24	-0.27	0.17	-0.15	-0.23	-0.01	-0.14	-0.15	-0.10	-0.04	0.07	0.05	-0.11	-0.13	-0.10	-0.03
1977-11-15	7	17	5	115.76	123.81	-311.19	-520.31	-9.10	-12.99	11.01	16.91	-0.26	-0.23	0.16	-0.10	-0.16	0.09	-0.03	-0.05	-0.12	0.00	0.06	0.10	-0.04	-0.03	0.01	0.07
1977-11-15	7	18	0	115.63	123.57	-311.25	-520.32	-9.05	-12.86	11.05	16.87	-0.24	-0.28	0.17	-0.04	-0.10	0.21	0.01	-0.10	-0.10	-0.05	0.08	0.16	0.02	0.09	0.04	0.02
1977-11-15	7	18	55	115.37	123.27	-311.43	-520.45	-9.08	-12.97	11.11	17.03	-0.35	-0.39	0.07	-0.09	-0.13	0.10	0.05	0.05	-0.21	-0.15	-0.03	0.11	-0.01	-0.02	0.09	0.17
1977-12-16	5	30	10	-125.20	153.55	35.70	-120.88	6.02	3.53	12.39	-20.10	0.27	0.22	0.16	-0.36	0.10	-0.12	-0.01	0.08	0.15	0.10	0.12	0.06	-0.04	0.03	-0.10	0.04
1977-12-16	5	30	55	-125.27	153.54	35.70	-121.15	6.12	3.55	12.50	-20.07	0.08	0.06	0.00	-0.51	0.19	-0.09	0.10	0.12	-0.04	-0.06	-0.04	-0.09	0.05	0.06	0.02	0.08
1977-12-16	5	31	35	-125.14	153.70	35.96	-121.10	6.03	3.48	12.49	-20.06	0.11	0.08	0.12	-0.35	0.10	-0.16	0.10	0.12	-0.01	-0.03	0.08	0.07	-0.03	-0.01	0.02	0.08
1977-12-16	5	32	20	-124.97	153.83	36.04	-121.16	6.11	3.50	12.50	-20.12	0.17	0.07	0.04	-0.29	0.17	-0.13	0.11	0.05	0.04	-0.05	-0.00	0.13	0.04	0.02	0.02	0.01
1977-12-16	5	33	10	-124.94	153.96	36.17	-121.42	6.16	3.63	12.54	-20.03	0.07	0.03	-0.01	-0.41	0.22	0.01	0.16	0.14	-0.06	-0.08	-0.05	0.01	0.08	0.16	0.08	0.10
1977-12-16	5	34	0	-124.79	154.08	36.34	-121.51	6.05	3.47	12.52	-20.17	0.09	-0.02	-0.03	-0.37	0.10	-0.14	0.14	-0.00	-0.04	-0.14	-0.07	0.05	-0.03	0.01	0.06	-0.04
1978-1-5	4	38	25	91.21	-219.72	-324.55	-614.16	3.68	-0.57	6.36	0.70	0.17	0.01	0.22	0.05	0.08	0.25	0.23	-0.23	-0.01	0.03	0.07	0.10	0.16	0.18	0.20	-0.06
1978-1-5	4	39	5	91.39	-219.69	-324.48	-614.12	3.56	-0.62	6.19	0.78	0.18	0.04	0.23	0.09	-0.04	0.19	0.06	-0.16	-0.00	0.06	0.08	0.14	0.04	0.13	0.03	0.01
1978-1-5	4	39	50	91.53	-219.76	-324.47	-614.26	3.45	-0.91	6.15	0.83	0.12	-0.02	0.18	-0.04	-0.14	-0.11	0.01	-0.11	-0.06	-0.00	0.03	0.01	-0.05	-0.17	-0.02	0.06
1978-1-5	4	40	30	91.79	-219.68	-324.37	-614.16	3.51	-0.75	6.26	0.78	0.21	0.06	0.22	0.07	-0.07	0.04	0.12	-0.17	0.03	0.08	0.07	0.11	0.01	-0.02	0.09	0.00
1978-1-5	4	41	15	91.87	-219.69	-324.35	-614.21	3.57	-0.78	6.19	0.81	0.10	0.05	0.18	0.03	-0.01	0.00	0.04	-0.14	-0.08	0.07	0.03	0.08	0.08	-0.06	0.01	0.03
1978-1-12	3	52	10	46.44	-211.28	-338.69	515.11	5.27	-4.01	2.11	14.33	0.13	-0.18	-0.01	0.08	0.13	0.22	0.17	0.24	-0.10	-0.10	-0.15	0.00	0.16	0.11	0.15	0.13
1978-1-12	3	52	55	46.76	-211.36	-338.53	515.27	5.21	-4.11	1.99	14.28	0.21	-0.21	0.11	0.17	0.08	0.11	0.04	0.20	-0.02	-0.13	-0.03	0.09	0.11	0.00	0.03	0.08
1978-1-12	3	53	40	47.03	-211.34	-338.56	515.40	5.08	-4.13	2.01	14.14	0.24	-0.15	0.04	0.23	-0.05	0.09	0.05	0.06	0.01	-0.06	-0.10	0.16	-0.02	-0.02	0.04	-0.06
1978-1-12	3	54	25	47.28	-211.30	-338.40	515.42	5.18	-4.18	2.03	14.19	0.25	-0.06	0.16	0.18	0.05	0.02	0.07	0.12	0.02	0.02	0.02	0.11	0.08	-0.09	0.05	0.00
1978-1-12	3	56	15	47.71	-211.47	-338.46	515.42	5.07	-4.08	2.00	14.21	0.10	-0.11	-0.01	0.02	-0.05	0.11	0.02	0.14	-0.13	-0.03	-0.14	-0.05	-0.02	0.00	0.00	0.03
1978-1-23	3	19	35	133.94	-199.82	302.24	-543.31	0.87	-0.78	-1.98	3.03	-0.01	-0.00	0.15	-0.14	-0.11	0.03	-0.02	-0.14	0.02	-0.08	-0.02	-0.24	0.04	0.03	-0.01	0.04
1978-1-23	3	20	20	133.93	-199.83	302.27	-543.24	0.77	-0.84	-2.07	2.96	0.00	-0.08	0.25	-0.11	-0.20	-0.04	-0.10	-0.22	0.03	-0.16	0.09	-0.22	-0.05	-0.04	-0.09	-0.04
1978-1-23	3	21	0	133.94	-199.71	302.18	-543.15	0.86	-0.68	-1.90	3.18	0.03	-0.02	0.23	-0.07	-0.10	0.11	0.08	-0.00	0.06	-0.10	0.06	-0.17	0.04	0.12	0.09	0.18
1978-1-23	3	21	40	133.87	-199.61	302.06	-543.14	0.79	-0.83	-2.04	3.05	-0.02	0.01	0.17	-0.10	-0.16	-0.04	-0.06	-0.14	0.01	-0.06	0.00	-0.20	-0.02	-0.04	-0.05	0.04
1978-1-23	3	22	25	133.79	-199.68	301.93	-543.16	0.78	-0.82	-2.06	3.05	-0.08	-0.12	0.11	-0.17	-0.16	-0.04	-0.07	-0.14	-0.04	-0.20	-0.05	-0.28	-0.02	-0.04	-0.06	0.04
1978-1-23	3	23	15	133.81	-199.50	301.92	-543.10	0.80	-0.80	-2.02	3.10	-0.03	-0.02	0.19	-0.17	-0.13	-0.03	-0.03	-0.09	0.00	-0.10	0.02	-0.28	0.01	-0.03	-0.02	0.09
1978-1-30	3	7	40	129.19	-206.56	315.58	594.26	3.04	-3.37	1.36	11.75	0.02	-0.07	0.16	0.08	0.02	0.09	0.09	0.44	-0.02	-0.10	0.03	0.15	0.15	0.06	0.09	0.28
1978-1-30	3	8	25	129.29	-206.64	315.62	594.33	2.83	-3.57	1.35	11.44	0.06	-0.19	0.25	0.15	-0.18	-0.11	0.09	0.14	0.02	-0.22	0.12	0.22	-0.05	-0.15	0.09	-0.01
1978-1-30	3	10	2	129.40	-206.39	315.43	594.34	2.89	-3.43	1.31	11.52	0.06	-0.01	0.18	0.14	-0.11	0.01	0.06	0.22	0.02	-0.03	0.05	0.21	0.03	-0.02	0.06	0.07
1978-1-30	3	11	5	129.39	-206.47	315.30	594.32	2.94	-3.37	1.30	11.57	-0.01	-0.14	0.13	0.10	-0.05	0.06	0.07	0.28	-0.05	-0.17	-0.00	0.18	0.09	0.03	0.07	0.13
1978-1-30	3	12	0	129.50	-206.28	315.24	594.34	2.82	-3.42	1.19	11.41	0.03	0.02	0.13	0.11	-0.16	-0.01	-0.04	0.13	-0.01	-0.01	-0.01	0.18	-0.02	-0.04	-0.04	-0.03
1978-2-10	0	53	10	85.87	-163.96	-284.14	-351.04	-2.16	0.09	-0.33	9.38	0.08	0.32	0.23	0.28	-0.18	-0.04	0.11	-0.07	0.26	0.21	0.07	0.10	-0.08	-0.01	0.08	0.07
1978-2-10	0	54	10	85.51	-164.02	-284.18	-351.12	-2.14	0.10	-0.37	9.31	-0.05	0.12	0.08	0.09	-0.15	-0.04	0.07	-0.15	0.13	0.01	-0.07	-0.10	-0.04	-0.01	0.03	-0.01
1978-2-10	0	55	0	85.26	-163.96	-284.11	-351.06	-2.13	0.14	-0.30	9.38	-0.10	0.05	0.08	0.04	-0.13	-0.01	0.13	-0.08	0.08	-0.06	-0.08	-0.15	-0.02	0.03	0.09	0.06
1978-2-10	0	55	45	85.01	-163.82	-284.12	-351.02	-2.14	0.08	-0.28	9.31	-0.18	0.08	-0.01	-0.00	-0.13	-0.09	0.15	-0.16	0.00	-0.04	-0.16	-0.19	-0.03	-0.05	0.11	-0.02
1978-2-10	0	56	35	84.79	-163.67	-283.99	-350.91	-1.98	0.25	-0.28	9.42	-0.19	0.10	0.04	0.01	0.03	0.08	0.14	-0.06	-0.01	-0.01	-0.12	-0.18	0.14	0.12	0.10	0.09
1978-2-10	0	57	20	84.66	-163.56	-283.83	-350.69	-2.15	0.13	-0.33	9.37	-0.14	0.11	0.12	0.13	-0.13	-0.06	0.08	-0.11	0.04	-0.01	-0.03	-0.05	-0.02	-0.02	0.05	0.04
1978-2-26	1	38	45	41.01	149.70	136.56	-428.85	-3.56	-0.66	13.12	2.65	-0.16	-0.04	0.09	-0.08	-0.07	0.02	0.08	-0.28	0.05	0.08	0.06	-0.23	-0.01	-0.05	0.00	-0.13
1978-2-26	1	39	30	40.82	149.69	136.78	-428.63	-3.65	-0.67	13.22	2.72	-0.13	0.06	0.18	0.07	-0.15	0.01	0.17	-0.21	0.08	0.18	0.15	-0.08	-0.09	-0.06	0.10	-0.06
1978-2-26	1	41	0	40.30	149.27	136.92	-428.68	-3.77	-0.79	13.05	2.59	-0.23	-0.12	0.06	-0.11	-0.26	-0.09										

ANNEXE C

HISTOGRAMMES DES (O-C) DES SERIES
D ' OBSERVATIONS DE L ' ANNEXE B



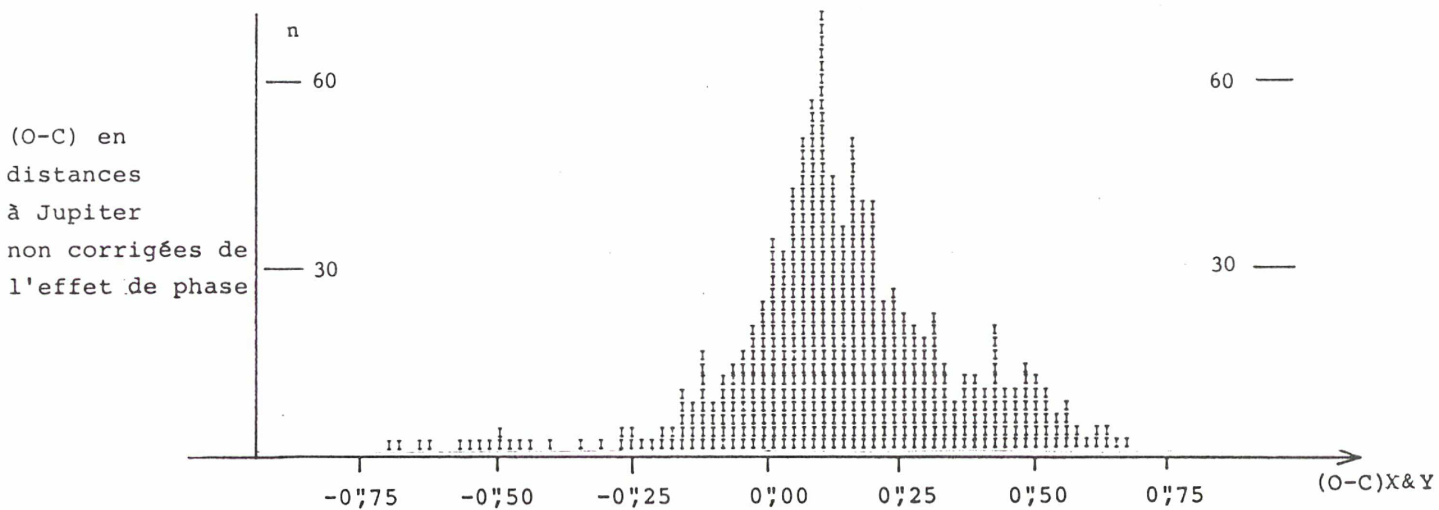
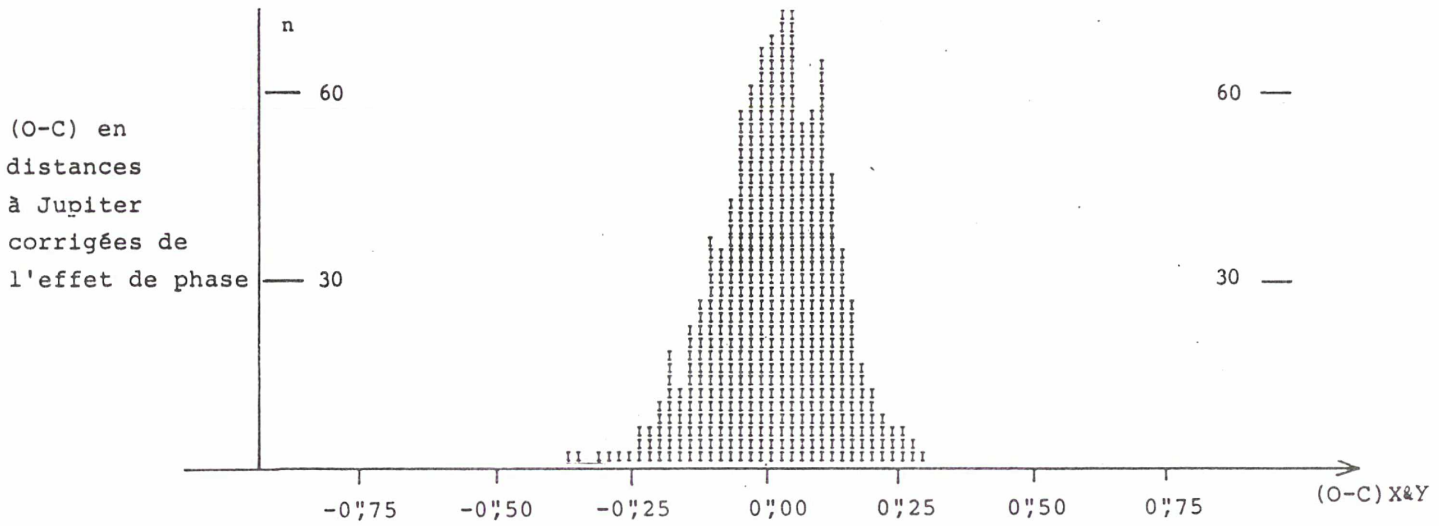
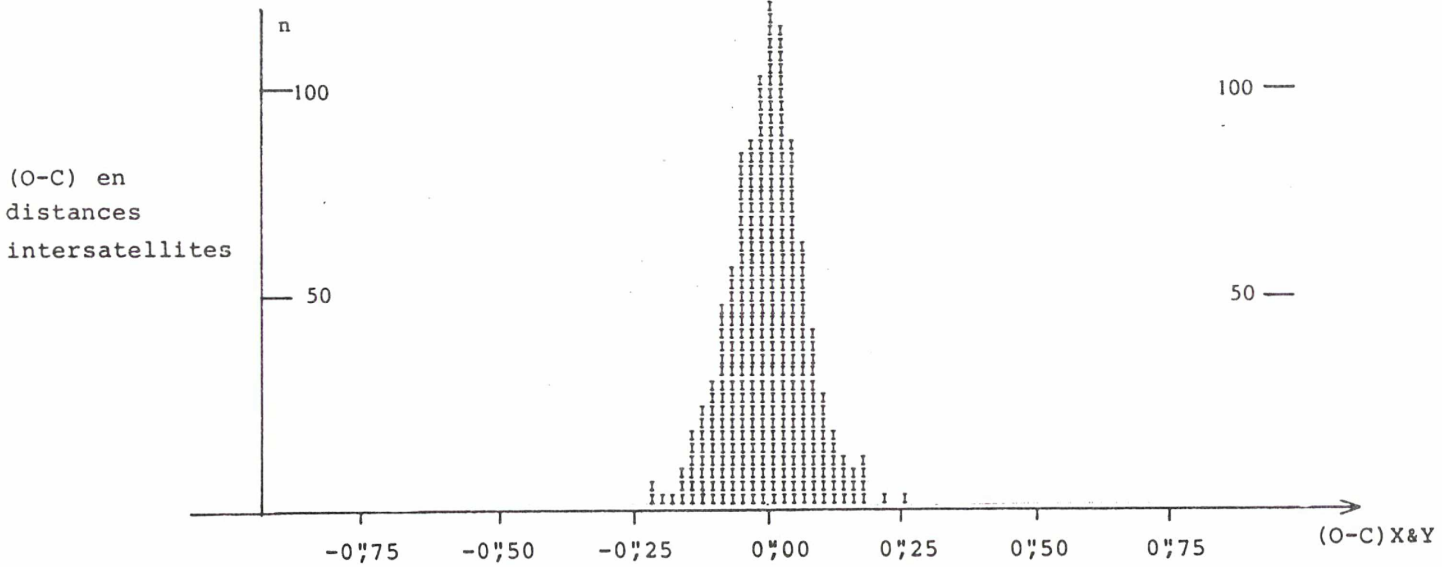
Nous donnons dans cette annexe, les histogrammes (ou diagrammes de fréquences) des (O-C) calculés avec l'éphéméride G-5 (cf chapitres 6 et 7). Les classes de fréquences ont une largeur de 0,"02 et vont de -1,"0 à +1,"0 , les valeurs extérieures étant stockées dans les classes extrêmes.

On trouvera tout d'abord (page C3), composantes X et Y confondues, les histogrammes de la série "long-foyer" 1974 (Pascu, USNO) en distances intersatellites ainsi qu'en distances à Jupiter corrigées puis non corrigées de la phase réelle. On a ainsi une idée de l'erreur systématique engendrée par l'effet de phase et de l'intérêt de la correction de phase réelle.

Les pages suivantes donnent les histogrammes: de la plupart des séries, groupées ou non (page C4 à C6); de l'ensemble des séries effectuées par Pascu de 1967 à 1978 avec la séparation des composantes X et Y, d'abord en distances intersatellites (page C7), puis en distances à Jupiter corrigées de l'effet de phase photographique réel (page C8); de l'ensemble de toutes les observations (page C9) avec aussi la séparation des composantes X et Y, en distances intersatellites; et enfin (page C10) de l'ensemble de toutes les séries en distances intersatellites sauf pour les observations de Pascu dont les (O-C) sont alors en distances à Jupiter, corrigées de la phase réelle.

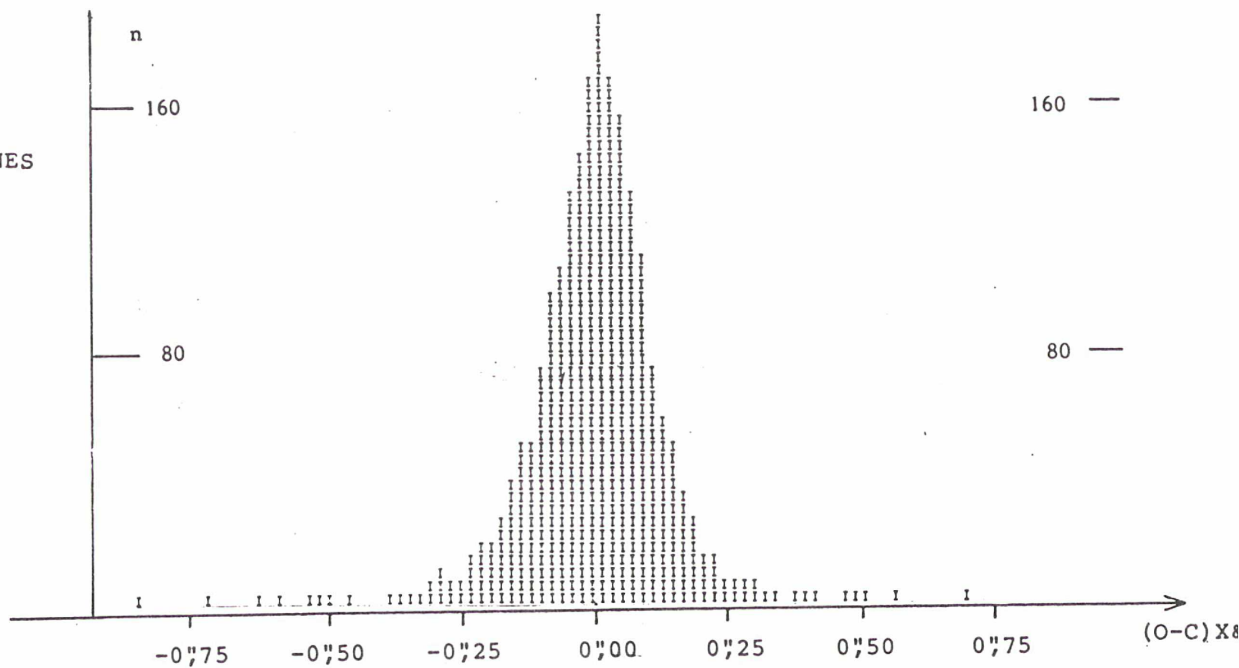
Si certaines séries, en général courtes, ont un diagramme des fréquences de mauvaise qualité, il n'en est pas de même pour les autres, et sur l'ensemble (pages C8 ou C9) on constate une loi de répartition, aussi bien en X qu' en Y, qui permet un traitement par la méthode des moindres carrés.

SERIE "LONG-FOYER" : Pascu, USNO, 1974 (f=9,9m)

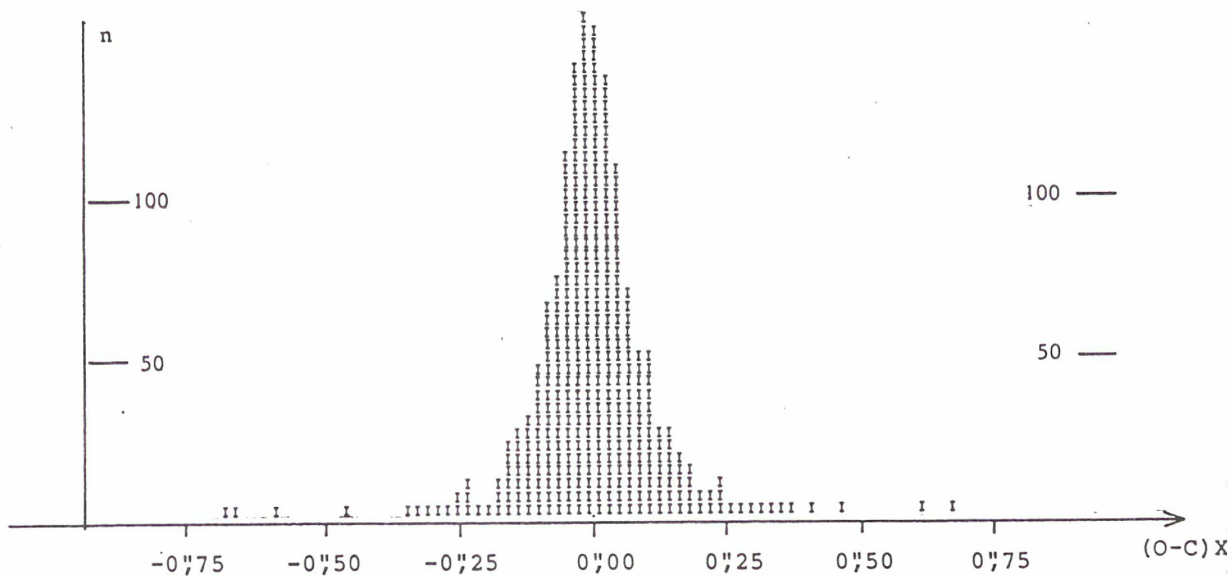


(O-C) en distances intersatellites

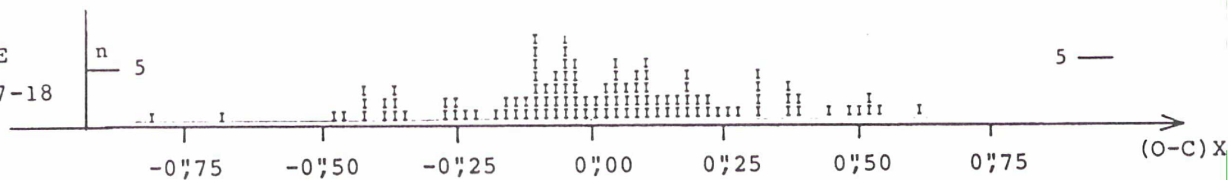
SERIES ANCIENNES
EFFECTUEES DE
1891 A 1910
f=3,4m



SERIES DITES
"DE DE SITTER"
EFFECTUEES
DE 1913 A 1928
f=5,2 à 10,9m

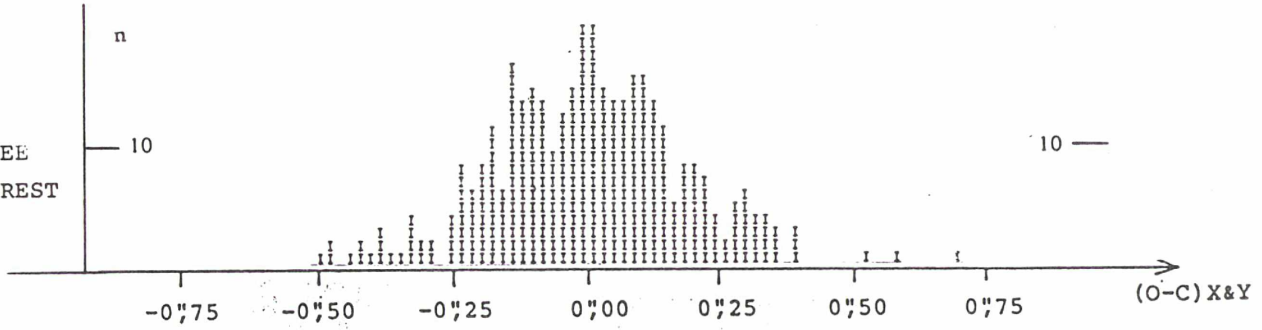


SERIE DE ZO-SE
CHEVALIER, 1917-18
f=7,1m

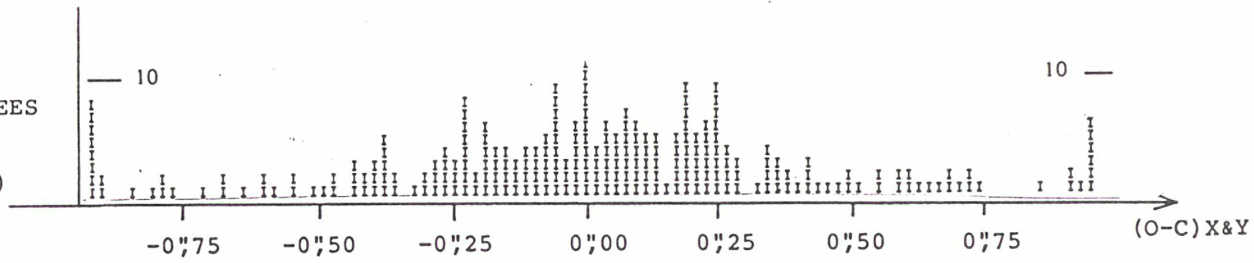


(O-C) en distances intersatellites

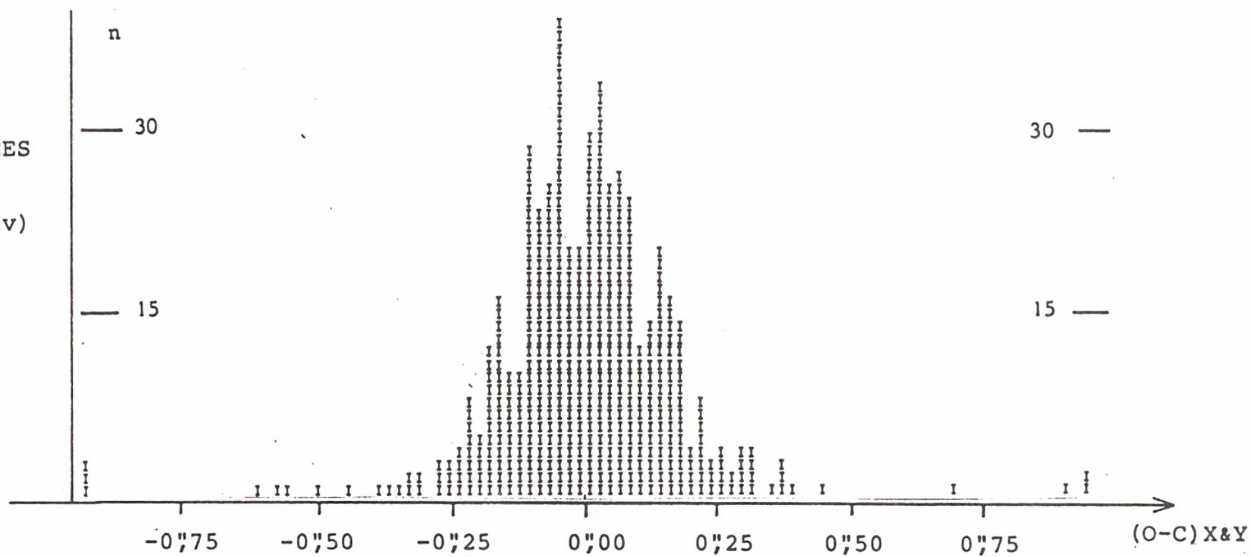
SERIE EFFECTUEE
EN 1934 A BUCAREST
(Petrescu)
f=6,1m



SERIES EFFECTUEES
EN 1961-62-63
(Van Biesbroek)
f=2,3m

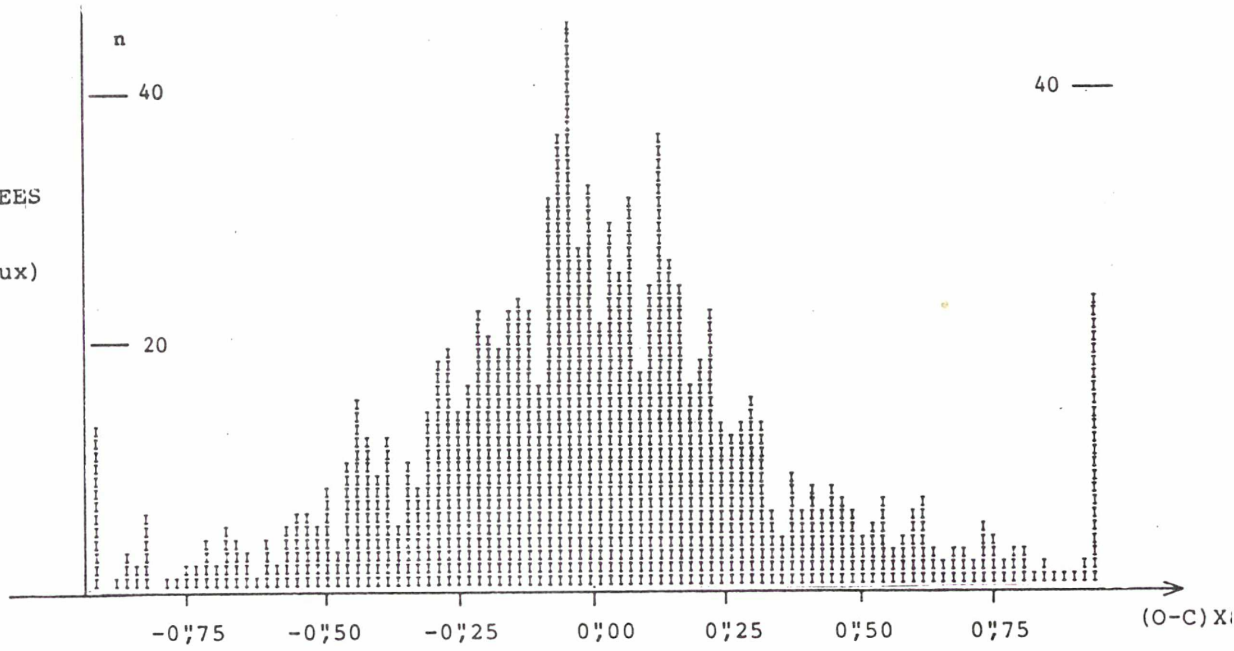


SERIES EFFECTUEES
DE 1962 A 1973
(Gorel, Nicolaiev)
f=2,5m

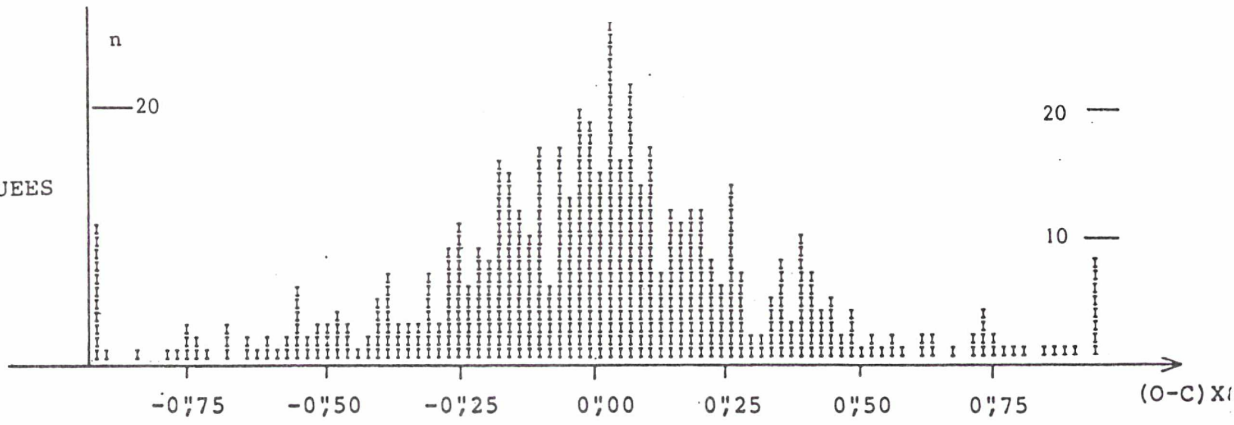


(O-C) en distances intersatellites

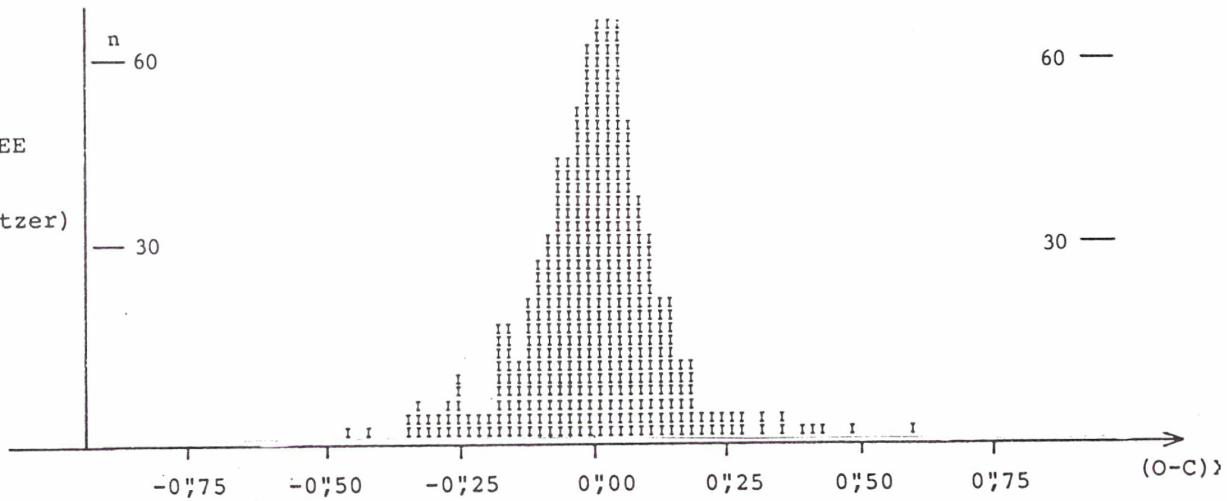
SERIES EFFECTUEES
DE 1966 A 1974
(Soulié, Bordeaux)
f=3,4m



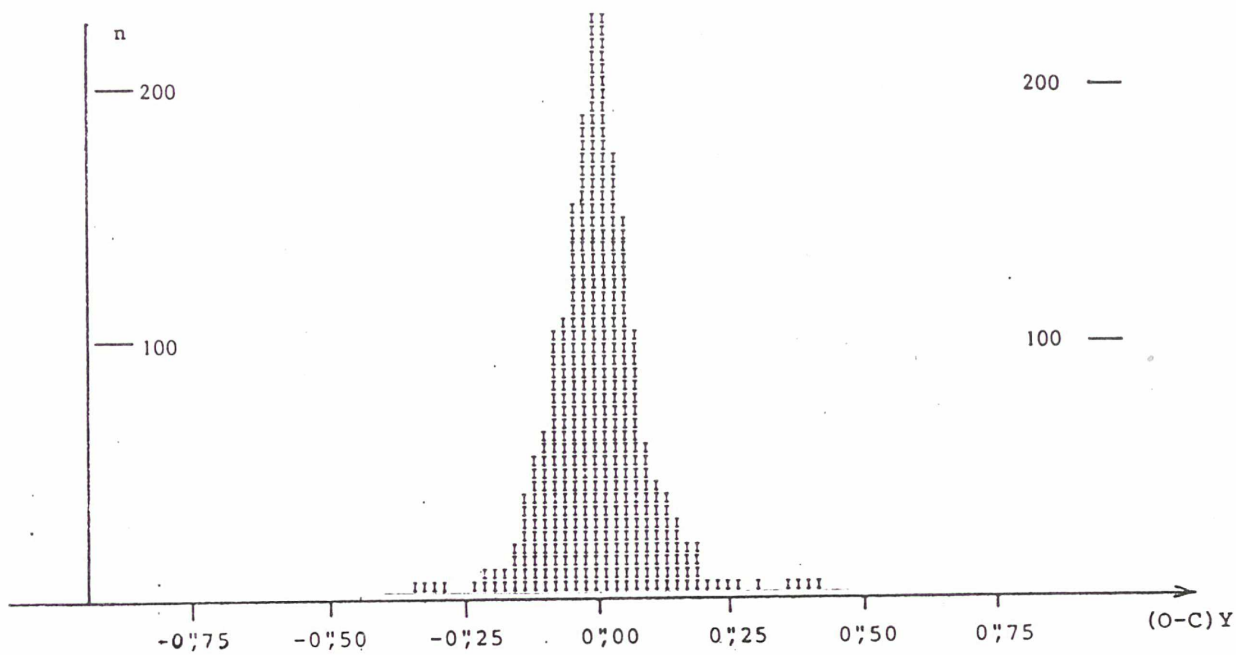
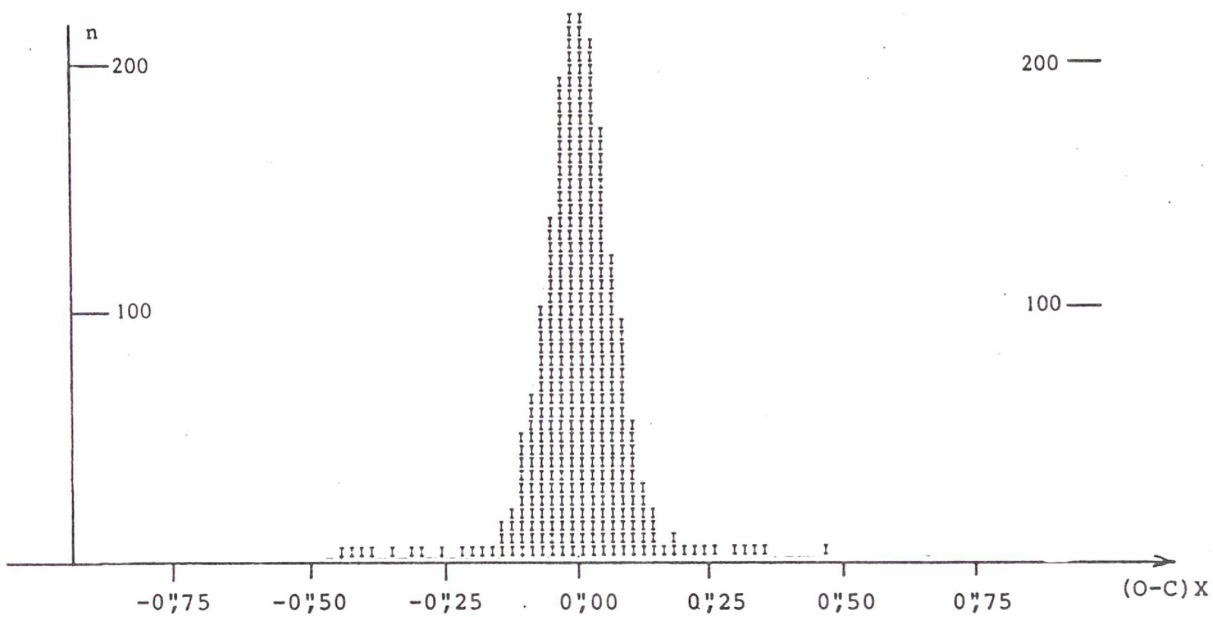
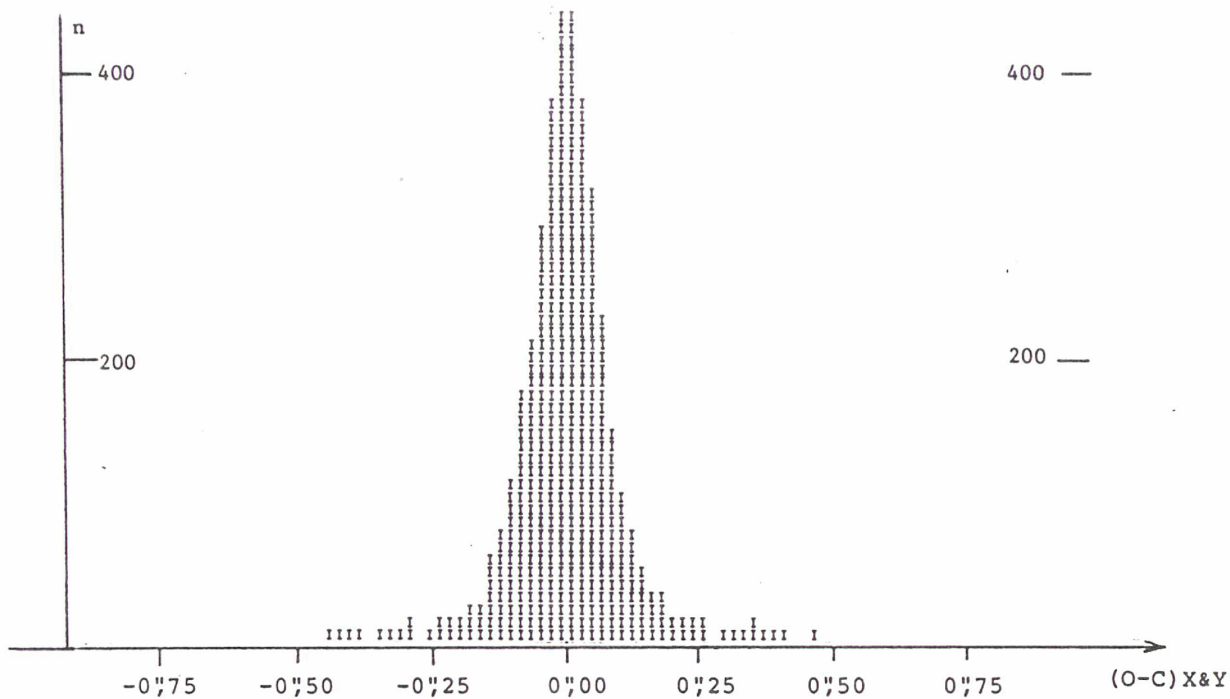
SERIES EFFECTUEES
EN 1977-1978
(Debehogne)
f=1 à 4m



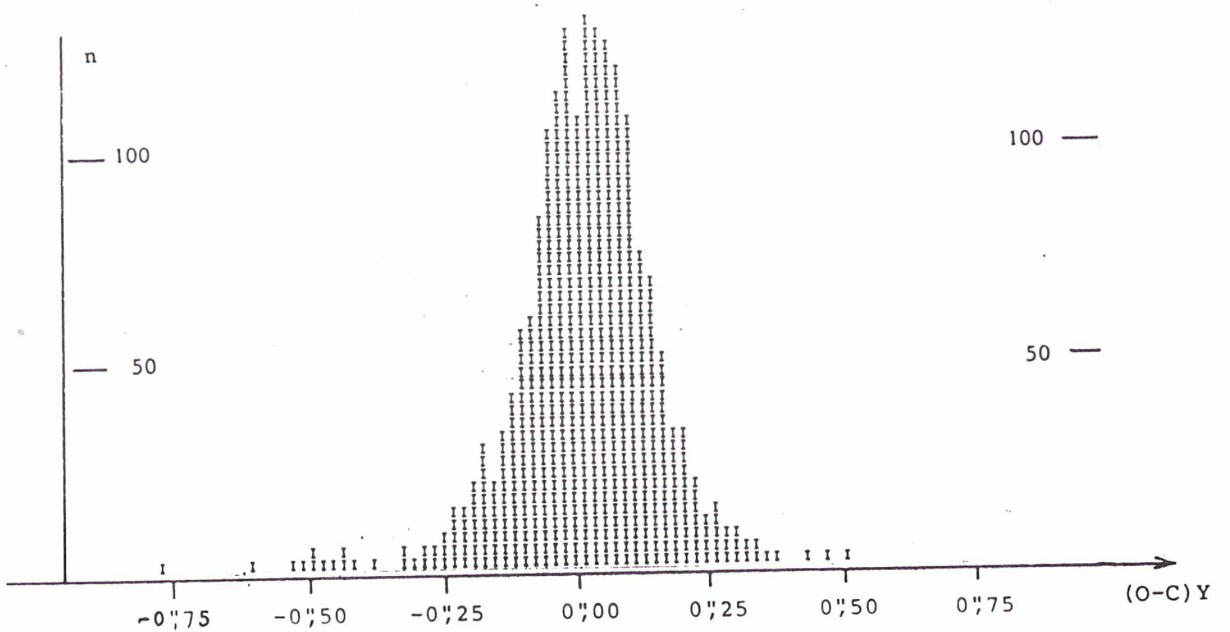
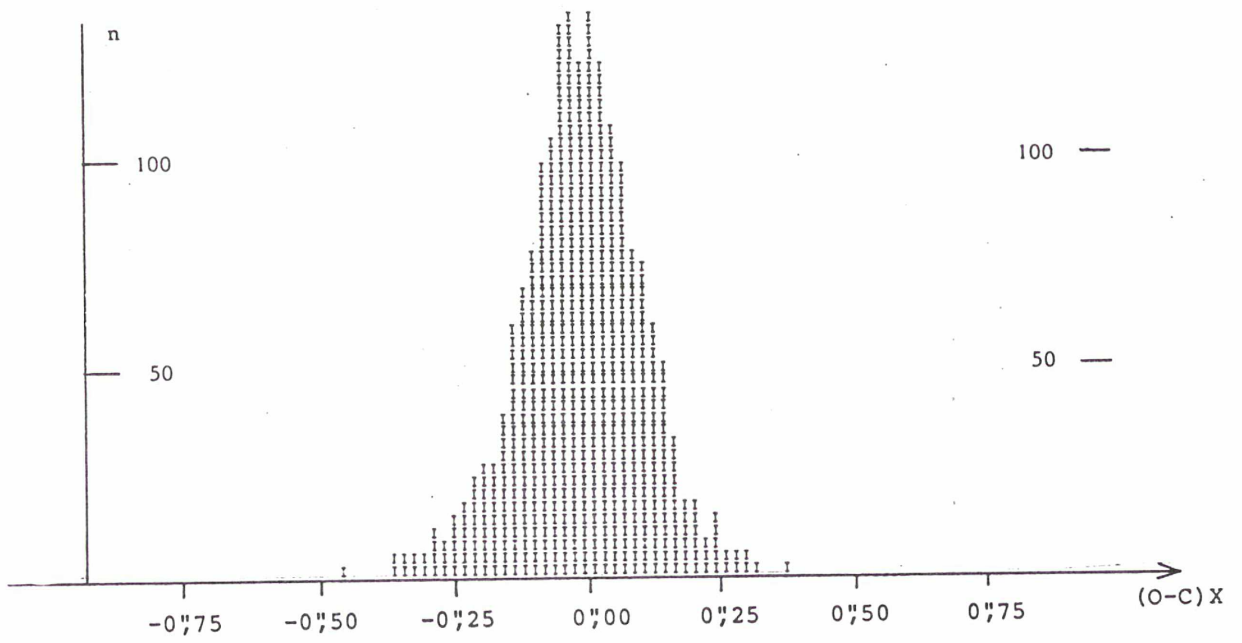
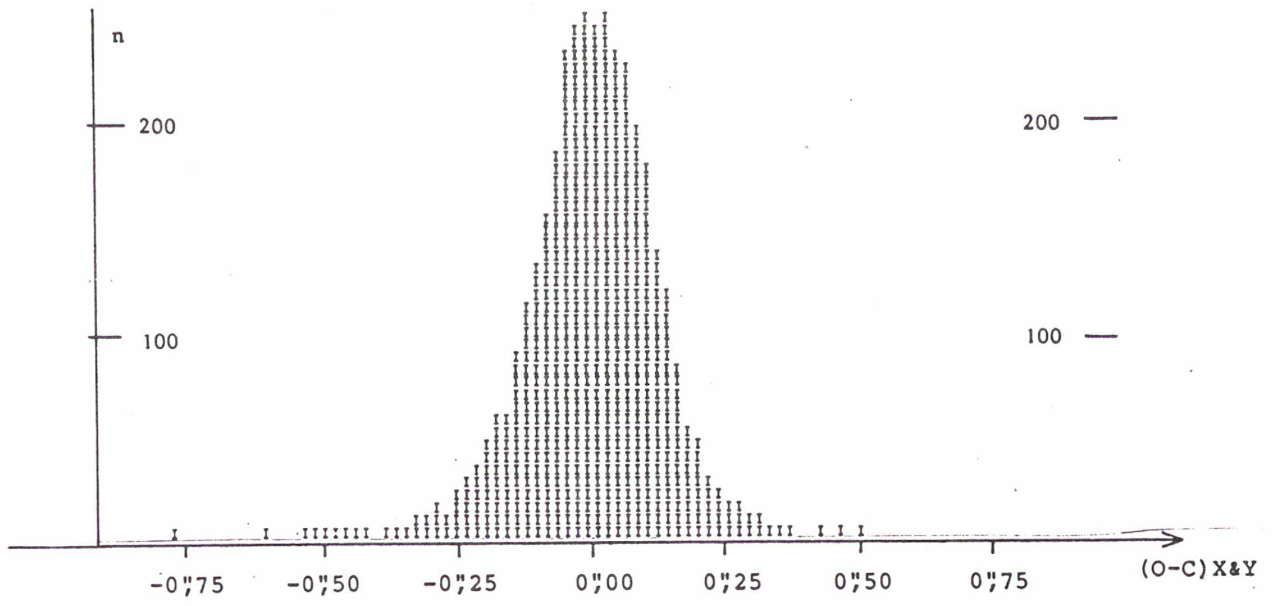
SERIE EFFECTUEE
EN 1977-1978
(Ianna et Seitzer)
f=9,9m



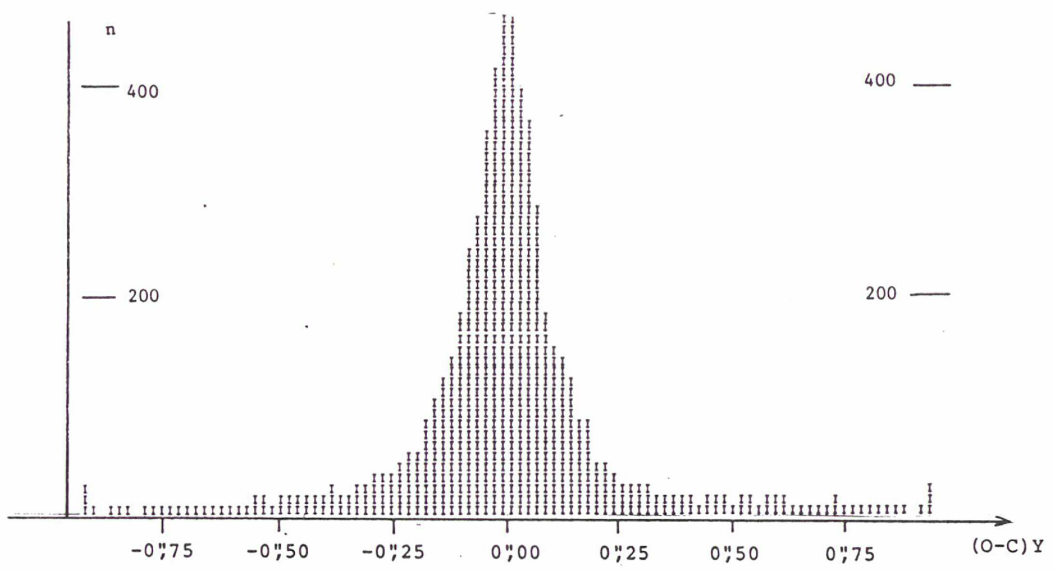
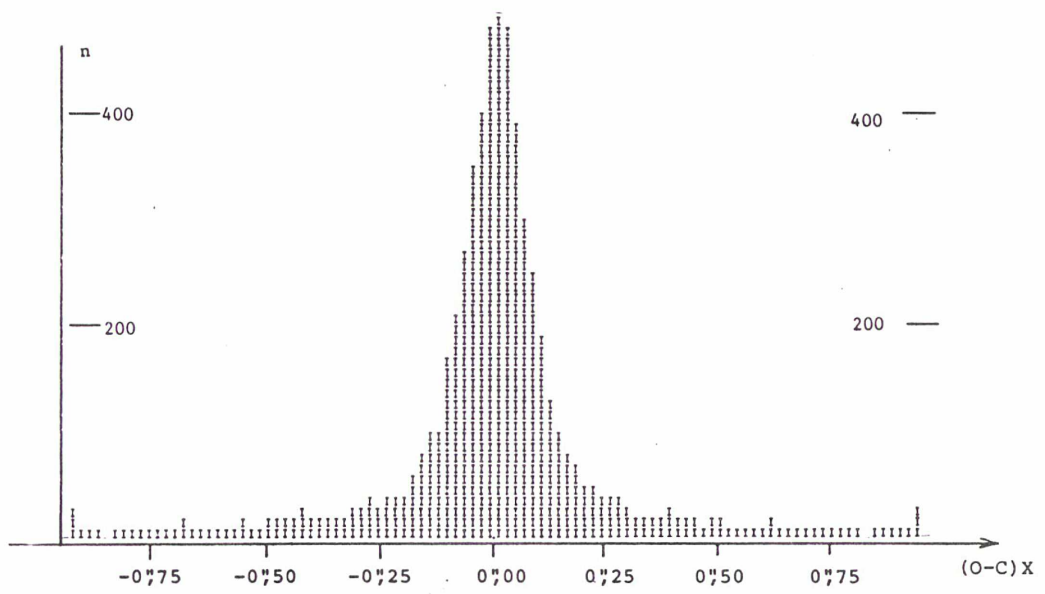
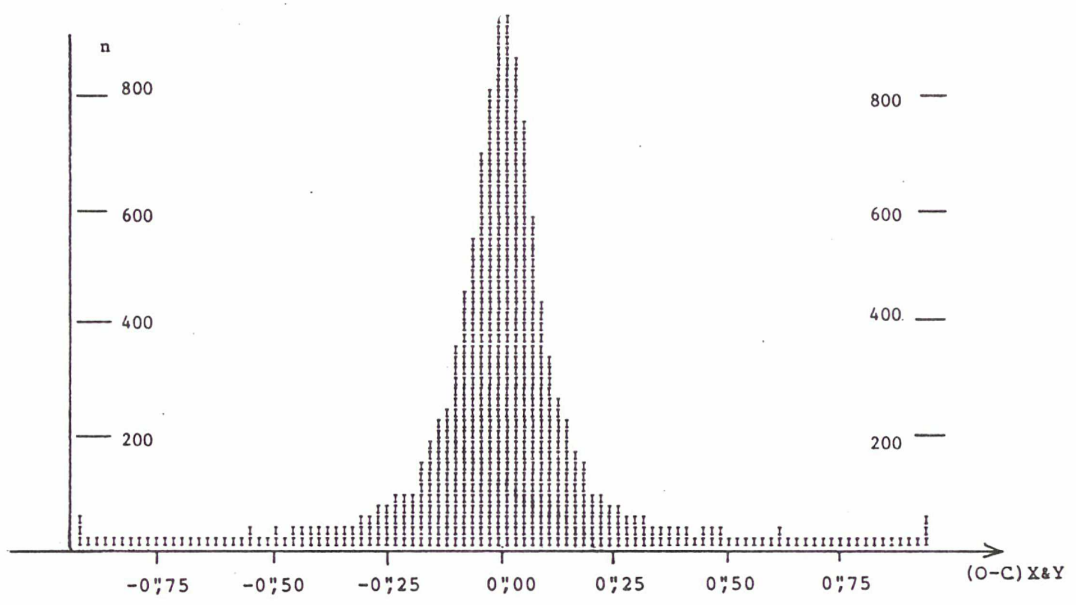
SERIES "LONG-FOYER" : PASCU 1967 A 1978
(O-C) en distances intersatellites



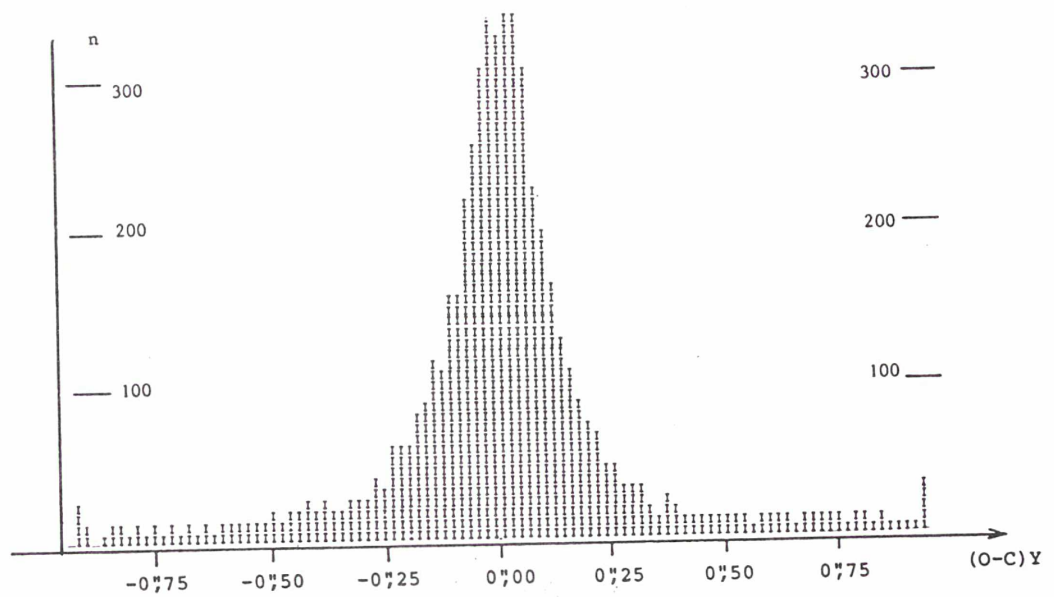
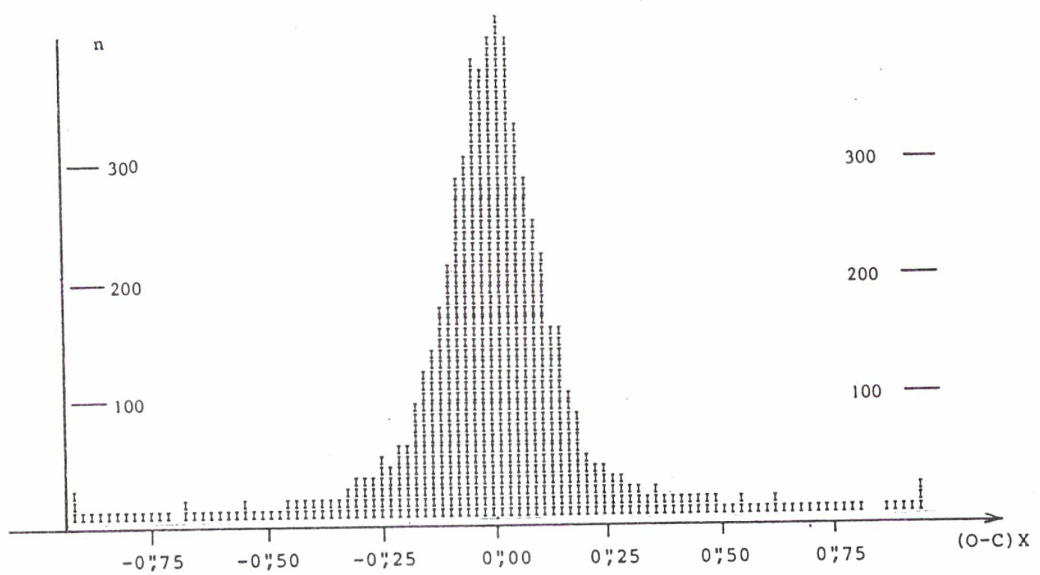
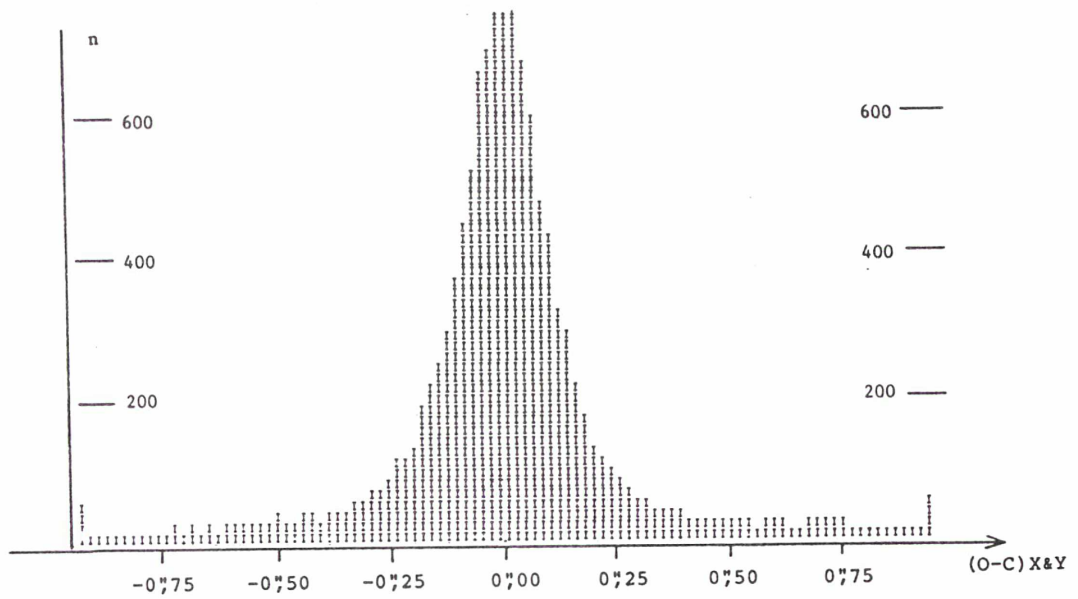
SERIES "LONG-FOYER" : PASCU 1967 A 1978
(O-C) en distances à Jupiter corrigés
de l'effet de phase réel



ENSEMBLE DE TOUTES LES SERIES D'OBSERVATIONS
(O-C) en distances intersatellites



ENSEMBLE DE TOUTES LES SERIES D'OBSERVATIONS
(O-C) en distances à Jupiter corrigées de la
phase réelle pour les séries "long-foyer"
(Pascu 1967 à 1978)
(O-C) en distances intersatellites pour toutes
les autres séries



ANNEXE D

LES RESULTATS DE LA CAMPAGNE D ' OBSERVATIONS
" PHEMU 79 " DES PHENOMENES MUTUELS DES
SATELLITES GALILEENS DE JUPITER

Les résultats de la campagne d'observation PHEMU79 des phénomènes mutuels des satellites galiléens de Jupiter en 1979

J.-E. Arlot¹, A. Bernard², P. Bouchet³, J. Daguillon⁴, G. Dourneau⁵, A. Figer, G. Helmer⁶, J. Lecacheux⁷, Ph. Merlin², C. Meyer⁶, P. Mianes⁸, B. Morando¹, D. Naves⁶, J. Rousseau², G. Soulié⁵, A. Terzan², W. Thuillot¹, L. Vapillon⁷ et G. Wlérick⁷

¹ Service de Mécanique Céleste du Bureau des Longitudes, 77 avenue Denfert-Rochereau, F-75014 Paris, France

² Observatoire de Lyon

³ European Southern Observatory, La Silla

⁴ Observatoire Saint-Michel de Haute-Provence

⁵ Observatoire de Bordeaux

⁶ Observatoire de Nice et CERGA

⁷ Observatoire de Meudon

⁸ Observatoire de Toulouse

Reçu le 5 octobre, accepté le 23 décembre 1981

Results of the PHEMU79 Observation Campaign of Mutual Phenomena of the Galilean Satellites of Jupiter in 1979

Summary. In 1979 and 1980, mutual phenomena of the Galilean Satellites of Jupiter occurred, the jovian declinations of the Earth and the Sun being equal to zero during this period. Unfortunately, the conjunction of Jupiter with the Sun occurred during the most favorable period for those phenomena so that the possibilities of observation were very poor. However it was important to get such observations during this period in order to avoid the lack of observations of mutual phenomena from 1973 to 1985 (the nearest favorable periods). Observations of mutual phenomena are necessary because most observations of the Galilean Satellites are either photographic, or observations of eclipses: a new type of observation being quite useful.

So a campaign of observations was made in France in order to observe as many of those phenomena as possible. Nine phenomena were observed. In 1979: January 14 (J2 occults J3); January 28 (J2 eclipses J3 and J2 occults J3); June 16 (J3 eclipses J1); October 1 (J1 eclipses J2 and J1 occults J2); October 6 (J2 eclipses J3); October 8 (J1 eclipses J2) and in 1980: April 18 (J2 occults J1). Except for the occultation on January 28, 1979, the analysis was possible. Fourteen observations were made with photometers in several wavelengths (0.62 μm , 0.73 μm , 0.89 μm , *U*, *B*, *V*): fourteen lightcurves are presented. Six observations were made without a classic photometer: with a TV camera, with a photographic camera or visually.

A discussion is made for each observation and several methods of reduction are used. Four different predictions are compared with the observations. For three ephemerides, differences observations minus tables in longitude have been calculated using the observations together and are given for the observed satellites.

Key words: galilean satellites – mutual phenomena – observations – photometry

Les commandes de tirés à part sont à envoyer à: J.-E. Arlot

I. Présentation de la campagne d'observations

Les quatre gros satellites de Jupiter découverts en 1610 par Galilée, décrivent des orbites quasi circulaires situées dans des plans très voisins du plan équatorial de la planète. L'étude du mouvement de ces corps est un problème très difficile car aux perturbations mutuelles des satellites, il faut ajouter les perturbations solaires, celles qui sont dues à l'aplatissement de Jupiter et prendre en compte les relations qui introduisent des effets de résonance.

La théorie actuellement utilisée pour établir les éphémérides est celle des Sampson (1921) qui a été corrigée et améliorée notamment au Bureau des Longitudes et au Jet Propulsion Laboratory. Une théorie nouvelle établie au Bureau des Longitudes par Sagnier (1981) sur une idée de S. Ferraz-Mello est en cours de programmation au Bureau des Longitudes.

L'amélioration de théories existantes ou la détermination des constantes d'une théorie nouvelle exigent des observations nombreuses et précises. Ces observations sont en général soit des observations de phénomènes surtout d'éclipses des satellites par la planète, soit des relevés de positions des satellites sur des plaques photographiques. Les anciennes éclipses peuvent être utiles pour avoir des positions aux époques où seul ce type d'observation était disponible; à l'heure actuelle elles sont supplantées, peut être à tort, par les observations photographiques. Quant aux observations photographiques elles sont malheureusement peu nombreuses et présentent des difficultés de réduction, difficultés que des travaux récents, en particulier de Arlot (1980), ont d'ailleurs contribué à aplanir.

Il était donc très intéressant de tenter d'exploiter des observations d'un autre type. Tous les six ans à peu près la Terre traverse le plan équatorial de Jupiter, de ce fait se produisent, vus de la Terre, des phénomènes mutuels des satellites: occultations d'un satellite par un autre quand les deux satellites sont alignés avec la Terre, éclipse d'un satellite par un autre quand les deux satellites sont alignés avec le Soleil. La Fig. 1 donne les valeurs des déclinaisons jovicentriques de la Terre et du Soleil pour les périodes favorables aux phénomènes mutuels.

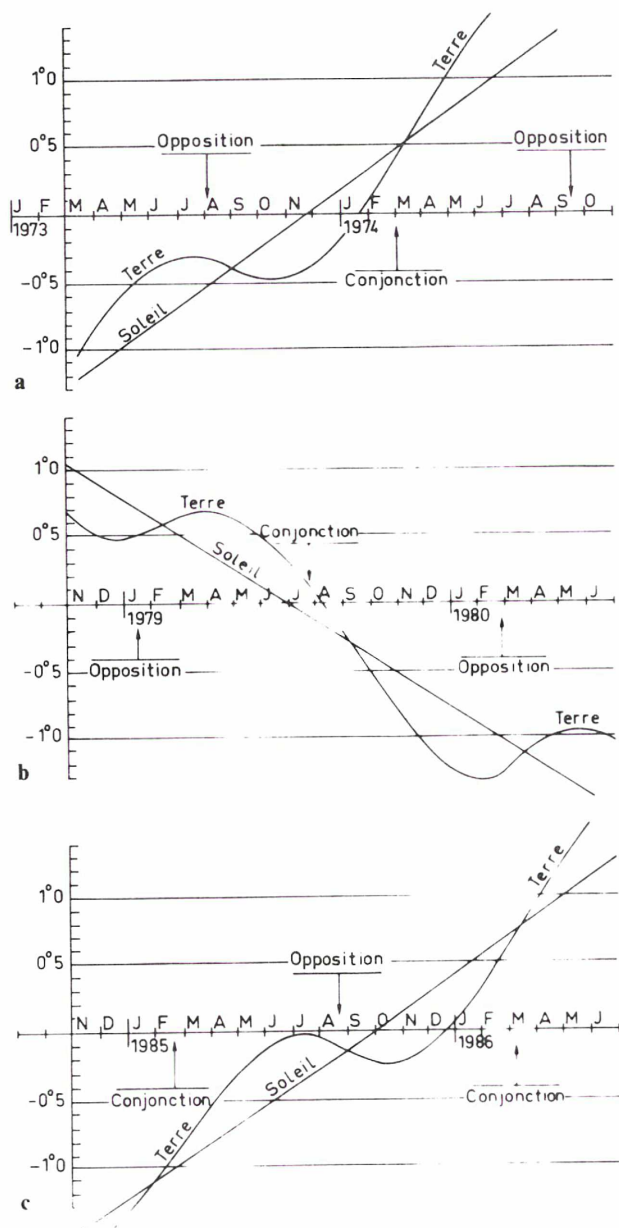


Fig. 1a-c. Déclinaisons jovicentriques du soleil et de la terre en degrés lors des époques favorables aux phénomènes mutuels de 1973, 1979 et 1985

L'observation des phénomènes mutuels par tous les moyens (visuels, photographiques) mais surtout par des moyens précis comme l'observation photoélectrique donne des informations importantes sur les paramètres des orbites et si l'on admet les valeurs des masses et des rayons des satellites donnés avec une grande précision par l'exploration spatiale (Voyager 1 et 2), les phénomènes mutuels donneront de bonnes valeurs des inclinaisons et des longitudes des nœuds.

Il faut noter également la précision de l'observation de ces phénomènes par rapport aux observations photographiques: le Tableau 1 indique le nombre d'observations photographiques nécessaires à l'obtention de la précision obtenue sur l'observation du phénomène mutuel du 14/1/1979.

En 1973 des essais encourageants d'observations des phénomènes mutuels avaient été effectués par Arlot et al. (1974) en France, et aux Etats-Unis Aksnes et Franklin (1976) avaient réuni un grand nombre d'observations. Pour la série de phénomènes de 1979, le Bureau des Longitudes a décidé d'engager une campagne des astronomes français équipés pour de telles observations. Malgré la pauvreté de la série de phénomènes en 1979 (noter la date de la conjonction Jupiter-Soleil en 1979 sur la Fig. 1) et quelques déboires sur le plan météorologique (le Tableau 2 donne la liste des phénomènes observés, des observatoires et des conditions d'observations), la campagne, appelée campagne PHEMU79, a donné de très bons résultats qui sont donnés dans cet article: elle a permis aussi de mettre au point les techniques que l'on utilisera de nouveau au moment de la série beaucoup plus favorable de phénomènes de 1985.

II. Les observations: résultats

A. Observations photométriques

1. Phénomènes du 14 janvier (J2 Oc. J3), du 1 octobre (J1 Oc. J2) du 6 octobre (J2 Ec. J3) et du 8 octobre 1979 (J1 Ec. J2) observés à l'Observatoire Saint-Michel de Haute-Provence au télescope de 80 cm, à l'observatoire du Chirán au télescope de 1 m et à l'Observatoire du Pic-du-Midi au télescope de 1 m

a) Le photomètre. Il n'existe présentement aucune description publiée du photomètre «PLEYEL». Construit en 1976 à l'Observatoire de Meudon par Loïc Vapillon, J. Berezne et J. Lecacheux pour un programme d'occultations stellaires par des objets du Système Solaire, en particulier par les atmosphères d'Uranus et de Neptune, il possède, par suite, des caractéristiques qui le différencient quelque peu de la majorité des photomètres photo-électriques en usage.

Tableau 1. Précisions comparées des observations photographiques et des observations de phénomènes mutuels pour la détermination des longitudes des satellites galiléens

Précision des observations photographiques «long foyer» (en s)

Durée d'une série d'obs.	6 mois	3 mois	2 mois	1 mois	18 j.	10 j.
Nombre de clichés	95	72	26	19	10	16
sat 1	8s	10s	29s	22	20s	62s
sat 2	10s	13s	32s	52s	68s	72s
sat 3	14s	22s	42s	30s	41s	116s
sat 4	17s	19s	40s	42s	53s	79s

Précision des observations du phénomène mutuel du 14-1-79 (en s)

OHP	T60	V de UBV	15 secondes
OHP	T80	7500 Å	} 10 secondes
OHP	T80	8900 Å	
OHP	Chirán	U de UBV	} 120 secondes
NICE	T40	6130 Å	
GORNERGRAT		B de UBV	15 secondes
BORDEAUX		photographie	50 secondes
BORDEAUX		photographie	180 secondes

Tableau 2. Conditions d'observations des phénomènes mutuels

Date	Phénomène	Heure UT	Grandeur	distance			Observatoires													
				à Jupiter en R	à la Lune en (°)	âge de la Lune	Meudon hauteurs	Bordeaux hauteurs	Gornergrat hauteurs	Nice hauteurs	OHP hauteurs	Pic du Midi hauteurs	La Silla hauteurs							
				7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0					
1979 14 janvier	2O3 (partielle)	23 ^h 37 ^m	0,07	8,7		17j	+57° non tenté	-62°	+60° ←	-65°	+62°	-65°	+64°	-68°	+63°	-67°	+62°	-67° non tenté	non observable	
1979 28 janvier	2E3 (annulaire)	7 ^h 17 ^m	18%	3,2	174°	1j												+28° Jupiter bas	-31°	
1979 28 janvier	2O3 (annulaire)	7 ^h 57 ^m	0,78	2,6	174°	1j												non observable	sur l'horizon	
1979 16 juin	3E1 (annulaire)	20 ^h 25 ^m	64%	5,8		22j	+19° observation difficile (crépuscule)	-4°	+20°	-16°	+15°	-9°	+15°	-10°	+16°	-10°	+20°	-7°		
1979 1 octobre	1E2 (annulaire)	3 ^h 05 ^m	56%	4,8		11j	+6° observation impossible pour être observable	-27°	+3°	-30°	+9°	-25°	+9°	-26°	+7° observation difficile	-27°	+3° observation impossible	-31°		
1979 1 octobre	1O2 (partielle)	4 ^h 24 ^m	0,69	5,6		11j	+19° conditions favorables	-15°	+17°	-17°	+23°	-11°	+23°	-12°	+22°	-13°	+18°	-17°		
1979 6 octobre	2E3 (pénombre)	5 ^h 02 ^m	0%	4,0		16j	+27° observation impossible car éclipse par la pénombre	-10°	+26°	-12°	+32°	-6°	+32°	-6°	+31°	-8°	+27°	-12°	très difficile	
1979 8 octobre	1E2 (annulaire)	5 ^h 29 ^m	74%	4,6		18j	+32° mauvais temps	-6°	+32°	-8°	+37° impossible du fait du crépuscule	-2°	+38°	-2°	+37°	-3°	+33°	-7°	observation difficile	
1980 18 avril	2O1 (partielle)	1 ^h 46 ^m	0,22	5,6		4j	conditions défavorables		mauvais temps		conditions défavorables		mauvais temps					non tenté		

Nota: Les phénomènes observables non indiqués ici se sont déroulés avec du mauvais temps

Phénomènes:

1O2 = 1 occulte 2

1E2 = 1 éclipse 2

Il est tout d'abord optimisé pour les longueurs d'onde des bandes d'absorption rouges du méthane (0,62 μm , 0,73 μm , 0,89 μm) ou pour le continu adjacent: les surfaces optiques sont traitées anti-reflet autour de 0,83 μm , ce qui explique notre choix de filtres un peu particulier lorsque nous avons observé les satellites de Jupiter. Le photomètre contient deux canaux de mesures simultanées séparés à l'entrée (voir la Fig. 2) par une lame séparatrice dichroïque qui réfléchit en deçà de 0,8 μm et transmet au delà. Les tubes photomultiplicateurs sont des «Quantacon» de RCA, modèle C 31034 A, à photo-cathode d'arséniure de gallium, que nous refroidissons vers -20°C au moyen d'enceintes à effet Peltier.

Les autres dispositifs particuliers sont une optique de relais permettant l'adaptation du photomètre à diverses ouvertures de faisceau, un oculaire à visée «reflex» pour la surveillance visuelle continue de l'astre mesuré, un centrage «offset» pour pointer et suivre si nécessaire un astre faible invisible dans l'oculaire, et enfin un système de recentrage interne au photomètre et à commande manuelle, qui garantit au besoin un suivi parfait sans faire usage des mouvements de rappel du télescope. L'intérieur du photomètre est conçu pour arrêter au maximum toute lumière diffusée parasite, ce qui autorise des mesures correctes dans une ambiance lumineuse telle qu'un crépuscule clair. Enfin, on peut encore insérer dans l'optique de relais un masque coronographique, lors de mesures occasionnelles près du limbe d'une planète brillante.

Les effets de polarisation introduits inévitablement par les réflexions multiples sur les surfaces à 45° dans le photomètre, n'ont pas de conséquences pratiques dans le type de mesures décrit dans cet article. Du reste, nous avons toujours observé durant les essais sur le ciel, une excellente concordance entre les résultats des 2 voies.

La chaîne électronique de digitalisation, de comptage et d'enregistrement, qui est pilotée par un micro-processeur SCMP de National Semiconductors, est classique par ses performances. Elle permet une cadence maximale de 10 mesures par seconde.

b) *Les observations.* Les conditions d'observation sont données dans le Tableau 2. Passons aux résultats.

c) *Occultation partielle de J3 par J2 le 14 janvier 1979.* Ce phénomène d'amplitude très minime a été observé dans de bonnes conditions atmosphériques à la fois depuis l'observatoire de St Michel et depuis la station voisine du Mt Chiran.

Le photomètre «PLEYEL» était monté sur le télescope de 80 cm et muni de filtres interférentiels à 0,745 μm et 0,88 μm . L'éclairement du ciel par la pleine lune qui n'était qu'à 7° du point visé ne gênait pas sensiblement les mesures d'un astre de 4^{ème} magnitude comme celui que nous observions. En effet la magnitude globale en lumière rouge du couple non-résolu J3+J2 atteignait $R=3,7$, alors que la brillance du fond de ciel restait aux confins de $R=16,5$ carrée sans varier de plus d'un facteur 2 au cours de la nuit. Nous avons testé la stabilité combinée de

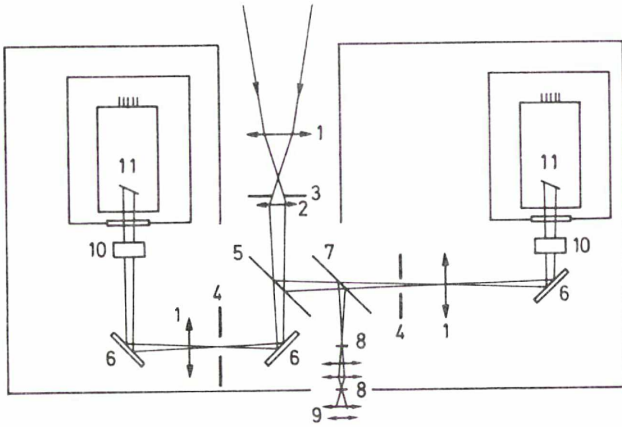


Fig. 2. Le photomètre «PLEYEL». 1 Lentilles; 2 lentille de champ mobile (système de guidage); 3 diaphragme; 4 diaphragmes de champ réglables; 5 lame séparatrice dichroïque; 6 miroirs argentés; 7 lame séparatrice réfléchissant 5 %, 15 % ou 50 % du flux lumineux; 8 réticules; 9 oculaire; 10 filtres interférentiels; 11 tubes photomultiplicateurs avec enceinte de refroidissement

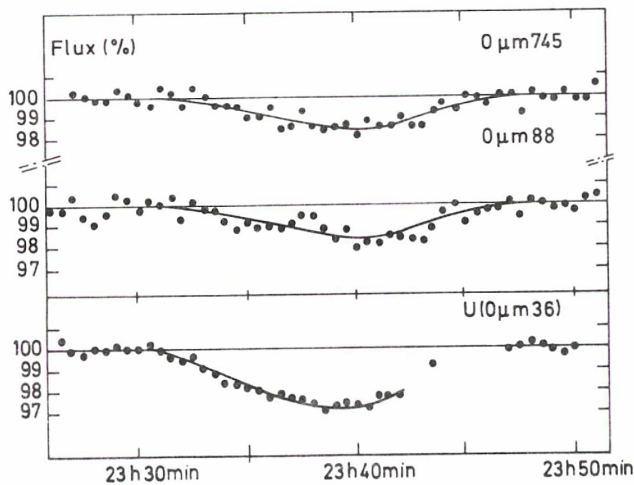


Fig. 3. Occultation partielle de J3 par J2, le 14 janvier 1979 (intégration : 0^m5)

l'atmosphère et de la chaîne de mesure en observant J4 à intervalles réguliers, depuis l'instant où la masse d'air atteignait 2,2 jusqu'après la culmination. La transmission atmosphérique à 0,745 μm suivait une loi de Bouguer impeccable de pente 0,072 mag/unité de sec z, avec une dispersion aléatoire des points ne dépassant pas 0,007 mag (écart-type). Le canal à 0,88 μm (qui donnait une extinction de 0,051 mag/unité de sec z) était quant à lui un peu moins stable, peut être en raison de petites imperfections du refroidissement régulier qui devaient faire varier un peu la coupure de la réponse du «Quantacon» du côté rouge. On pourrait aussi penser à de légères fluctuations de la quantité de vapeur d'eau tellurique le long de la ligne de visée, cause de changements d'opacité dans l'aile bleue de la bande γ de H_2O .

Les courbes de lumière obtenues après réduction complète des mesures sont montrées sur la Fig. 3. Leur asymétrie traduit une forte accélération du mouvement mutuel des deux satellites pendant les mesures. La courbe à 0,745 μm a un minimum peu marqué de $0,015 \pm 0,001$ mag de profondeur à $23^{\text{h}}40^{\text{m}}10^{\text{s}} \pm 15^{\text{s}}$ (UT). La courbe de 0,88 μm lui ressemble beaucoup, mais est

légèrement affectée par les petites perturbations évoquées plus haut qui doivent rendre moins sûre la détermination de l'instant de conjonction. C'est pourquoi nous préférons utiliser à des fins astrométriques plutôt l'observation à 0,745 μm .

L'observation du Mt Chiran (altitude 1900 m) a été réalisée avec le télescope «MARLY» équipé d'un photomètre *UBV* analogique conventionnel calé sur le filtre *U*. Le bruit dû à la scintillation est très réduit (comme on peut le voir sur la Fig. 3), mais des mesures brutes révèlent des symptômes de variation irrégulière de la transmission ultra-violette. C'est pourquoi nous pensons que la forme générale de cette courbe est finalement moins digne de confiance que celle des courbes jumelles de St Michel. Et cela explique sans doute l'avance apparente de 40 s de son minimum par rapport à celui de St Michel. Du point de vue des applications astrométriques l'incertitude sur l'heure de la conjonction pourrait atteindre ± 50 s, pensons-nous, si cette courbe ultra-violette était seule considérée. L'amplitude lumineuse plus grande en ultra-violet est en revanche un fait réel : cela s'explique par l'assombrissement relatif de J2 par rapport à J3 dans la partie violette du spectre (cf. par exemple Johnson et Pilcher, 1977).

Afin de vérifier la cohérence d'ensemble des valeurs d'albedo utilisées avec les flux mesurés, nous avons examiné soigneusement la différence de magnitude entre J4 et le couple serré J3 + J2 avant et après l'occultation. Le canal à 0,88 μm donnait une différence de $1,604 \pm 0,004$ mag, alors que la valeur prédite d'après Johnson et Pilcher (1977) ou Clark et McCord (1979) était $1,61 \pm 0,02$. Un si bon accord justifie une déduction de la différence probable J3 - J2 à 0,745 μm à partir des variations rotationnelles d'éclat mesurées dans la bande *R* par Johnson et Pilcher (1977) : $-0,64 \pm 0,03$ mag. Le rapport $J3/(J3 + J2)$ est ensuite $0,643 \pm 0,007$ (hors éclipse), et l'amplitude vraie de l'occultation de J3, $0,024 \pm 0,002$. Supposant de plus que la région polaire de J3 n'a pas une couleur ou un albedo particulièrement différent des autres régions, et que l'assombrissement centre-bord est négligeable, on obtient finalement la distance de plus courte approche : 3742 ± 24 km, ou $1^{\circ}.197 \pm 0^{\circ}.008$.

Notre manque de données sur la forte amplitude ultra-violette de J2 durant sa rotation, ou sur les propriétés photométriques du limbe de J3, ne permet pas d'espérer une précision comparable à partir des données du Mt Chiran.

d) *Occultation partielle de J2 par J1 le 1 octobre 1979.* Comme cette occultation se produisait à grande distance du zénith (73°), les mesures se trouvaient quelque peu dégradées par une légère instabilité de la transmission atmosphérique qui pouvait atteindre en quelques minutes 0,10 mag d'amplitude crête à crête. La Fig. 4a présente les mesures brutes dans les deux canaux à 0,66 μm et à 0,745 μm . Avec l'hypothèse d'une baisse régulière et linéaire de la transparence de $4^{\text{h}}20^{\text{m}}$, $4^{\text{h}}26^{\text{m}}.5$ suivie d'une remontée linéaire à partir de $4^{\text{h}}28^{\text{m}}$, nous avons calculé des courbes de lumières améliorées (Fig. 4b et c). Elles ont la forme d'un V à branches symétriques, comme on pouvait s'y attendre puisque le mouvement mutuel des deux satellites était presque exactement uniforme pendant l'observation.

Les deux canaux donnent des résultats quasiment indiscernables avec le milieu du phénomène à $4^{\text{h}}23^{\text{m}}34^{\text{s}} \pm 2^{\text{s}}$ et une amplitude centrale de $0,260 \pm 0,004$. Pour vérifier les valeurs des albedos monochromatiques qui servent de relais essentiel dans l'interprétation astrométrique, nous avons comparé avant la montée du crépuscule l'éclat du couple non-résolu J1 + J2 à celui de J3 et à celui de J4. Le Tableau 3 résume ces mesures ainsi que les valeurs prédites par interpolation à partir des papiers de

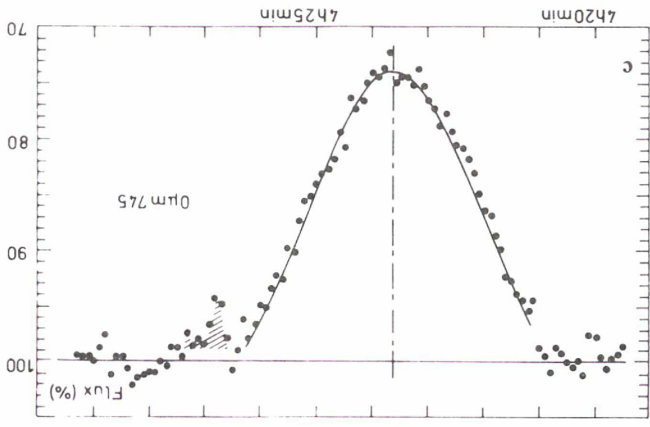
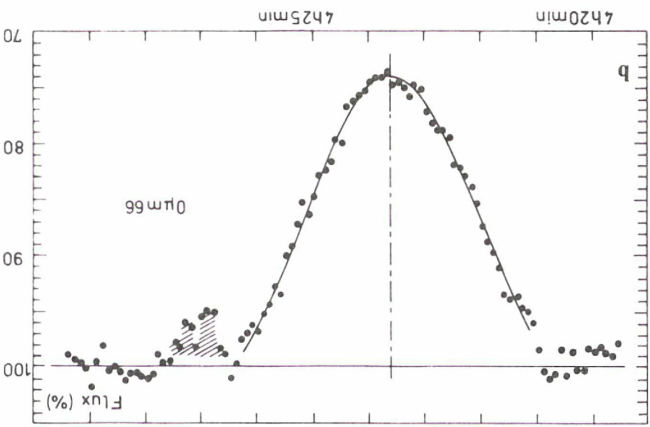
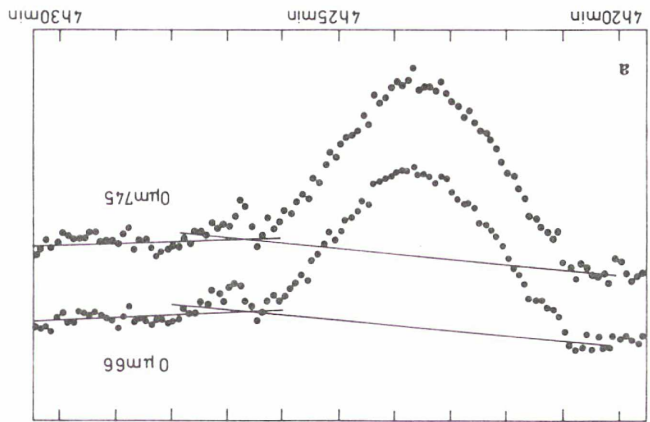


Fig. 5a-c. Occultation partielle de J3 par la pénombre de J2, le 6 octobre 1979. Voie à 0,88 μm. Le milieu de l'éclipse par la pénombre semble se situer à l'instant indiqué par la flèche. Les détails α et β sont dus au passage de nuages ténus. Le niveau l est ajusté sur la droite de Bouguer de pente 0,069 mag par unité de sécante z

Tableau 3. Occultation du 1er octobre au matin

0,745 μm	mesure		calculé
	III - (I + II)	IV - (I + II)	
0,36 ± 0,03	{ 0,29 ± 0,02 0,31 ± 0,02	{ (1) (2)	1,50 ± 0,04
0,66 μm	{ 0,26 ± 0,03 0,34 ± 0,03	{ (1) (2)	1,48 ± 0,04
			1,49 ± 0,02

(1) D'après Nelson et Hapke (1978)
(2) D'après Johnson et Pilcher (1977)

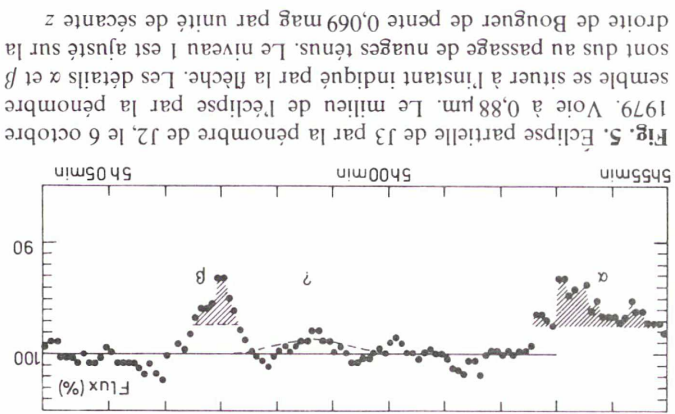


Fig. 5. Eclipse partielle de J3 par la pénombre de J2, le 6 octobre 1979. Voie à 0,88 μm. Le milieu de l'éclipse par la pénombre semble se situer à l'instant indiqué par la flèche. Les détails α et β sont dus au passage de nuages ténus. Le niveau l est ajusté sur la droite de Bouguer de pente 0,069 mag par unité de sécante z

Morrison et Morrison (1977), Johnson et Pilcher (1977) et Nelson et Hapke (1978). L'accord général est bon pour J4, ainsi que pour J3 quand la spectrophotométrie de Johnson et Pilcher est admise. En revanche, nos mesures de J3 présentent un désaccord de 0,07 mag si l'on suit Nelson et Hapke: la validité des mesures de la face «leading» de J3 par ces derniers auteurs se trouve par suite mise en cause.

Finalment, une différence de magnitude $J1 - J2 = 0,315 \pm 0,020$ peut être admise au moment de l'occultation dans l'une ou l'autre couleur, et ceci correspond à un rapport $J2 (J1 + J2) = 0,428 \pm 0,005$. Par conséquent on trouve pour amplitude vraie de l'occultation de J2: $0,607 \pm 0,016$. Si l'on prend ensuite les rayons issus des mesures de Voyager et si l'on néglige les effets secondaires dus à la morphologie, à l'effet de phase et à l'assombriement du limbe, on trouve finalement une distance de plus courte approche de 1294 ± 41 km, soit $0,7291 \pm 0,0009$.

e - Eclipse partielle de Ganymède par la pénombre de J2 le 6 octobre 1979. Ce phénomène devait être très marginal, avec une amplitude photométrique moindre que 0,01 mag. La nuit du 6 octobre était par malchance de médiocre qualité au Pic du Midi, avec des nuages élevés fugaces et de rares moments de bonne transparence. Heureusement l'instant critique prévu pour l'éclipse se trouve coïncider avec le milieu d'une éclaircie majeure, alors que le bruit dû à l'atmosphère s'était momentanément abaissé jusqu'à 0,009 mag (écart-type pour des intégrations de 0^m1). Les mesures sont montées en Fig. 5. On ne peut pas dire que le phénomène soit réellement détecté. Tout au plus peut-on discerner une atténuation marginale de J3 vers 5^h01^m UT, dont l'amplitude maximale serait de 0,006 mag, et la durée de 3 min peut-être. Il est clair que la précision indispensable n'est pas atteinte.

f - Eclipse annulaire de J2 par J1 le 8 octobre 1979. Ce phénomène se survenait en plein crépuscule matinal, alors que le Soleil n'était plus qu'à 5,5 au-dessous de l'horizon déprimé (non-réfracté) du Pic du Midi. L'éclipse a en outre été observée, pour ainsi dire par miracle, à travers une étroite bande de ciel clair isolée dans les nuages, juste à la fin d'une averse. De telles conditions étaient les plus difficiles qui soient.

La contribution rapidement croissante du fond du ciel (laquelle représentait environ 50% du signal du satellite hors-éclipse et doublait à peu près toutes les 4 min), a été retranchée en utilisant des mesures de J1 quasi-simultanées faites en alternance rapide avec les observations de J2. Malgré ces grandes corrections, les différences de magnitude (hors éclipse) $J2 - J1 = 0,28 \pm 0,02$ à $0,745 \mu\text{m}$ et $0,26 \pm 0,03$ à $0,88 \mu\text{m}$ sont en très bon accord avec les valeurs attendues selon les données publiées par Morrison et

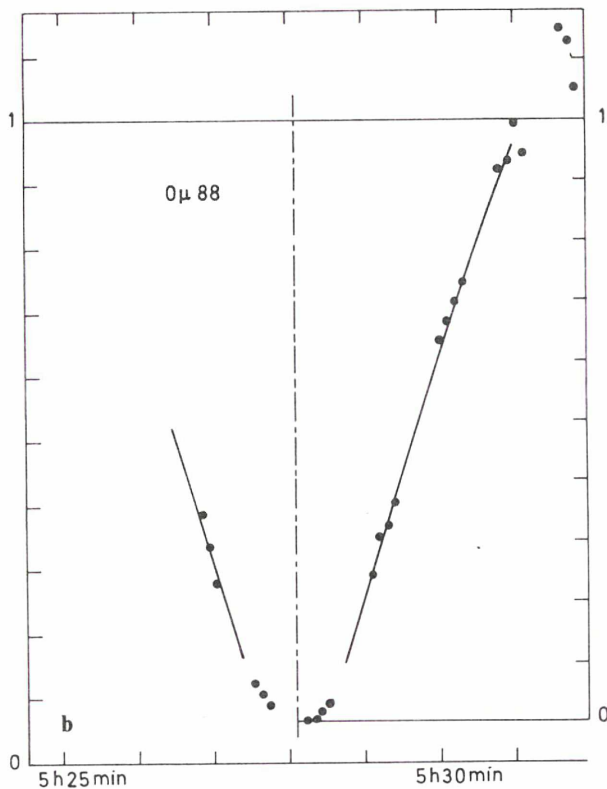
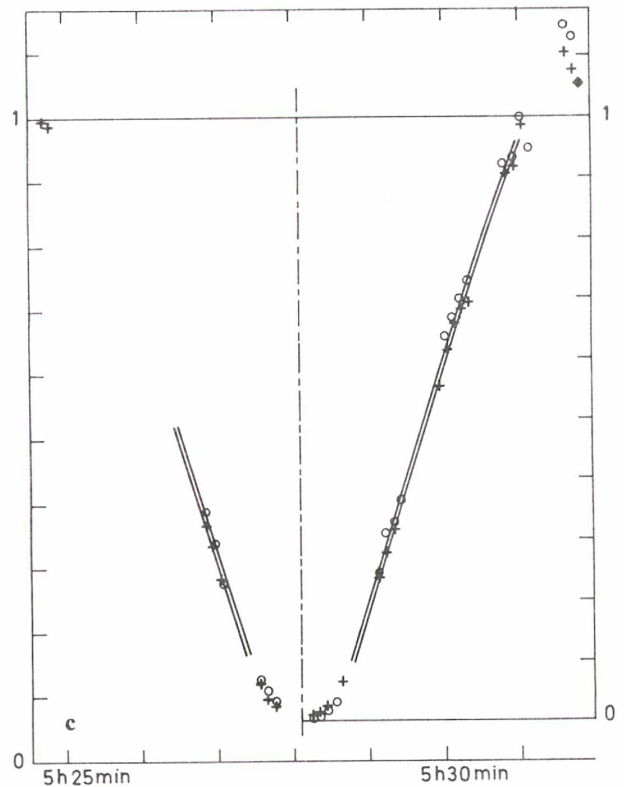
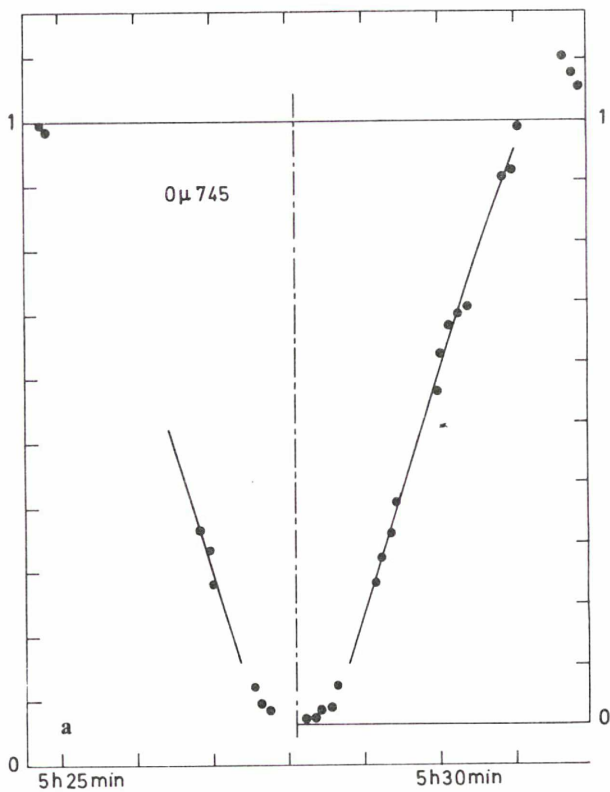


Fig. 6a-c. Éclipse annulaire de J2 par J1 le 8 octobre 1979. a Voie à $0,745 \mu\text{m}$, b voie à $0,88 \mu\text{m}$, c combinaison des 2 voies. L'échelle verticale double correspond à une atténuation de 3 mag (à gauche) ou à une extinction complète (à droite). La précision est perdue après $5^{\text{h}}30^{\text{m}}$ à cause de la correction de fond de ciel rapidement croissante

dante a été accidentellement perdue par suite d'une fausse manœuvre. La courbe est en forme de V à branches rectilignes, et centrée à $5^{\text{h}}28^{\text{m}}05,5 \pm 1,5$ (UT).

Un calcul élémentaire de la pénombre supposant l'absence d'assombrissement du limbe de J2 et utilisant les diamètres déterminés par les sondes Voyager, indique une atténuation maximale de 3,0 mag dans le cas d'une éclipse annulaire centrale. Mais l'amplitude visuelle, que nous avons surveillée à l'oculaire pendant les observations photoélectriques, a certainement dépassé 3 mag (et peut-être même approché 5 mag?): en effet nous avons remarqué la disparition totale pendant 69 s du satellite éclipsé (à ce moment la brillance du fond du ciel était $V = 12 \pm 0,5''$ d'arc carrée). Malheureusement les incertitudes de la correction du fond du ciel n'ont pas permis une bonne détermination photométrique de l'éclat résiduel de J2 à mi-éclipse. Une atténuation centrale de 3 mag seulement n'est pas vraiment incompatible avec les mesures enregistrées, mais la cohérence interne de toute l'observation paraît meilleure si l'on admet un minimum plus profond. Un tel noircissement imprévu de la pénombre interne du satellite J1 risque d'être difficile à expliquer si elle est réelle, quand bien même on puisse invoquer le volcanisme actif comme source possible de matériau réfractant ou absorbant.

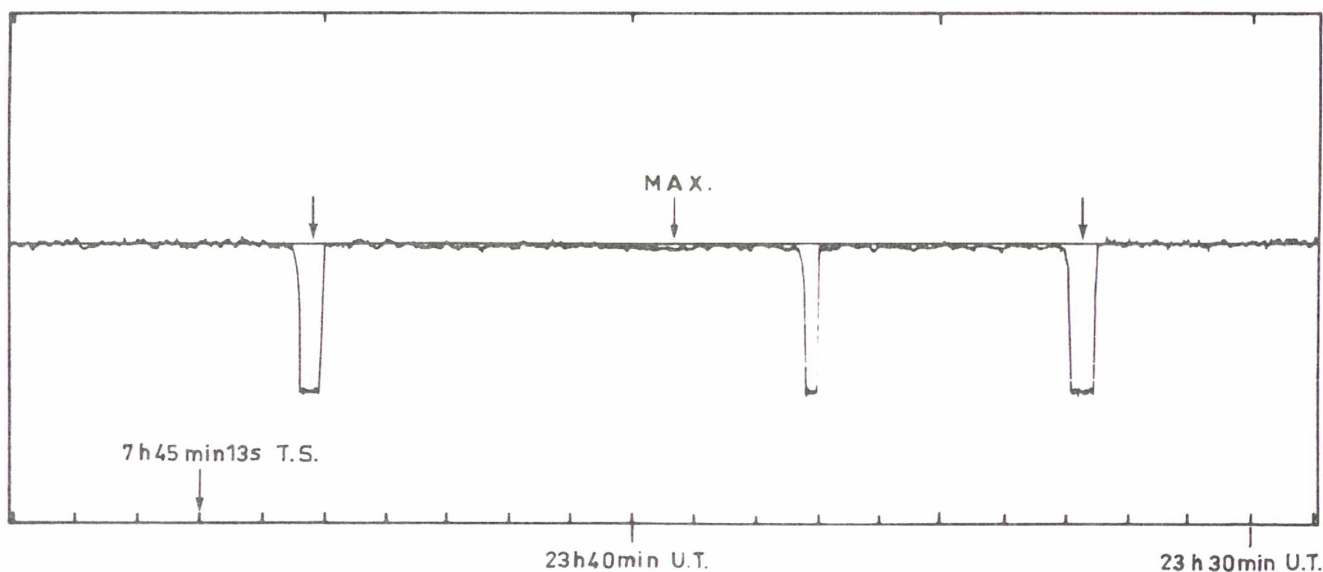
Morrison (1977), Johnson et Pilcher (1977), Nelson et Hapke (1978), Clark et McCord (1979), c'est-à-dire respectivement $0,29 \pm 0,02$ et $0,24 \pm 0,03$. La Fig. 6a et b montre les courbes de lumière finalement issues des corrections, et la Fig. 6c la composite des deux canaux. La plus grande partie de la branche descen-

g) Conclusion. Le Tableau 4 récapitule les éléments mesurés des phénomènes observés. Le niveau de précision astrométrique atteint $0,11$ quand des méthodes photométriques adéquates sont appliquées.

Tableau 4. Eléments mesurés des phénomènes observés avec le photomètre «PLEYEL»

OBSERVATIONS				
phénomène	date	instant UT du minimum	paramètre d'impact (1)	amplitude observée
II/III occultation partielle	14 janvier	$23^{\text{h}}40^{\text{m}}10^{\text{s}} \pm 15^{\text{s}}$	$1'',197 \pm 0'',008$	1,5%
I/II occultation partielle	1 octobre	$4^{\text{h}}23^{\text{m}}34^{\text{s}} \pm 2^{\text{s}}$	$0'',291 \pm 0'',009$	26,0%
II/III éclipse partielle par la pénombre	6 octobre	$5^{\text{h}}01^{\text{m}}25^{\text{s}} \pm 60^{\text{s}}$		0,5%
I/II éclipse annulaire	8 octobre	$5^{\text{h}}28^{\text{m}}05,5^{\text{s}} \pm 1,5^{\text{s}}$	petit	93%

(1) Relatif au centre de l'ombre dans le cas d'une éclipse

**Fig. 7.** Courbe enregistrée lors du phénomène du 14/1/79 (J2 Oc J3) OHP. Telescope de 60 cm

2. Phénomène du 14 janvier 1979 (J2 Oc J3) observé également à l'Observatoire Saint-Michel de Haute-Provence, au télescope de 60 cm

Le matériel utilisé consiste en :

photomètre photoélectrique + chaîne de mesure SAIP.

Photomultiplicateur CsSb (H.T. = 1300 V).

Les observations sont faites à travers un filtre V standard ($\lambda_{\text{eff}} \approx 5500 \text{ \AA}$).

Les temps observés sont les suivants :

début du phénomène : $23^{\text{h}}32^{\text{m}}40^{\text{s}} \pm 15^{\text{s}}$

maximum du phénomène : $23^{\text{h}}39^{\text{m}}20^{\text{s}} \pm 15^{\text{s}}$

fin du phénomène : $23^{\text{h}}45^{\text{m}}10^{\text{s}} \pm 15^{\text{s}}$

La chute en magnitude est $|\Delta V| \approx 0,04$.

La Fig. 7 donne la courbe enregistrée.

3. Phénomène du 14 janvier 1979 (J2 Oc J3) observé à l'Observatoire du Gornergrat (télescope de 1 m)

Les observations photométriques furent faites avec le photomètre photoélectrique «PAM2» de l'Observatoire de Lyon, fixé sur le télescope de 1 m de la station de Gornergrat. Le photomètre (étude et réalisation Obs. de Lyon - laboratoires Electronique et Mécanique : MM. Dubet D. et Dubois J.P.) construit pour mesurer des étoiles faiblement variables permet de prendre séquentiellement et répétitivement 3 positions sur le ciel définies au début des observations.

Dans le cas des observations des satellites de Jupiter, les fonds de ciel de chaque côté des satellites étaient mesurés à chaque séquence, ce qui permet de mieux éliminer les variations du fond très brillant près de Jupiter. Le filtre B du système UBV a été utilisé pour toutes les mesures.

Les dates observées sont les suivantes : début du phénomène à $23^{\text{h}}33^{\text{m}}5^{\text{s}}$ UT, fin à $23^{\text{h}}45^{\text{m}}15^{\text{s}}$ UT. La précision est de $\pm 15^{\text{s}}$.

14 JANVIER 1979 - OCCULTATION SAT. 3 PAR SAT. 2

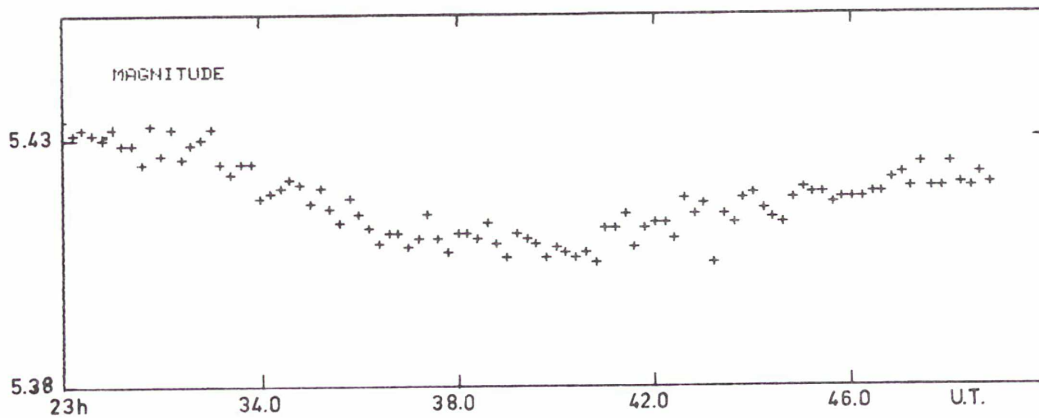


Fig. 8. 14 janvier 1979-occultation sat. 3 par sat. 2

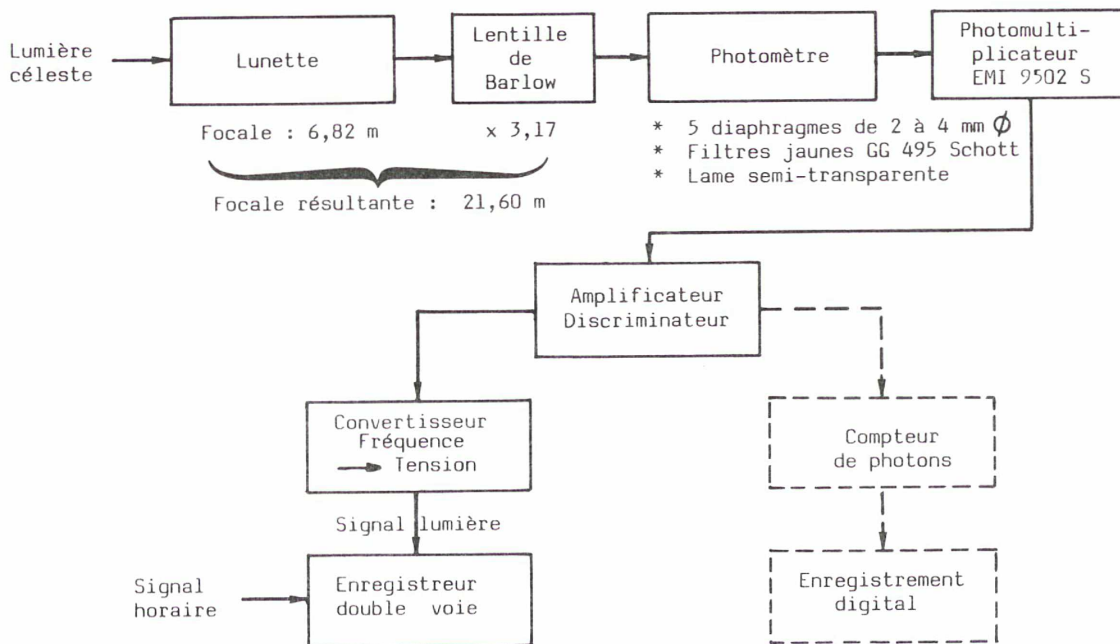


Fig. 9. Chaîne photométrique montée sur le grand équatorial de l'observatoire de Bordeaux

L'affaiblissement du flux des 2 satellites est de 1,5%. La date du minimum est la date moyenne: $23^{\text{h}}39^{\text{m}}10^{\text{s}}$, le phénomène étant supposé symétrique. La courbe d'observation n'étant pas symétrique, on peut ajuster un polynôme du 3e degré. On obtient ainsi une date de début de phénomène à $23^{\text{h}}32^{\text{m}}54^{\text{s}}$, une date de fin de phénomène à $23^{\text{h}}45^{\text{m}}41^{\text{s}}$ et une date de minimum à $23^{\text{h}}38^{\text{m}}26^{\text{s}}$ UT.

La Fig. 8 donne la courbe observée.

4. Phénomène du 16 juin 1979 (J3 Ec J1) observé à l'Observatoire de Bordeaux (grand équatorial)

Le grand équatorial d'ouverture 38 cm, a été équipé pour cette observation d'un photomètre (photomultiplicateur à cathode S11). Une conversion en analogique fournit un signal. On se reportera à la Fig. 9 pour le détail de la chaîne photométrique.

L'observation du 16 juin 1979 se situait pendant le crépuscule du soir; une courbe exponentielle a donc été obtenue. Le lende-

main, à la même heure et dans les mêmes conditions, on a observé de nouveau et obtenu une nouvelle courbe exponentielle. La différence des deux courbes a fait apparaître la courbe de lumière d'après laquelle l'instant du phénomène a pu être déterminé (cf. Fig. 10).

5. Phénomènes du 14 janvier (J2 Oc J3), du 1 octobre (J1 Oc J2) et du 8 octobre 1979 (J1 Ec J2) observés à l'Observatoire de Nice (télescope de 40 cm)

Le matériel utilisé consiste essentiellement en un télescope Cassegrain de 40 cm de diamètre ouvert à F/15, un photomètre à comptage de photons et un mini-ordinateur d'acquisition et de prétraitement de l'information (TI 990/4). Le photomètre proprement dit (Fig. 11) comporte un photomultiplicateur RTC XP 2020. Un filtre optique peut être interposé dans le faisceau, en avant de la photocathode (Fig. 11).

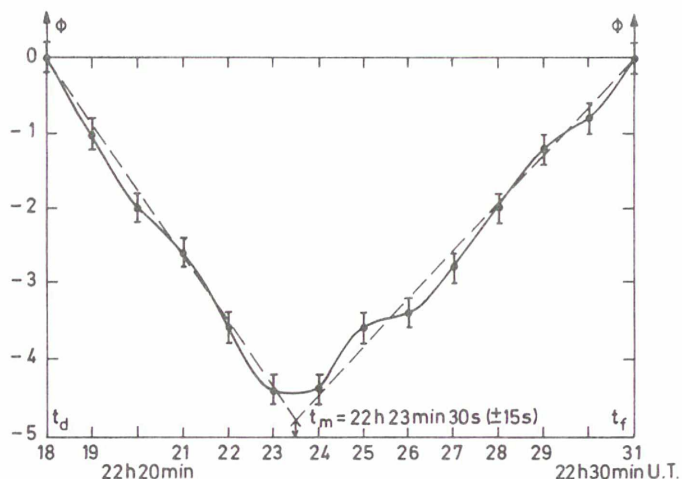


Fig. 10. Courbe de lumière relative à l'éclipse mutuelle de J1 par J3 observée à l'Observatoire de Bordeaux le 16 juin 1979

L'ensemble de l'installation a été conçu en vue de l'observation d'occultations d'étoiles par la Lune. Il n'est donc pas calibré en magnitude mais possède une excellente résolution temporelle. La datation et les intervalles de temps sont fournis par une baie horaire à quartz 107 AR Hewlett Packard, rattachée quotidiennement au UTC avec une précision meilleure que 10^{-4} s.

Compte tenu de la brièveté des phénomènes observés, l'installation ne possède actuellement aucun système de stabilisation en température. Plusieurs modifications ont été apportées à l'appareillage pour permettre la participation à la campagne PHEMU79 et en particulier la gamme des pas d'intégration possibles a été portée à 1 s. Il fallait en effet pouvoir assurer une couverture de

plusieurs dizaines de minutes dans la plupart des phénomènes prévus.

Dans chaque cas on indique par les symboles d, m, f les instants prévus pour, respectivement, le début, le milieu et la fin des phénomènes observés. Les données brutes ont été filtrées par une moyenne glissante sur 5 points.

Pour le phénomène du 14 janvier la courbe obtenue est donnée par la Fig. 12. La remontée au milieu du phénomène paraît plus vraisemblablement due à une variation de transparence qu'à un effet de température. La Fig. 13 montre le phénomène du 1 octobre et la Fig. 14 le phénomène du 8 octobre. Pour ce dernier phénomène, se sont donc superposés une augmentation rapide du fond du ciel et un début de saturation du photomultiplicateur. Il a fallu soustraire des mesures une quantité variable, bien représentée par une fonction du 3e degré, pour égaliser les valeurs résultantes en début et fin de mesure.

6. Phénomènes du 28 janvier 1979 (J2 Ec J3 et J2 Oc J3) observés à l'Observatoire de La Silla (Chili) (téléscope de 1 m)

Au télescope de 1 m de La Silla (ESO), l'éclipse puis l'occultation de J3 par J2 ont été observées le 28 janvier 1979.

Le photomètre standard à un seul canal de l'ESO a été utilisé, monté au foyer Cassegrain ($f/14,3$). C'est un instrument conventionnel. Un diaphragme de $15,5$ a été utilisé. Ceci nous a permis d'observer les deux satellites de Jupiter, ensemble, avant le phénomène, et surtout, limitait les problèmes de décentrage, si bien qu'il n'était nécessaire d'interrompre les mesures pour recentrer les deux objets que toutes les 7 min. Les filtres employés correspondent au système *UBV* standard de Johnson, les mesures se faisant dans l'ordre *U, V, B*.

Le photomultiplicateur était un EMI 6256, refroidi par effet Peltier, avec une cathode S-13. Un ordinateur HP 2100 permet de contrôler à la fois le photomètre et le télescope.

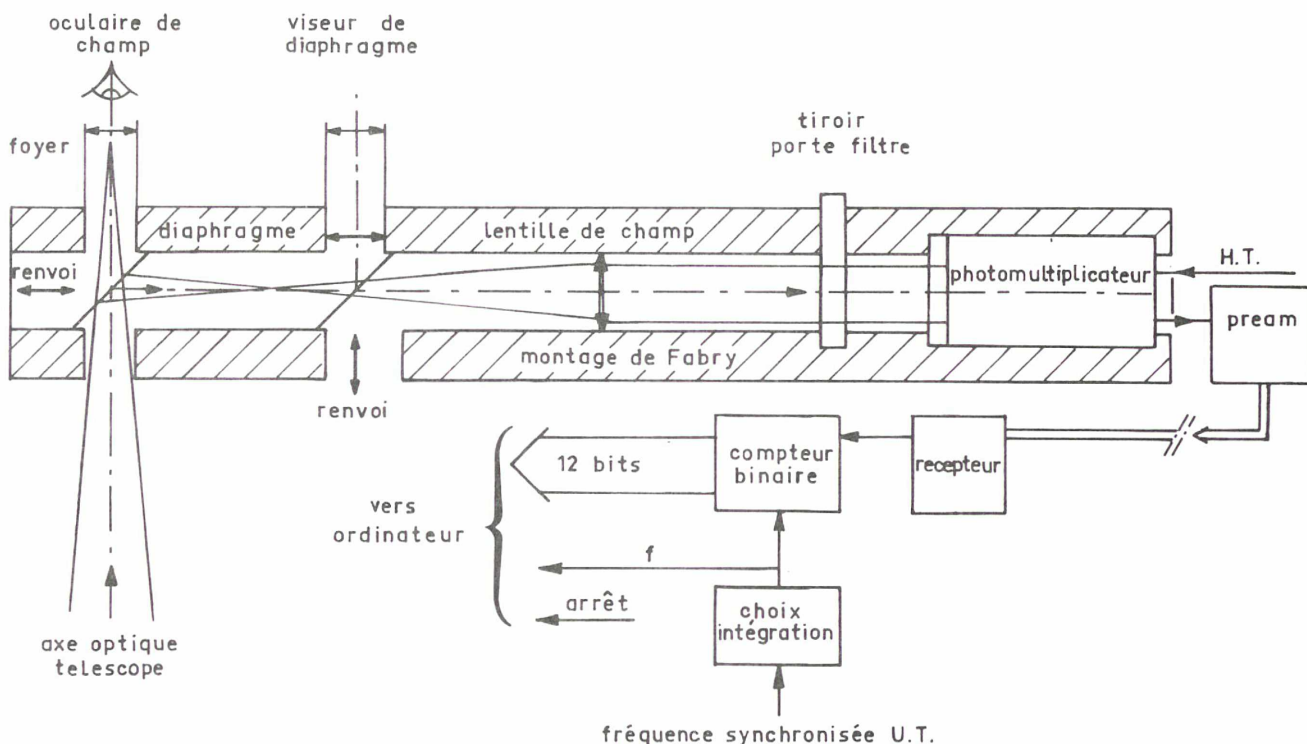


Fig. 11. Photomètre utilisé à l'observatoire de Nice pour l'observation des phénomènes mutuels

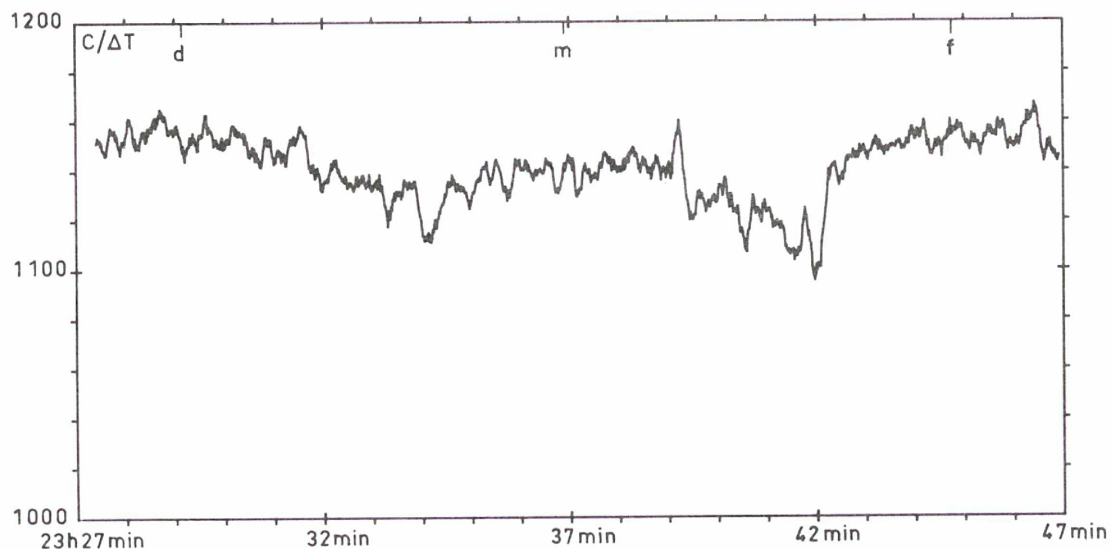


Fig. 12. J2 occulte J3 le 14 janvier 1979. Filtre rouge 6150 Å. Agitation modérée Température 1 °C

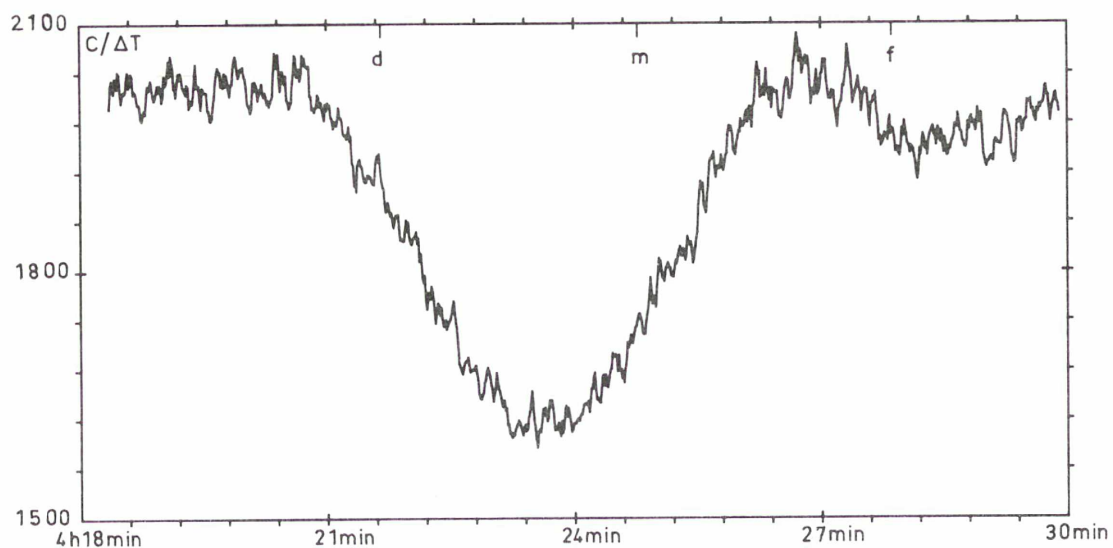


Fig. 13. J1 occulte J2 le 1 octobre 1979. Pas de Filtre. Agitation moyenne à forte. Température 12 °C

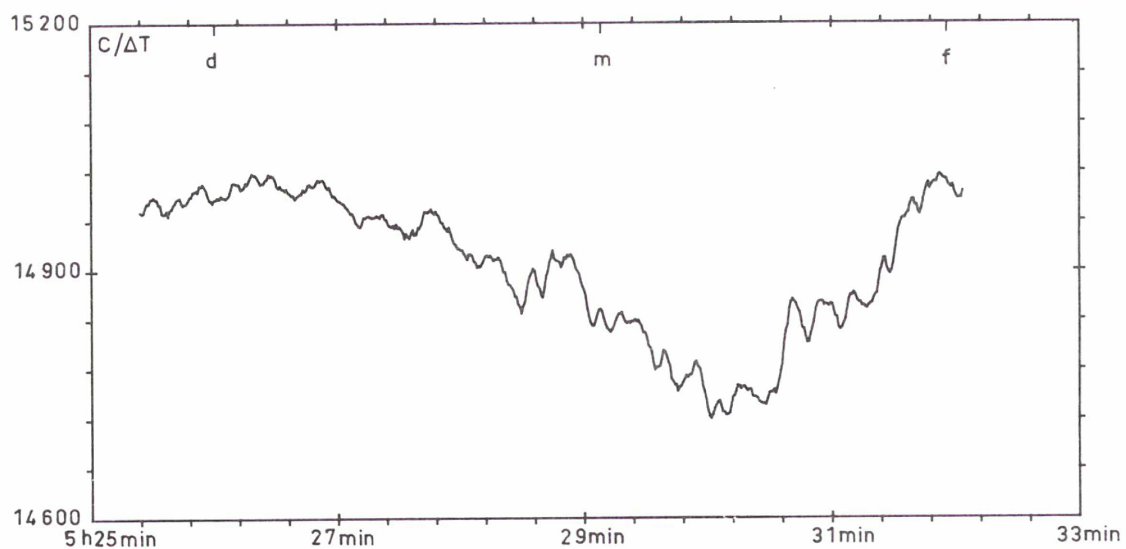


Fig. 14. J1 éclipse J2 le 8 octobre 1979. Filtre 6150 Å. Soleil à 2° sou: l'horizon

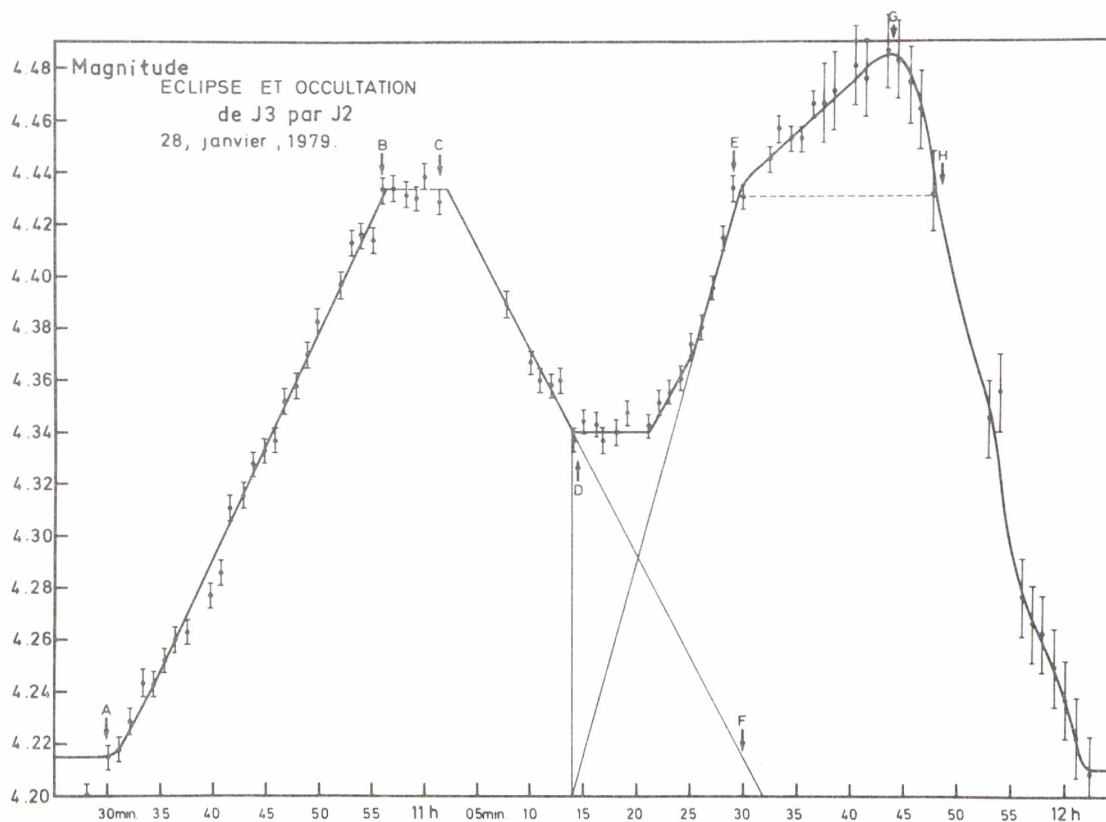


Fig. 15. Éclipse et occultation de J3 par J2 le 28 janvier 1979

Les données furent réduites à La Silla; pour ce faire on a observé un groupe de 12 étoiles étalons prises dans les régions *E* de Cousins, permettant de calculer les transformations de couleur et les zéro-points. Parallèlement, une étoile rouge et une étoile bleue ont été observées tout au long de la nuit, pour déterminer les valeurs des coefficients d'extinction, ce qui était essentiel étant donné l'importante masse d'air lors du phénomène. Cette masse d'air était de 1,7 au début des observations et 3,7 à la fin. Enfin, HD 72779, proche des satellites, a été mesurée régulièrement afin de calculer avec plus de précision les corrections d'extinction et de déceler un décalage systématique dû au photomètre.

L'exactitude du temps sidéral, dont l'enregistrement s'est fait automatiquement, a été vérifiée avec la coupole Genevoise de La Silla. Cette coupole est en effet équipée d'un poste récepteur permettant de capter les signaux horaires de Fort Collins, sur lesquels sont réglées les horloges de la station. La différence de longitude entre cette coupole et le télescope de 1 m ne peut en aucun cas influencer de plus d'une fraction de seconde. Dans le pire des cas, on peut convenir, pour des raisons internes, systématiques et non expliquées, d'une erreur maximum sur ce temps sidéral de 15 s. En aucun cas l'erreur ne peut être supérieure.

Compte tenu des précautions, les déviations obtenues en couleurs et magnitude, par rapport aux valeurs étalons de HD 72779 ont été réduites à 0,005 mag pour une masse d'air inférieure à 2,6 et 0,02 pour des masses d'air supérieures. Ce qui nous permet de fixer une erreur absolue sur les valeurs obtenues pour les 2 satellites, qui ne peut excéder 0,01 mag jusqu'à $TS = 11^h38^m$ et 0,03 ensuite.

On obtient ainsi la courbe reproduite à la Fig. 15. Cette courbe représente la variation de la magnitude V de $(J2 + J3)$ en fonction

du temps sidéral. De cette courbe, on peut tirer les valeurs suivantes:

Point sur la courbe	Phénomène	TS	UT
A	Entrée dans la pénombre	10^h30^m	6^h45^m
B	Début de l'éclipse maximale	10^h56^m	7^h11^m
+	Eclipse maximale	$10^h59^m,5$	$7^h14^m,5$
C	Fin de l'éclipse maximale	11^h02^m	7^h16^m
D	Début de l'occultation	11^h14^m	7^h29^m
E	Début de l'occultation maximale	11^h30^m	7^h45^m

On peut en déduire aussi la sortie de la pénombre, au point $F = 11^h30^m$ $TS = 7^h45^m$ UT. Etant donnée la méthode de détermination de ces temps, on peut accepter une erreur de ± 30 s, ce qui, compte tenu de l'erreur systématique, donnerait une erreur absolue en tous cas inférieure à ± 1 min.

Ces instants du phénomène sont les seuls que l'on peut dater comme on le verra dans la suite.

a) *Etude de la courbe de la lumière de l'éclipse.* Elle est représentée sur la courbe par le trajet *ABCE*. Il est à noter qu'il est impossible, à partir de la courbe obtenue, de discerner l'entrée dans l'ombre de l'entrée dans la pénombre, de même pour la sortie.

L'éclipse paraît symétrique ce qui n'est pas le cas de l'occultation, comme on le verra. De plus, le palier relativement long de l'éclipse (6 min) s'explique par le fait que le diamètre de J2 est beaucoup plus petit que celui de J3. Ce sera la même chose pour l'occultation.

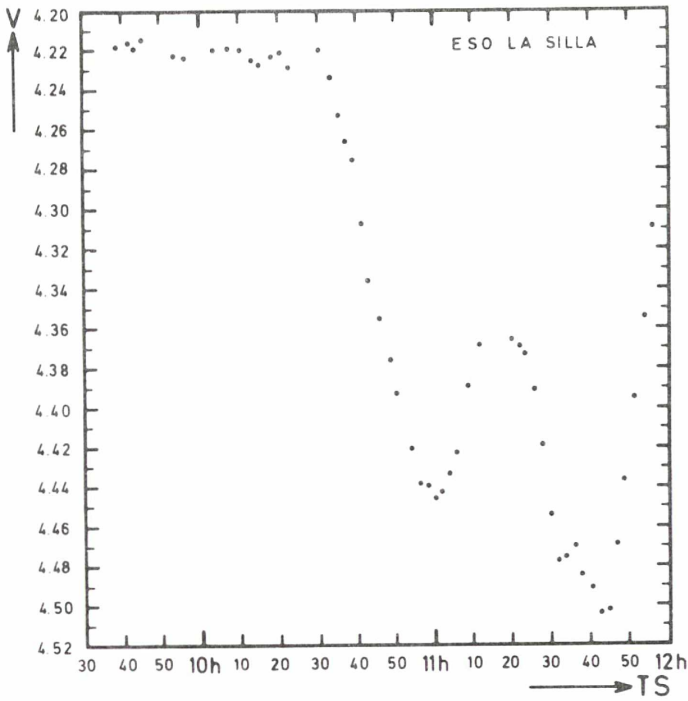


Fig. 16. Phénomènes du 28/1/79. Télescope Bochum (Dr. Elst)

Enfin la discontinuité au début de l'éclipse peut être due à un effet d'hétérogénéité de brillance superficielle des satellites.

On peut calculer la surface S du satellite éclipsé dans l'ombre + pénombre. Avant le phénomène $V_{s_2+s_3}=4,22$, et au maximum de l'éclipse $V_e=4,43$.

$$\Delta V = -2,5 \log(1 - S) \Rightarrow S = 17,6\%$$

La valeur prédite étant de 18,3%, l'accord est satisfaisant, puisque si l'on accepte une erreur $\Delta V=0,01$ pour une mesure nous aurons $\Delta S=1,5\%$.

b) *Etude de la courbe de lumière de l'occultation.* Les seuls instants que nous pouvons dater sont, le début de l'occultation (D), et le début de l'occultation maximale. La courbe relative à ce phénomène peut sembler curieuse et la datation pourrait surprendre mais elle peut s'expliquer :

A 0^h02 près, J2 passe en plein centre de J3. Mais il est précédé par son ombre qui, elle, ne passe pas au centre de J3.

De fait, alors que J2 n'occulte pas encore J3 on observe une baisse de magnitude due à l'ombre. Il se trouve, et c'est là l'essentiel, que lorsque l'ombre commence à sortir, l'occultation par le satellite commence. C'est le point D de notre courbe. En E , l'occultation totale commence, 1 min avant que l'éclipse ne se termine. On devrait observer un palier, à partir de E , dû au fait que J2 est beaucoup plus petit que J3. Cependant, de par la position de Jupiter, la brillance superficielle de J3 peut augmenter dans la direction de la planète (ceci peut être vraisemblable puisque ce satellite est recouvert de glace). Ainsi, J2 passant devant la surface de J3 du côté le moins brillant au côté le plus brillant, lui enlèverait de plus en plus de lumière, d'où l'absence de palier. Cette absence peut aussi être due tout simplement à une tache brillante à la surface de J3. D'autre part, cet effet de brillance superficielle interdit de définir la fin de l'occultation totale. Rien ne permet d'affirmer en effet que ceci corresponde au point G de la courbe. On peut fort bien imaginer que ce point G représente le

moment où J2 passe au centre d'une tache brillante. De même, l'absence de palier interdit de supposer la fin de l'occultation totale au point H , déterminé par l'égalité des magnitudes avec E , pour des raisons évidentes.

D'autre part, il conviendrait de vérifier l'importance du terminateur par rapport au bord de J3. Ceci pourrait être une raison supplémentaire de l'absence de symétrie dans cette courbe.

Enfin, il est absolument impossible de déterminer la fin du phénomène, en raison des très grandes déviations observées à partir de 12^h04^m TS, dans les magnitudes (ceci étant dû à la masse d'air à partir de cet instant). Nous observons, en effet, des variations de 0,05 mag.

De plus, pendant ces observations, Mr. Elst (Observatoire Royal de Belgique) a observé le même phénomène. Ses résultats sont présentés sur la Fig. 16. Ces observations ont été faites au télescope de l'université de Bochum, à La Silla. Le diamètre de ce télescope est de 61 cm.

7. Phénomènes du 1 octobre 1979 (J1 Ec J2 et J1 Oc J2) observés à la station du Chirán (télescope de 1 m)

Les phénomènes ont été observés au télescope de 100 cm du Chirán équipé d'un photomètre à enregistrement graphique. Le filtre V du système de Johnson a été utilisé avec un photomultiplicateur EMI 6256 de réponse S11.

Deux raisons ont déterminé le choix de ce filtre :

le premier phénomène se produisant alors que Jupiter était très bas sur l'horizon – masse d'air comprise entre 6 et 8 – il y avait intérêt à utiliser une bande de longueurs d'ondes présentant une moindre absorption dans le domaine de l'équipement existant ;

le deuxième phénomène se produisant à l'aurore, le retard de la « montée » du fond de ciel pour ce filtre était plus avantageux pour la précision des mesures.

Le signal enregistré présentant un « bruit », nous avons lissé la courbe par un tracé manuel puis nous avons mesuré les déviations pour les temps marqués par l'horloge. 21 points ont ainsi été mesurés pour l'éclipse et 14 points pour l'occultation.

Une réduction hors-atmosphère nous a permis de tracer les courbes corrigées de l'absorption atmosphérique.

a) *Cas de l'occultation.* Une première réduction directe a été tentée à partir de la courbe reconstituée : nous avons coupé la courbe par des lignes d'égales déviations d_i . Pour chaque ligne nous avons ainsi obtenu un couple de points (t_1, t_2) dont la valeur moyenne :

$$t_i = \frac{t_1 + t_2}{2},$$

aurait représenté le moment du maximum du phénomène si celui-ci était symétrique ; ce qui n'était pas le cas.

Douze couples de points ont ainsi été relevés, donnant douze valeurs de t_i qui présentaient une relation relativement simple avec les valeurs correspondantes d_i . Une extrapolation pour la valeur du minimum nous donne le temps du maximum, t_m (04^h23^m36^s04, cf. Tableau 5).

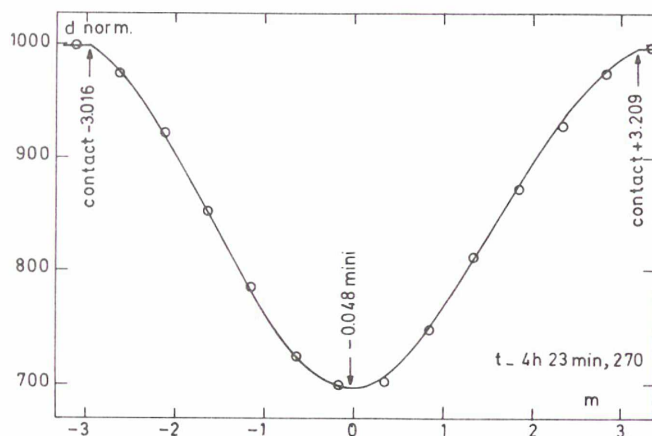
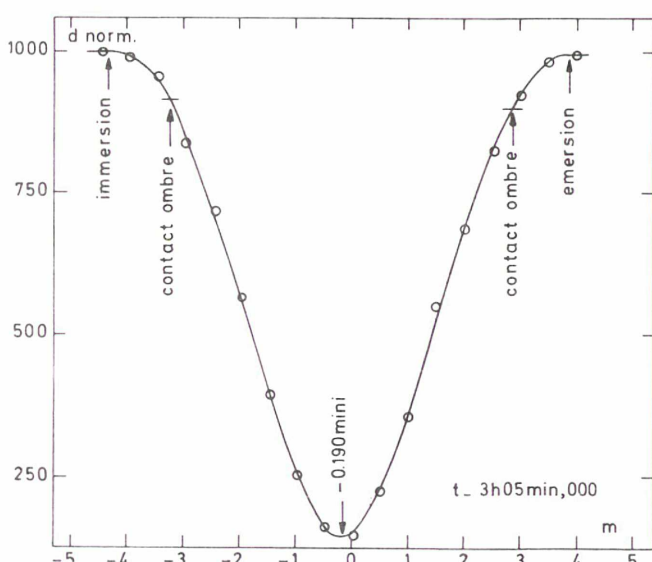
Modélisation. Le procédé direct, qui donne le temps t_m avec une précision acceptable, ne nous permet pas de déterminer les temps de début et de fin du phénomène de façon très précise à cause du raccordement difficile à situer.

Pour ce faire, on peut réduire les observations de plusieurs manières :

modèle polynomial, purement analytique, à partir des points de la courbe reconstituée, mais ce procédé qui donne des résultats

Tableau 5. Instants déterminés de l'occultation du 1 octobre 1979 observée au Mt Chiran

Occultation UT	Directement sur courbe mesurée	Sur courbe modèle	Par traitement polynomial 4°
Début	04 ^h 20 ^m 35 ^s	04 ^h 20 ^m 38 ^s	Indéterminé
Maximum	04 ^h 23 ^m 36 ^s	04 ^h 23 ^m 36 ^s	04 ^h 23 ^m 38 ^s
Fin	04 ^h 26 ^m 37 ^s	04 ^h 26 ^m 51 ^s	Indéterminé
Durée	≈ 06 ^m 02 ^s	6 ^m 13 ^s	
Avance sur éphéméride SV2	14 ^s	14 ^s	

**Fig. 17.** Courbe modèle et points de mesure pour l'occultation du 1 octobre 1979 observée à la station du Chiran**Fig. 18.** Courbe modèle et points de mesure pour l'éclipse du 1 octobre 1979 observée à la station du Chiran

valables pour la détermination de t_m , ne permet pas cependant d'accéder facilement aux instants de contacts;

modèle photométrique à partir des rayons connus des satellites, de la grandeur calculée sur la courbe mesurée et de la différence de magnitude mesurée des deux satellites.

La comparaison de la courbe du modèle et de la courbe mesurée nous donne alors les constantes de réduction du modèle.

Les trois valeurs remarquables du temps, à savoir : le début, le milieu et la fin du phénomène sont alors déduites.

Un modèle photométrique simple a été développé en prenant comme paramètre variable, la distance T (projection de la distance apparente entre les centres des satellites sur la trajectoire apparente du satellite J2 par rapport au satellite J1).

La courbe photométrique obtenue a été ramenée aux ordonnées de la courbe mesurée. Elle présentait ainsi les mêmes valeurs de maximum et de minimum. Il restait alors à comparer la variable T du modèle au temps t du phénomène, autrement dit à établir la fonction $t = f(T)$ puis à déduire les valeurs remarquables de t . Un traitement par les moindres carrés de 20 couples (t_i, T_i) nous a donné la fonction suivante :

$$t = 04^{\text{h}}23^{\text{m}}37^{\text{s}}, 32 + 1,03823T + 0,01581T^2 - 0,00098T^3;$$

les termes d'ordres supérieurs sont très faibles.

Le taux photométrique τ , qui représente le rapport de la perte d'éclairement du satellite occulté à son éclairement total, a été trouvé égal à 0,725.

Représentation de la courbe photométrique. La Fig. 17 représente la courbe modèle $d = f(t)$ ainsi que les points de mesure.

b) *Cas de l'éclipse.* Comme précédemment, nous avons traité ce cas par une première réduction directe sur la courbe mesurée reconstituée : une valeur de t_m a ainsi été obtenue. Nous avons aussi essayé un modèle photométrique pour les raisons exprimées plus haut.

Modélisation. Un modèle d'éclipse est plus complexe à élaborer qu'un modèle d'occultation à cause du phénomène de pénombre. Nous avons établi une courbe d'assombrissement de la pénombre dans un plan perpendiculaire à l'axe des cônes et à la distance du satellite éclipsé.

A partir de cette loi, nous avons calculé, par intégrations successives, une première courbe de variation photométrique du phénomène en prenant comme paramètre variable la distance du centre du satellite éclipsé à l'axe des cônes. L'établissement de la courbe photométrique réelle se fait alors avec la nouvelle variable

T définie comme précédemment. La comparaison du temps t et de la variable T suivant la même méthode que précédemment nous a donné :

$$t = 03^{\text{h}}04^{\text{m}}48^{\text{s}}, 60 + 2,1837T - 0,0165T^2 - 0,0561T^3;$$

le taux photométrique est égal à 0,853.

La Fig. 18 représente la fonction $d = f(t)$ avec les points de mesures (courbe photométrique).

Les Tableaux 5 et 6 rassemblent les résultats obtenus.

B. Autres types d'observation

1. *Phénomène du 14 janvier 1979 (J2 Oc J3) observé à l'Observatoire de Bordeaux photographiquement (grand équatorial et équatorial photographique)*

La photographie est bien adaptée à l'observation des occultations mutuelles. En effet, une série de clichés, également répartis dans le temps durant une période qui s'étend environ de 1 à 2 h avant et

Tableau 6. Instants déterminés de l'éclipse du 1 octobre 1979 observée au Mt Chiran

Eclipse UT	Directement sur courbe mesurée	Sur courbe modèle
Entrée dans la pénombre	03 ^h 01 ^m 00 ^s	03 ^h 00 ^m 35 ^s
Entrée dans l'ombre		03 ^h 01 ^m 41 ^s
Maximum	03 ^h 04 ^m 52 ^s	03 ^h 04 ^m 47 ^s
Sortie de l'ombre		03 ^h 07 ^m 50 ^s
Sortie de la pénombre	03 ^h 08 ^m 30 ^s	03 ^h 08 ^m 54 ^s
Durée totale	07 ^m 30 ^s	08 ^m 16 ^s
Durée dans l'ombre		06 ^m 09 ^s
Avance sur éphéméride SV2	5 ^s	10 ^s

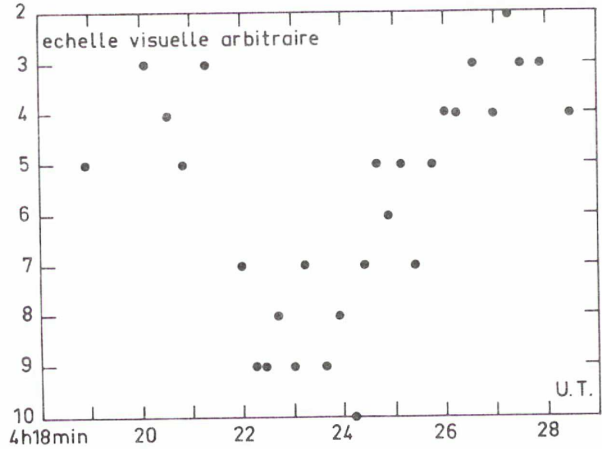


Fig. 20. 29 mesures relatives visuelles du phénomène mutuel (occultation de J2 par J1) du 1 octobre 1979

La Fig. 19 donne le résultat. La distance minimale a été déterminée en assimilant à une droite la trajectoire d'un satellite par rapport à l'autre. Le tableau suivante donne les valeurs numériques obtenues :

Instrument	Temps moyen	Distance minimale
Grand équatorial $\phi = 38$ cm $F = 21^m5$ (avec Barlow $\times 3$)	23 ^h 39 ^m 15 ^s $\pm 50^s$	1 ^{''} 09 \pm 0 ^{''} 04
Equatorial photographique $\phi = 33$ cm $F = 3^m30$	23 ^h 39 ^m 55 ^s $\pm 180^s$	1 ^{''} 10 \pm 0 ^{''} 2

Dans le cas de la longue focale, le calcul de la distance minimale tient compte de l'échelle de la plaque en secondes d'arc par millimètre, déterminée le soir même de l'observation par la prise d'un cliché témoin de l'amas de Persée.

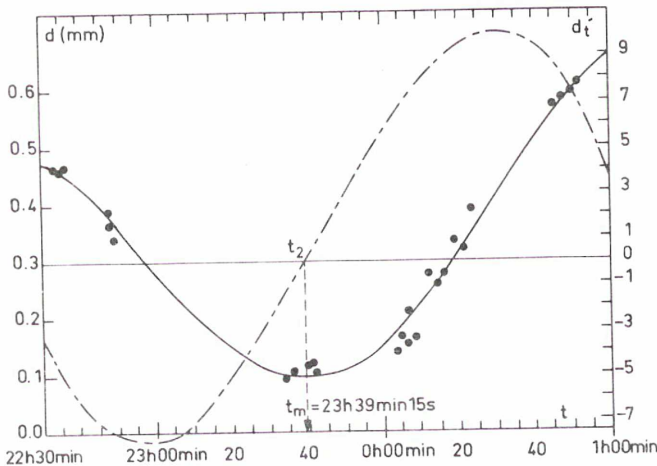


Fig. 19. Courbe de distance avec sa dérivée relative à l'occultation mutuelle de J3 par J2 observée à l'Observatoire de Bordeaux le 14 janvier 1979. ● Distances mesurées sur les clichés photographiques. — Courbe de distance lissée par un polynôme du 4^{ème} degré. --- Courbe de la dérivée d_t' par rapport au temps de la distance d

après l'instant prévu du phénomène, permet d'obtenir la courbe de la distance qui sépare les deux satellites concernés en fonction du temps.

C'est ce qui a été fait à Bordeaux simultanément sur l'équatorial photographique ($\phi = 33$ cm, $F = 3^m3$) où 11 clichés ont été pris en 4 h, et sur le grand équatorial ($\phi = 38$ cm, $F = 21^m5$ avec Barlow $\times 3$) où 28 clichés ont été pris pendant une période de 3 h autour du phénomène.

Les deux données les plus intéressantes à acquérir par la méthode photographique sont l'instant du phénomène et la distance minimale des centres des deux satellites à cet instant (le phénomène est à son maximum). Tout d'abord, la courbe de distance est modélisée par un polynôme de degré plus ou moins élevé en fonction du temps, suivant le nombre de clichés pris et la forme de la courbe obtenue. Dans le cas présent, nous avons choisi le degré 4.

2. Phénomènes du 16 juin (J3 Ec J1) et du 1 octobre 1979 (J1 Oc J2) observés visuellement à l'Observatoire de Meudon (grande lunette de 83 cm)

La mesure de l'éclat des satellites soumis à des phénomènes mutuels s'apparente à la photométrie des étoiles variables à éclipses. Visuellement, l'opération consiste à estimer l'éclat global des deux satellites (occultation) ou l'éclat du satellite (éclipse) par comparaison avec l'éclat d'un satellite voisin. L'estimation d'éclat qui a due être faite au moyen d'un repère unique donne des résultats moins précis que l'application stricte de la méthode d'Argelander.

Les observations ont été effectuées au moyen de la grande lunette de 83 cm d'ouverture et de 16^m2 de distance focale de l'Observatoire de Meudon. Les Figs. 20 et 21 montrent les courbes de lumière obtenues pour les 2 phénomènes observés.

La détermination de l'instant correspondant à l'intensité maximale du phénomène a été effectuée, en postulant la symétrie selon deux méthodes traditionnelles dans le cas des variables à éclipses :

- la méthode graphique de symétrie ;
- la méthode de Kwee et van Woerden dite KW (Kwee et van Woerden, 1956).

Postuler la symétrie est licite car l'asymétrie éventuelle ne peut être mise en évidence visuellement. Par ailleurs la méthode KW reste applicable à des courbes asymétriques lorsque l'on n'utilise que les points proches du minimum.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Date du phénomène	Instant central du phénomène (UT)	
	Méthode de symétrie	Méthode KW
16 Juin 79	20 ^h 24 ^m 1	20 ^h 24 ^m 27
01 Oct. 79	04 ^h 23 ^m 4	04 ^h 23 ^m 95

3. Phénomène du 1 octobre 1979 (J1 Oc J2) observé photographiquement à l'Observatoire de Meudon (grande lunette de 83 cm)

Le phénomène mutuel observé le 1 octobre 1979 est une occultation de J2 par J1 prédite à 4^h24^m8 UT, de grandeur 0,69 et de demi-durée 3^m1. L'observation a été faite à la grande lunette photographique de Meudon, 60 cm d'ouverture, 16 m de longueur focale ; 21 poses de 5 s sur film HP5 Ilford ont été prises autour de la date du minimum prédit.

Une analyse microdensitométrique des clichés, faite au CDSI (Centre de Dépouillement et de Synthèse des Images) à Orsay, a fourni des scans qui ont ensuite été traités au STII (Service de Traitement Interactif des Images) à Meudon. Le but poursuivi étant de reconstituer une courbe photométrique du phénomène, deux scans étaient nécessaires :

scan de la zone comprenant les deux satellites J1 et J2 ;

scan de la zone comprenant le satellite J3 seul, qui apparaît aussi sur les clichés.

Le traitement avec élimination du fond de ciel au-dessous d'un certain seuil, a permis de reconstituer cette courbe par comparaison des densités des deux scans pour chaque cliché.

Les résultats (voir Fig. 22). Le manque de précision dans le choix du seuil pour l'élimination du fond de ciel, et quelques problèmes de traînée au moment de la pose, peuvent notamment expliquer la dispersion des points obtenus. Néanmoins un minimum est observable ainsi que le retour à un flux quasi constant, à environ 4^h27^m UT. Une parabole a été ajustée par le critère des moindres carrés sur les 13 premiers points de l'observation, on obtient la date du minimum de la courbe :

$$T = 23^m 36^s \pm 20^s \text{ (UT).}$$

4. Phénomène du 18 avril 1980 (J2 Oc J1) observé avec un tube NOCTICON à l'Observatoire de Meudon (télescope de 60 cm) et photométriquement à l'Observatoire du Gornergrat (télescope de 1 m)

L'observation de ce phénomène n'a pu être dépouillée que par suite d'un enregistrement simultané dans deux observatoires :

À l'Observatoire de Meudon, au télescope de 60 cm monté sur la table équatoriale avec pour récepteur une caméra de télévision équipée d'un tube Nocticon. Les images ont été enregistrées sur bande magnétoscopique, puis numérisées sous la forme d'une suite de matrices 150 × 285 avec un pas d'échantillonnage de 10 s. La courbe de lumière a été obtenue par soustraction du flux d'une zone contenant les satellites au flux moyen d'une zone de fond de ciel proche du satellite.

À l'Observatoire du Gornergrat, au télescope de 1 m avec pour récepteur le photomètre décrit en II-A-3.

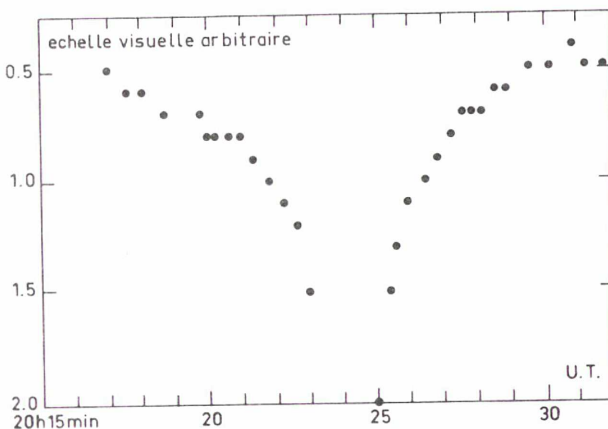


Fig. 21. 31 mesures relatives visuelles du phénomène mutuel (éclipse de J1 par J3) du 16 juin 1979

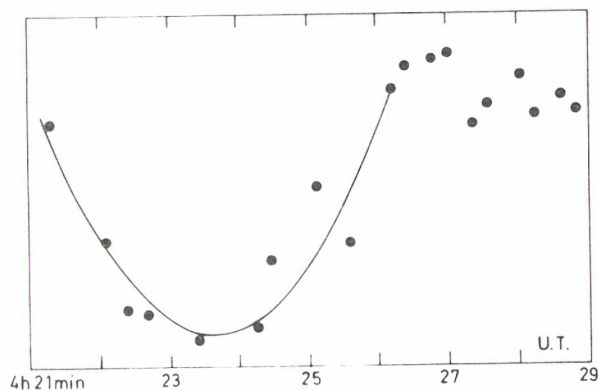


Fig. 22. 19 mesures densitométriques effectuées pour l'occultation de J2 par J1 le 1 octobre 1979 à l'Observatoire de Meudon

Dans ces deux observatoires, les conditions météorologiques ont été très mauvaises cette nuit-là, Jupiter était bas sur l'horizon et les courbes obtenues sont bruitées. Seule la corrélation entre les 2 signaux permet de calculer une date pour le minimum de lumière ; il n'a pas été possible de déterminer avec une précision suffisante la chute en magnitude. La Fig. 23 donne :

la combinaison (somme pondérée) des deux courbes ;

la courbe des seuls points corrélés dans les deux observations.

La date du minimum (voir II-C) est déduite d'un polynôme ajusté dans la zone où les deux courbes sont corrélées.

C. Récapitulation des données obtenues

Nous avons rassemblé ici les dates observées des phénomènes ainsi que diverses prédictions. Ces dernières sont notées ainsi :

SV2. Prédiction effectuée à partir de la théorie de Sampson brute (Sampson, 1921 ; Vu, 1977 ; Arlot, 1978) ;

SV3. On a utilisé les mêmes éphémérides que ci-dessus, mais quelques petites corrections ont été apportées à certains termes de la longitude.

A & F. Prédiction calculée à partir de la théorie de Sampson révisée (Aksnes and Franklin, 1976 ; Aksnes and Franklin, 1978) ;

E-2. Prédiction calculée à partir de la théorie de Sampson révisée (Lieske, 1980).

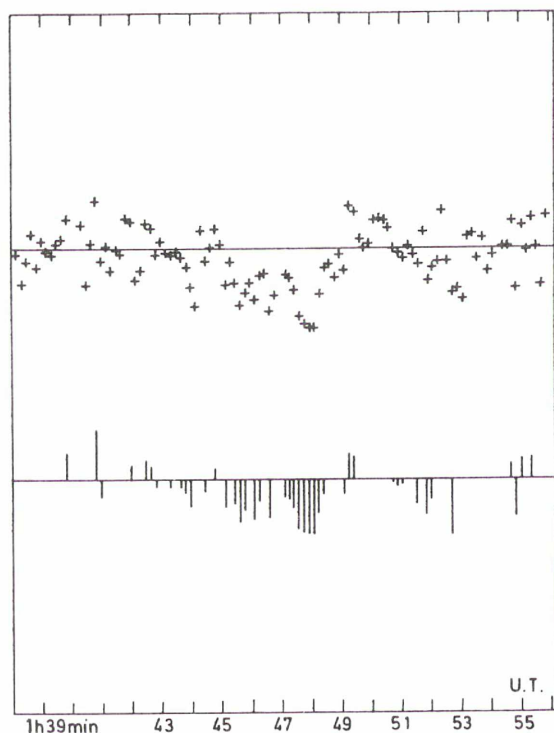


Fig. 23. Combinaison et corrélation entre les deux observations du phénomène mutuel du 18 avril 1980

Phénomène du 14/1/1979

J2 occulte J3		Date du minimum	
		UT	Erreur
Prédictions	SV2	23 ^h 36 ^m 31 ^s	
	SV3	23 ^h 36 ^m 29 ^s	
	A&F	23 ^h 39 ^m 06 ^s	
	E - 2	23 ^h 39 ^m 20 ^s	
Gornergrat T 1 m B		23 ^h 39 ^m 10 ^s	± 15 ^s
Nice T 40 cm 6130 Å		23 ^h 39 ^m 00 ^s	± 120 ^s
Chiran T 1 m U		23 ^h 40 ^m 10 ^s	± 10 ^s
OHPT 80 cm 7450 Å }		23 ^h 40 ^m 10 ^s	± 10 ^s
OHPT 80 cm 8850 Å }			
OHPT 60 cm V		23 ^h 39 ^m 20 ^s	± 15 ^s
Bordeaux photog. φ = 38 cm: f = 21 m		23 ^h 39 ^m 15 ^s	± 50 ^s
Bordeaux photog. φ = 33 cm: f = 3,3 m		23 ^h 39 ^m 55 ^s	± 180 ^s

Phénomène du 28/1/79

J2 éclipse J3		Date du minimum	
		UT	Erreur
Prédictions	SV2	7 ^h 16 ^m 17 ^s	
	SV3	7 ^h 15 ^m 32 ^s	
	A&F	7 ^h 11 ^m 00 ^s	
	E - 2	7 ^h 12 ^m 39 ^s	
La Silla T 1 m V		7 ^h 14 ^m 30 ^s	± 60 ^s
La Silla T 1 m U		7 ^h 14 ^m 30 ^s	± 60 ^s

Phénomène du 16/6/79

J3 éclipse J1		Date du minimum	
		UT	Erreur
Prédictions	SV2	20 ^h 24 ^m 10 ^s	
	SV3	20 ^h 23 ^m 55 ^s	
	A&F	20 ^h 24 ^m 06 ^s	
	E - 2	20 ^h 24 ^m 13 ^s	
Meudon observation visuelle: grande lunette φ = 83 cm f = 16 m		20 ^h 24 ^m 10 ^s	± 50 ^s
Bordeaux V φ = 38 cm grand équatorial		20 ^h 23 ^m 30 ^s	± 15 ^s

Phénomènes du 1/10/79

J1 éclipse J2		Date du minimum	
		UT	Erreur
Prédictions	SV2	3 ^h 04 ^m 57 ^s	
	SV3	3 ^h 04 ^m 33 ^s	
	A&F	3 ^h 04 ^m 18 ^s	
	E - 2	3 ^h 04 ^m 35 ^s	
Chiran T 1 m U		3 ^h 04 ^m 50 ^s	± 5 ^s

J1 occulte J2		Date du minimum	
		UT	Erreur
Prédictions	SV2	4 ^h 23 ^m 52 ^s	
	SV3	4 ^h 23 ^m 27 ^s	
	A&F	4 ^h 23 ^m 18 ^s	
	E - 2	4 ^h 23 ^m 27 ^s	
Chiran T 1 m U		4 ^h 23 ^m 36 ^s	± 5 ^s
Nice T 40 cm 6150 Å		4 ^h 23 ^m 42 ^s	± 24 ^s
Pic-du-Midi T 1 m 7450 Å }		4 ^h 23 ^m 34 ^s	± 2 ^s
Pic-du-Midi T 1 m 8850 Å }			
Meudon grande lunette φ = 83 cm f = 16 m visuel		4 ^h 23 ^m 40 ^s	± 40 ^s
Meudon grande lunette φ = 76 cm f = 16 m photographique		4 ^h 23 ^m 36 ^s	± 20 ^s

Phénomène du 6/10/79

J2 éclipse J3		Date du minimum	
		UT	Erreur
Prédictions	SV2	5 ^h 01 ^m 18 ^s	
	SV3	5 ^h 01 ^m 04 ^s	
	A&F	5 ^h 01 ^m 24 ^s	
	E - 2	5 ^h 01 ^m 13 ^s	
Pic-du-Midi T 1 m 7450 Å }		5 ^h 01 ^m 25 ^s	± 60 ^s
Pic-du-Midi T 1 m 8850 Å }			

Phénomène du 8/10/79

J1 éclipse J2	Date du minimum	Erreur
	UT	
Prédictions SV2	5 ^h 28 ^m 18 ^s	
SV3	5 ^h 27 ^m 53 ^s	
A&F	5 ^h 27 ^m 36 ^s	
E - 2	5 ^h 27 ^m 52 ^s	
Nice T 40 cm 6150 Å	5 ^h 30 ^m 09 ^s	± 20 ^s
Pic-du-Midi T 1 m 7450 Å	5 ^h 28 ^m 05 ^s	± 2 ^s
Pic-du-Midi T 1 m 8850 Å	5 ^h 28 ^m 05 ^s	± 2 ^s

Phénomène du 18/4/80

J2 occulte J1	Date du minimum	Erreur
	UT	
Prédictions SV2	1 ^h 48 ^m 05 ^s	
SV3	1 ^h 48 ^m 08 ^s	
E - 2	1 ^h 48 ^m 02 ^s	
Meudon T 60 cm Nocticon	1 ^h 46 ^m 15 ^s	± 60 ^s
Gornergrat T 1 m B		

III. Comparaison préliminaire observations-théories

Exploitions maintenant la donnée précise que représente l'instant observé de chaque phénomène. On peut en effet en déduire une relation liant les écarts en longitude (O-C) des satellites concernés. En effet, pour une occultation du satellite α par le satellite β par exemple :

$$(a_\alpha n_\alpha \cos \varphi_\alpha - a_\beta n_\beta \cos \varphi_\beta) \Delta T = a_\alpha \Delta l_\alpha \cos \varphi_\alpha - a_\beta \Delta l_\beta \cos \varphi_\beta \quad (1)$$

où φ_α est la longitude synodique du satellite α par rapport à la conjonction géocentrique supérieure (dans le cas d'une éclipse, on prend la conjonction héliocentrique supérieure)

- a_α est le 1/2 grand axe de l'orbite du satellite α ,
- n_α est le moyen mouvement sidéral du satellite α ,
- ΔT est la différence date observée-date calculée.

On obtient ainsi une relation du 1er degré entre Δl_α et Δl_β ou entre δt_α et δt_β (écarts en longitude en minutes de temps) car $\Delta l_\alpha = n_\alpha \delta t_\alpha$.

Les satellites 2 et 3 sont impliqués ensemble dans les phénomènes du 14 et du 28 janvier ainsi que du 6 octobre et les satellites 1 et 2 dans les phénomènes du 1 et 8 octobre 1979 et du 18 avril 1980. On obtient ainsi des relations entre δt_2 et δt_3 et entre δt_1 et δt_2 . La Fig. 24 donne la représentation graphique de ces relations en utilisant les tables de Sampson dites «SV2»

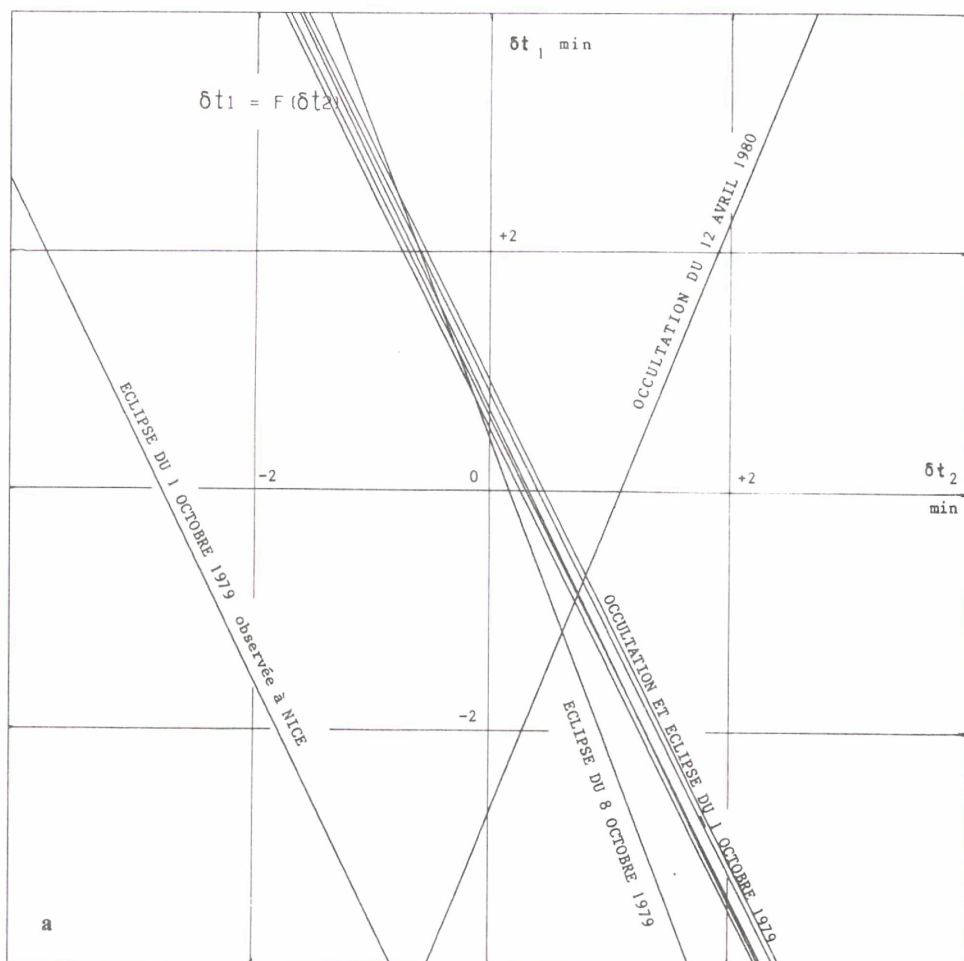


Fig. 24a et b. Représentation graphique des relations entre les écarts en longitude observations-éphémérides en minutes de temps

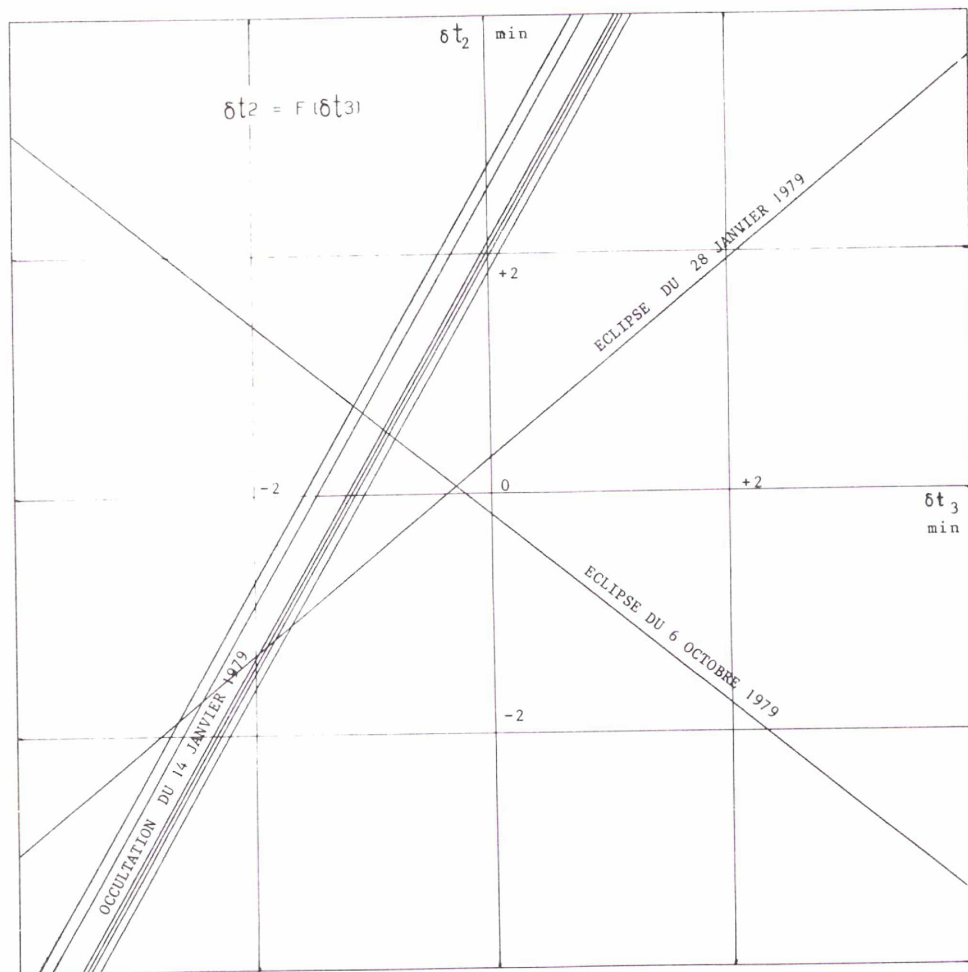
(cf. II-C). Le traitement par les moindres carrés de l'ensemble des relations déterminées à partir des observations de tous les phénomènes (22 dates observées) donne des valeurs à $\delta t_1, \delta t_2, \delta t_3$.

Le Tableau 7 donne pour chaque observation le résidu obtenu après solution en longitude, le ΔT date observée-date calculée ainsi que l'erreur d'observation annoncée par l'observateur (l'éphéméride ayant servi aux calculs est toujours SV2). On remarque que les résidus les plus gros sont de l'ordre de 0,0005 à 0,0007 en valeur absolue. Cependant, pour le phénomène du 14 janvier, les ΔT sont tous relativement proches les uns des autres ce qui indique que la valeur importante du résidu provient de la prédiction (donc de l'éphéméride) et non de l'observation. Par contre, en ce qui concerne l'observation du 8 octobre, le résidu important de l'observation effectuée à Nice est d'origine observationnelle car le ΔT est très différent de celui des observations du Pic-du-Midi. Pour le 18 avril 1980, on ne peut rien dire car il n'y a pas eu assez d'observations.

Le Tableau 8 donne les valeurs de $\delta t_1, \delta t_2, \delta t_3$ obtenues après traitement des données d'observations. Ces valeurs (écarts à l'éphéméride en longitude) ont été calculées pour 3 éphémérides: SV2, E-2 (cf. II-C) et G-5 (Arlot, 1981). Dans la colonne (1) on a les valeurs déduites de toutes les observations, dans la colonne (2) on a éliminé l'observation du 8 octobre 1979 faite à Nice. On remarque que dans ce cas, seul δt_1 est très modifié et l'erreur sur les résultats diminue. Dans la colonne (3), on a pondéré chaque observation inversement à l'erreur annoncée par l'observateur. Les résultats sont changés mais cela n'est point étonnant: en effet

les erreurs servant à la pondération varient de 2 à 180 s ce qui revient à supprimer presque complètement certaines observations. La valeur de l'erreur de détermination des δt est ainsi augmentée. De plus, cette pondération n'est peut-être pas très justifiée: en effet la détermination des erreurs n'est pas homogène. Ces erreurs dépendent de considérations variées propres à chaque observateur et ne peuvent être mises en comparaison que pour un même observateur et une même instrumentation. De plus, la méthode des moindres carrés pondère d'elle-même les observations: lorsque les $\cos \varphi$ de l'Éq. (1) sont proches de 1 (c'est-à-dire φ proche de 0) l'équation se trouve avoir plus de poids: en effet les satellites ont une vitesse apparente plus grande et donc la détermination du ΔT est plus précise.

On constatera que les précisions obtenues sont de l'ordre de 0^m.4 pour le satellite 1 et de 0^m.2 pour les satellites 2 et 3. Ces valeurs sont à rapprocher du Tableau 1. On obtient une telle précision avec 6 mois d'observation photographique (soit 95 observations). Dans le cas présent, on a utilisé 21 observations. On peut donc dire que 1 observation de phénomène mutuel équivaut à 5 clichés photographiques. Lieske en annonce 9 (Lieske, 1980) mais dans ce cas il utilisait aussi les données d'observation en chute en magnitude: on double alors la valeur d'un phénomène mutuel. Nous n'avons pas utilisé ici les données d'observation en chute en magnitude. La précision est moins grande que celle sur les dates si une réduction très poussée n'est pas effectuée. De plus, il est souhaitable d'attendre les données de Voyager sur des cartes d'albédo éventuelle des satellites. En effet, par le passé, la mauvai-



24b

Tableau 7

Date	phéno- mène	Observatoire	résidu	T en minutes et secon- des de temps	erreur d'obser- vation annoncée en secondes de temps
1979-01-14	2O3	Chiran T 1m	-0.0005	+3 ^m 41 ^s	10
	2O3	OHP T 80 cm	-0.0005	+3 ^m 41 ^s	10
	2O3	Gornergrat T1 m	-0.0004	+2 ^m 41 ^s	15
	2O3	Nice T 40 cm	-0.0004	+2 ^m 29 ^s	120
	2O3	OHP T 60 cm	-0.0004	+2 ^m 51 ^s	15
	2O3	Bordeaux gd équatorial	-0.0004	+2 ^m 44 ^s	50
	2O3	Bordeaux carte du ciel	-0.0005	+3 ^m 24 ^s	180
1979-01-28	2E3	La Silla T 1 m	-0.0004	-1 ^m 47 ^s	60
	2E3	La Silla T 61 cm	-0.0004	-1 ^m 47 ^s	60
1979-06-16	3E1	Meudon gde lunette	+0.0002	0 ^m 00 ^s	50
	3E1	Bordeaux gd équatorial	+0.0004	-40 ^s	15
1979-10-01	1E2	Chiran T 1m	+0.0000	- 7 ^s	5
	1O2	Chiran T 1m	+0.0001	-18 ^s	5
	1O2	Nice T 40 cm	+0.0001	-10 ^s	24
	1O2	Pic du Midi T 1m	+0.0001	-18 ^s	2
	1O2	Meudon gde lunette	+0.0001	-12 ^s	40
	1O2	Meudon gde lunette	+0.0001	-16 ^s	20
1979-10-06	1E2	Pic du Midi T 1m	+0.0001	+ 7 ^s	60
1979-10-08	1E2	Pic du Midi T 1 m	+0.0001	-13 ^s	2
	1E2	Pic du Midi T 1 m	+0.0001	-13 ^s	2
	1E2	Nice T 40 cm	-0.0007	+1 ^m 51 ^s	40
1980-04-18	2O1	Meudon/Gornergrat	+0.0005	-1 ^m 50 ^s	60

Tableau 8

Ephéméride	Satellite	(1) toutes observations	(2) toutes observations sauf Nice du 8/10/79	(3) toutes observations sauf Nice du 8/10/79 pondérées par l'erreur en secondes
SV2	I	-0.81 ± 0.95	-0.27 ± 0.35	+0.10 ± 1.14
	II	+0.41 ± 0.38	+0.47 ± 0.14	+0.33 ± 0.55
	III	-0.51 ± 0.38	-0.50 ± 0.14	-0.90 ± 0.37
E-2	I	-1.34 ± 0.76	-0.80 ± 0.45	-0.24 ± 1.23
	II	-0.00 ± 0.31	+0.06 ± 0.18	-0.14 ± 0.62
	III	+0.09 ± 0.30	+0.11 ± 0.17	-0.11 ± 0.40
G-5	I	-0.96 ± 0.65	-0.38 ± 0.31	-0.05 ± 1.02
	II	-0.03 ± 0.26	+0.04 ± 0.12	-0.15 ± 0.47
	III	+0.11 ± 0.26	+0.12 ± 0.12	-0.08 ± 0.32

se connaissance de ces albédos a pu entacher d'erreur les données d'observation en chute en magnitude. Cela a d'ailleurs déjà été mis en évidence (Aksnes et Franklin, 1975).

Pour terminer, signalons que des résultats sur les δt ont été publiés récemment (Arlot, 1981). Ce ne sont pas les mêmes valeurs

que dans cet article-ci car les données d'observation diffèrent : en particulier, on ne disposait pas des phénomènes du 6 octobre 1979 et du 18 avril 1980. Par contre on a utilisé une occultation du 28 janvier 1979 non présentée ici. Notons que seule la valeur δt_1 diffère de plus de 0^m1 de la valeur présentée ici.

IV. Conclusion

Les courbes présentées ici sont à intégrer à l'ensemble des observations des satellites galiléens existants. Elles évitent également un manque total d'observations de phénomènes mutuels entre les deux périodes favorables de 1973 et de 1985. Les quelques résultats obtenus au point de vue du mouvement des satellites montrent la précision et l'intérêt de ce type d'observation. Une réduction plus poussée de ces observations peut conduire à d'autres résultats. La période de 1985, plus riche en phénomènes observables, devra être aussi bien exploitée pour augmenter encore les observations disponibles de phénomènes mutuels qui, utilisées concurremment aux observations photographiques et aux observations d'éclipses, permettent ainsi la diminution des erreurs systématiques dues aux techniques d'observations.

Remerciements. Nous tenons à remercier J.-P. Bretagne de l'Observatoire de Haute-Provence, N. Broqua, M.-R. Dulou, M. Dupouy et J.-M. Mazurier de l'Observatoire de Bordeaux, M. Burnet de l'ESO, B. Dagostinoz et Ch. Richardson de l'Observatoire de Meudon, E. W. Elst de l'Observatoire royal de Uccle et M. Weinfeld de l'école polytechnique pour leur aide lors de ces observations ou de leur dépouillement.

Bibliographie

- Aksnes, K., Franklin, F.A.: 1975, *Nature* **258**, 503
 Aksnes, K., Franklin, F.A.: 1976, *Astron. J.* **81**, 464
 Aksnes, K., Franklin, F.A.: 1978, *Icarus* **34**, 188
 Arlot, J.E., Camichel, H., Link, F.: 1974, *Astron. Astrophys.* **35**, 115
 Arlot, J.E.: 1978, *Astron. Astrophys. Suppl.* **34**, 195
 Arlot, J.E.: 1980, *Astron. Astrophys.* **86**, 55
 Arlot, J.E.: 1982, New Constants for Sampson-Lieske Theory (en cours de publication dans *Astron. Astrophys.*)
 Clark, R.N., McCord, T.B.: 1980, *Icarus* **41**, 323
 Johnson, T.V., Pilcher, C.B.: 1977, in *Planetary Satellites*, ed. J. A. Burns, University of Arizona Press, p. 232
 Kwee, K.K., van Woerden, H.: 1956, *Bull. Astron. Inst. Neth.* **12**, 327
 Lieske, J.H.: 1980, *Astron. Astrophys.* **82**, 340
 Morrison, D., Morrison, N.D.: 1977, in *Planetary Satellites*, ed. J. A. Burns, University of Arizona Press, p. 363
 Nelson, R.M., Hapke, B.W.: 1978, *Icarus* **36**, 304
 Sagnier, J.L.: 1981, Thèse de doctorat d'état, Université Pierre et Marie Curie, Paris
 Sampson, R.A.: 1921, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **63**
 Vu, D.T.: 1977, *Astron. Astrophys. Suppl.* **30**, 361