

La Connaissance des temps : un journal scientifique publié depuis 1679

Épisode 4 : Le mouvement de la Lune à partir de 1760 et les éphémérides après 1980

Dans ce quatrième épisode, nous allons voir les évolutions apportées dans la Connaissance des temps au mouvement de la Lune à partir de 1760 et aux éphémérides après 1980.

Les éphémérides de la Lune : de 1760 à 1861

De 1760 à l'an XIII (23 septembre 1804-22 septembre 1805), les éphémérides de la Lune publiées dans la CDT sont basées sur des versions successives des tables de Tobias Mayer. Les tables de Mayer sont publiées dans la CDT pour 1761 (pages 121 et suivantes) et vont servir de base aux éphémérides de la Lune jusqu'à l'édition pour 1789. Les tables de Mayer corrigées par Mason sont ensuite publiées dans la CDT pour 1790 (pages 296-355) et seront la source des éphémérides lunaires jusqu'à l'an XIII. De l'an XIV (23 septembre 1805-22 septembre 1806) à 1816, les éphémérides de la Lune publiées dans la CDT sont basées sur les tables de Bürg et de 1817 à 1861 sur les tables de Burckhardt, établies au Service de calcul et de

mécanique céleste du Bureau des longitudes comme le montre la table 4 qui donne les sources et l'argument des éphémérides de la Lune publiées dans la CDT depuis 1806. Comme pour les planètes, l'argument des éphémérides de la Lune est le temps solaire vrai de Paris jusqu'en 1834, puis le temps solaire moyen de Paris jusqu'en 1915. Comme l'indique Chapront-Touzé (dans *Introduction aux éphémérides*, EDP Sciences, 1998), les tables de Bürg et Burckhardt, comme celles, antérieures, de Mayer sont construites par ajustement direct sur les observations des coefficients d'un petit nombre de termes trigonométriques dont la forme des arguments est fournie par la théorie. Notons que les accélérations séculaires des longitudes moyennes et des longitudes du nœud et du périégée calculées par Laplace sont introduites dans les tables de Bürg et Burckhardt avec des valeurs des constantes légèrement modifiées.

TABLE 1 – Sources et argument du temps des éphémérides de la Lune publiées dans la CDT à partir de 1760. TVP est le Temps vrai de Paris, TMP est le Temps moyen de Paris, GMT est le Temps moyen de Greenwich, UT est le Temps universel, ET le Temps des éphémérides et TT le Temps terrestre

Dates	Argument du temps	Sources des éphémérides
1760-1789	TVP	Mayer
1790-1805	TVP	Mayer + Mason
1806-1816	TVP	Bürg
1817-1834	TVP	Burckhardt
1835-1861	TMP	Burckhardt
1862-1881	TMP	Hansen
1882-1914	TMP	Hansen + Newcomb
1915	TMP	Radau
1916-1924	GMT	Radau
1925	UT	Radau
1926-1959	UT	Brown
1960-1965	ET	Brown + Woolard
1966-1967	ET	Brown + Eckert (ILE, j=0)
1968-1971	ET	Brown + Eckert (ILE, j=1)
1972-1983	ET	Brown + Eckert (ILE, j=2)
1984-2006	TT	Chapront-Touzé et Chapront (ELP2000)
2007-2013	TT	Fienga et al. (INPOP06)
2014	TT	Fienga et al. (INPOP10)

Les tables de la Lune de Hansen

L'introduction des tables de Hansen pour le calcul des éphémérides de la Lune est annoncée dans [l'avertissement de la CDT 1862](#) : « Les lieux de la Lune qui avaient d'abord été calculés par les Tables de Burckhardt ont dû être recalculés sur les nouvelles Tables de la Lune de M. Hansen, ce qui a occasionné un retard dans la publication du présent volume ». C'est avec l'introduction de ces tables que des éphémérides de la Lune véritablement fondées sur une théorie dynamique apparaissent dans la CDT.

Les tables de Hansen sont utilisées jusqu'en 1914, mais l'une d'elles, qui ne fournit qu'une petite contribution, est remplacée au cours de la période par une table due à Newcomb. Des corrections journalières en ascension droite et en déclinaison résultant de la correction en longitude proposée par Newcomb sont données dans un tableau séparé et introduites dans certains calculs (éclipses, occultations, distances de la Lune au Soleil et aux étoiles) à partir de 1882.

Pour construire ses tables à partir de sa théorie, Hansen n'a ajusté sur les observations que les constantes d'intégration, les moyens mouvements du nœud et du périhélie, le coefficient de l'inégalité parallactique (pour fixer le rapport des distances moyennes Terre-Lune et Terre-Soleil), le coefficient des deux principales perturbations dues à la non sphéricité de la Terre, l'une en longitude, l'autre en latitude, et enfin la valeur $21,47''$ du coefficient de la perturbation planétaire à longue période dépendant des longitudes moyennes de Vénus et de la Terre.

Les travaux de Delaunay sur la Lune

Les travaux de Delaunay sur la Lune font l'objet de plusieurs articles dans les additions à la CDT. On trouve ainsi :

- une présentation de sa méthode d'intégration des équations du mouvement de la Lune dans [l'addition à la CDT pour 1861](#) ;
- le calcul de l'accélération séculaire de la Lune et le calcul de l'expression analytique de l'inégalité à longue période $l + 16Te - 18Ve$ introduite dans les tables de Hansen, dans [l'addition à la CDT pour 1862](#) ;
- le calcul de l'expression analytique de l'inégalité à longue période $13Te - 8Ve$ introduite dans les tables de Hansen, dans [l'addition à la CDT pour 1863](#) ;
- un « Mémoire sur l'équation séculaire de la Lune » dans [l'addition à la CDT pour 1864](#) ;
- des « Expressions analytiques des trois coordonnées de la Lune » dans les additions à la CDT pour [1865](#) et pour [1869](#).

Ces expressions analytiques sont issues de la théorie de Delaunay.

Les éphémérides de la Lune de 1915 à 1925

De 1915 à 1925, les éphémérides de la Lune publiées dans la CDT sont calculées à partir des tables de Radau. En même temps, on fournit les différences journalières avec les éphémérides issues des tables de Hansen et de la correction de Newcomb jusqu'en 1922, puis avec les éphémérides issues des tables de Brown. Les tables de Radau sont fondées sur la théorie de Delaunay pour le problème principal, sur les travaux de Radau pour les perturbations planétaires et sur les travaux de Hill pour les perturbations dues à la forme de la Terre. L'argument des éphémérides devient le temps solaire moyen de Greenwich à partir de 1916 puis le temps universel (TU ou UT) (temps solaire moyen de Greenwich + 12h) à partir de 1925.

Les éphémérides de la Lune de 1926 à 1979

De 1926 à 1979, la CDT reprend les éphémérides de la Lune publiées par « The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris ». La théorie de Brown est à la base de ces éphémérides, même si elle va subir plusieurs révisions au cours du temps. De 1926 à 1959, les éphémérides de la Lune sont calculées d'après les tables de Brown. Ces tables sont construites d'après la théorie du même auteur. Les accélérations séculaires de la longitude moyenne et des longitudes du nœud et du périhélie proviennent de la théorie. Les constantes d'intégration ont été déterminées par comparaison de sa théorie à l'observation ([Brown 1915](#)). Les moyens mouvements du nœud et du périhélie de la théorie sont remplacés par des valeurs issues de la comparaison à l'observation. De plus, Brown ajoute à la longitude moyenne un terme empirique.

À partir de 1960, la CDT va peu à peu adopter les recommandations faites par l'Union Astronomique Internationale (UAI) en 1952. L'argument des éphémérides est le « Temps des éphémérides » (TE ou ET). De 1960 à 1965, la source des éphémérides reste les tables de Brown avec des corrections dues à [Woolard en 1953](#) et la suppression du terme empirique. À partir de 1966, conformément aux recommandations de l'UAI, les éphémérides sont calculées directement à partir des séries de la théorie de Brown elle-même et non plus à partir des tables. Les éditions 1966 et 1967 tiennent compte des corrections de Woolard. Les séries et les méthodes de calcul sont données dans les « Improved Lunar Ephemeris 1952-1959 » (ILE). L'éphéméride ainsi obtenue porte le nom de ILE, $j=0$.

À partir de 1968, on introduit le nouveau système de constantes recommandé par l'UAI en 1964, ce qui entraîne des corrections de la théorie de Brown calculées par Eckert. Ces corrections figurent dans la CDT sous forme d'un tableau complémentaire. Les corrections de Woolard sont remplacées par des corrections dues à Spencer Jones. L'éphéméride ainsi constituée porte le nom de ILE, $j=1$.

En 1972, l'éphéméride ILE, $j=1$ est remplacée par l'éphéméride ILE, $j=2$ obtenue en remplaçant les séries des perturbations solaires en longitude, latitude et parallaxe calculées par Brown par les séries calculées par Eckert en 1966 directement à partir des séries en coordonnées rectangulaires de Brown. Cette éphéméride est utilisée dans la CDT jusqu'en 1983, les calculs étant à nouveau effectués au Bureau des longitudes à partir du premier volume de la nouvelle série en 1979.

Les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes dans la CDT après 1980

D'importantes transformations ont été apportées à la CDT à la fin du XXe siècle du fait de l'apport de l'informatique. De 1980 à 2004, la présentation des éphémérides sous forme de tables interpolables a été remplacée par une représentation en polynômes de Tchebychev beaucoup plus compacte et bien adaptée au développement de la micro-informatique. Depuis 2005, la CDT comprend deux parties. La première partie contient des textes scientifiques qui donnent les bases d'astronomie fondamentale et de mécanique céleste nécessaires à la compréhension et à l'utilisation des éphémérides. La seconde partie contient des données numériques qui permettent de calculer les positions de nombreux objets du système solaire. La représentation des coordonnées en développements polynomiaux a

été abandonnée en 2006 au profit d'une représentation tabulée mais reste disponible sous forme de fichiers électroniques accessibles à l'utilisateur et un logiciel d'éphémérides électroniques est fourni sur le [site Internet de l'IMCCE](#).

De 1984 à 2006, la CDT a utilisé les théories analytiques du mouvement du Soleil, de la Lune et des planètes élaborées à l'IMCCE. Pour le Soleil et les planètes il s'agissait des théories **VSOP82 de Bretagnon** et **TOP82 de Simon** ajustées sur l'intégration numérique du **JPL DE200 de Standish**. Pour la Lune, la source des éphémérides publiées dans la CDT est l'éphéméride ELP 2000 de **Chapront-Touzé et Chapront** issue de la théorie ELP 2000-82 construite au Bureau des longitudes et ajustée sur l'intégration numérique DE200/LE200 du JPL. Depuis 1989, les éléments moyens publiés dans la CDT sont issus de la solution ELP 2000-85 de Chapront-Touzé.

Depuis 2007, les sources des éphémérides planétaires et lunaires ainsi que celles de la planète naine Pluton sont issues de deux versions des intégrations numériques INPOP élaborées à l'IMCCE/Observatoire de Paris : INPOP06 (**Fienga et al., 2008**) jusqu'à l'édition pour 2013, puis INPOP10a (**Fienga et al., 2011**) depuis l'édition pour 2014.

Enfin, depuis 1984, l'argument des éphémérides est le temps terrestre TT (appelé temps dynamique terrestre TDT jusqu'en 1991).