

Les tables astronomiques

DENIS SAVOIE

Les Tables pruténiques, qui datent du XVI^e siècle, furent performantes, grâce à quelques concours de circonstances heureux.

La prévision de la position des astres dans le ciel est l'objectif des astronomes depuis l'Antiquité. Pour ce faire, il leur fallait établir des modèles prédictifs des mouvements planétaires, fondés sur leurs observations. Au II^e siècle avant notre ère, l'astronome et mathématicien grec Hipparque inaugure la grande période de l'astronomie grecque grâce à ses modèles géométriques et à ses observations. Au II^e siècle de notre ère, Ptolémée reprend ce travail et perfectionne le modèle d'Hipparque.

Observant la révolution des planètes dans le ciel, Ptolémée en déduisait leurs périodes de révolution et les variations par rapport à ces périodicités. L'*Almageste* de Ptolémée est l'une des œuvres les plus gigantesques de l'histoire des sciences : y sont accumulées des milliers de valeurs, issues de calculs trigonométriques, et donnant les positions des planètes et de centaines d'étoiles au fil des siècles.

Au XII^e siècle, l'Occident découvre les tables planétaires dans la traduction de l'*Almageste*. Le développement de l'astronomie, stimulé par l'intérêt des notables pour l'astrologie, suscite la production de nouvelles tables astronomiques. Aux XII^e et XIII^e siècles, ces tables sont généralement traduites de l'arabe.

Puis, vers 1320, apparaissent dans les milieux astronomiques parisiens des tables commandées par le roi Alphonse X de Castille : ce sont les Tables alphonsines. Comme les autres, elles ne sont que colonnes de chiffres, et doivent leur succès au «mode d'emploi» qui en facilite l'interprétation. L'engouement est tel qu'à partir du XIV^e siècle, elles supplantent toutes les autres. Si leur utilisation est plus aisée, leur précision n'est guère meilleure que celle des tables précédentes : les valeurs

numériques sont recopiées et les erreurs se répètent.

En 1543, Copernic publie *De revolutionibus*, qui contient également des tables astronomiques. Dans cet ouvrage, la Terre cesse d'être le centre de l'Univers ; elle y est remplacée par le Soleil. Reprenant les données de l'*Almageste*, Copernic effectue un changement de repère : il remplace la Terre fixe par le Soleil et met la Terre et les planètes en mouvement autour du Soleil. Pour établir ses tables, Copernic se contente d'un

nombre d'observations très réduit, et ne porte aucun jugement critique sur les observations de ses prédécesseurs. Il choisit des observations qui ont une importance historique ou d'autres qui ne s'éloignent pas trop de ses propres résultats.

Ainsi, pour établir l'excentricité de l'orbite terrestre (le décalage entre le centre de l'orbite terrestre et le Soleil), il n'utilise que trois observations : une faite par Ptolémée, une par Albategnius, un astronome arabe du IX^e siècle, et une qu'il réalise en 1515. Ces trois valeurs sont assez voisines, mais semblent indiquer une diminution de l'excentricité : Copernic construit une loi de variation de l'excentricité compatible avec ces trois points, et il en déduit des valeurs intermédiaires – fausses, puisque l'excentricité ne varie pas comme il l'imagine. Copernic établit un système planétaire où presque tous les paramètres orbitaux varient en fonction du temps. Il s'efforce de justifier tous les écarts entre les observations et sa théorie.

Dans le système de Copernic, les planètes décrivent des cercles autour du Soleil. En réalité, le système copernicien est encombré d'épicycles (de petites trajectoires circulaires superposées au mouvement général), fluctuations minimes qui ont pour objet de compenser les irrégularités apparentes.

Copernic reste prisonnier de l'astronomie ptoléméenne, car il fait une confiance absolue aux observations de ses prédécesseurs. Il complique sa belle mécanique, pour adapter son modèle aux observations, sans imaginer qu'elles peuvent être entachées d'erreurs. La notion d'erreur expérimentale est inconnue.

L'année 1551 marque un tournant dans l'histoire des tables planétaires. C'est l'année de la publication des Tables pruténiques, dues à l'astronome allemand Erasm Reinhold. Ce sont les premières fondées sur l'hypothèse de Copernic. Bien que Reinhold ne semble pas avoir cru à l'hypothèse héliocentrique, il passe sept années de sa vie à recalculer, à compléter et à corriger les données publiées dans le *De revolutionibus*. La précision de ses tables est 1 000 fois supérieure à celle des tables de Copernic. Il prétend que l'on peut désormais prévoir la position des étoiles et des planètes sur des siècles.

Cette affirmation était erronée, car les erreurs, minimes lorsque les tables furent établies, devaient s'amplifier inéluctablement au cours du temps.

1. Les tables astronomiques, telle celle-ci de Copernic, indiquaient des listes de valeurs numériques permettant de calculer la position de toutes les planètes quelle que soit la date.

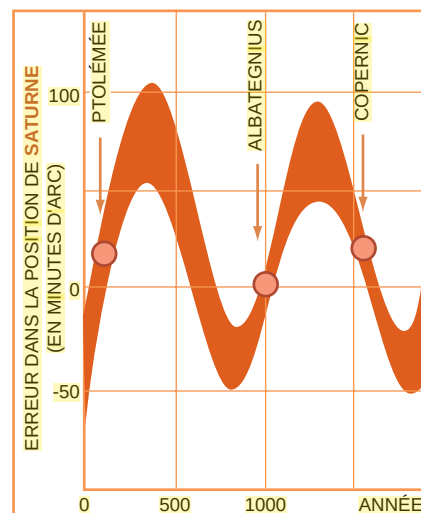
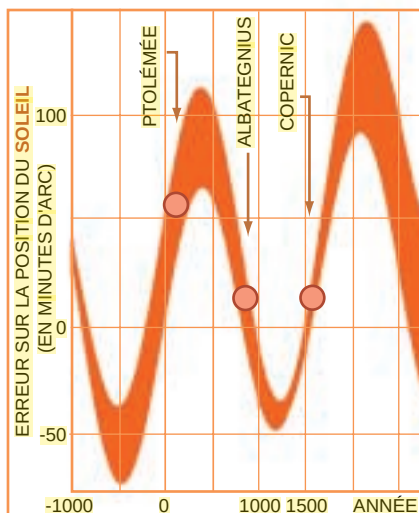
UN NOUVEL EXAMEN DES TABLES PRUTÉNIQUES

Pour analyser les théories planétaires anciennes, notamment les Tables pruténiques, on retrace la façon dont les auteurs les ont établies : nous avons cherché à décrire le modèle cinématique de chaque planète et à en retrouver les constantes et les paramètres fondamentaux. Nulle part, Reinhold ne donne directement les valeurs qu'il utilise, ni ses calculs ; de surcroît, il emploie des valeurs différentes de celles de Copernic.

Après avoir élucidé la façon dont sont construites ces tables, après avoir isolé chaque paramètre orbital et étudié son évolution dans le temps, nous avons rassemblé toutes ces données sous forme informatique. Ensuite, nous avons comparé le mouvement des planètes établi par Reinhold et celui issu des théories planétaires élaboré par le Bureau des longitudes, dans les années 1980, et qui est d'une grande précision sur de longs intervalles de temps : les Tables pruténiques – autrement dit tout l'échafaudage de Copernic – étaient vouées inexorablement à se détériorer en moins d'une centaine d'années. Une mauvaise approximation de la précession des équinoxes et l'ignorance de la grande inégalité de Jupiter et de Saturne, en sont partiellement responsables.

L'axe de rotation de la Terre change de direction au cours du temps, de sorte que le point de référence des coordonnées des astres bouge par rapport aux étoiles d'un angle de 50 secondes par an ; c'est la précession des équinoxes. Or, Copernic est convaincu que ce mouvement de précession n'est pas uniforme et lui attribue une variation dont les effets sont perceptibles sur de longs intervalles de temps. Or, cette correction dégrade périodiquement toutes les positions des corps célestes et, dans la seconde moitié du XVI^e siècle, l'écart entre les prévisions astronomiques et les observations croît.

En comparant les données issues des Tables pruténiques avec les résultats fournis par les théories modernes, on constate que l'erreur principale commise sur la position du Soleil dans le ciel (due à la correction erronée de la précession des équinoxes) évolue avec une période de quelque 1 700 ans (voir la figure 2). Les positions les plus correctes correspondent aux époques où Ptolémée, Albategnius et Copernic ont fait leurs observations (Copernic adapte son modèle pour qu'il en soit ainsi !). D'autres facteurs se conjuguent pour dégrader les prévisions à long terme, et les modèles cinématiques s'écartent progressivement de la réalité.



2. Reinhold, dans ses Tables pruténiques, donnait le moyen de calculer la position des astres, plusieurs centaines d'années à l'avance. Pour évaluer la précision de ces prévisions, l'auteur a comparé les positions indiquées par ces tables avec celles qu'indiquent les modèles astronomiques d'aujourd'hui. Pour ce faire, il a fait la différence entre les positions des astres d'après Reinhold et d'après les modèles actuels, sur de longs intervalles de temps. Si les prévisions de Reinhold avaient été correctes, la différence serait nulle. On constate que les erreurs sur la position du Soleil (à gauche) et sur celle de Saturne (à droite) sont périodiques. Les mesures de Ptolémée, au II^e siècle, d'Albategnius, au IX^e siècle et de Copernic, en 1515, sont cohérentes, car Copernic s'est efforcé d'adapter son modèle à ces observations.

La planète Mercure présente les plus fortes erreurs, puisque les positions diffèrent parfois de plus de dix degrés de la réalité. Heureusement ces écarts se produisent à des moments où la planète n'est pas observable de la Terre ! Si, pour Vénus, les erreurs restent inférieures à quatre degrés, de telles incertitudes interdisent toute prévision d'un passage de ces planètes devant le Soleil.

Jupiter et Saturne intéressaient particulièrement les astrologues des XVI^e et XVII^e siècles : ils prétendaient que les conjonctions de Jupiter et de Saturne étaient des phénomènes essentiels, qui rythmaient toute l'histoire du monde et annonçaient de grands événements. Les tables astronomiques qui permettaient de les prévoir précisément détrônaient les autres. Or, les mouvements de ces planètes sont assez bien traités par les Tables pruténiques. Cela s'explique notamment par le fait que Jupiter et Saturne étant des planètes lentes, les erreurs des modèles ne se manifestent que lentement.

Par ailleurs, les résultats étaient perturbés par la «grande inégalité de Jupiter et de Saturne». Copernic ignorait cette anomalie, mais, depuis, on a constaté des ralentissements pour Saturne et des accélérations pour Jupiter. Ces perturbations, dont la période est proche de 900 ans, sont responsables d'anomalies de grande amplitude, mais Copernic a eu de la chance : les accélérations et les ralentissements de ces planètes étaient faibles, lorsqu'il fit ses observations, entre 1514 et 1529.

Les mathématiciens déduisaient des tables astronomiques, notamment des Tables pruténiques, les éphémérides qui indiquaient, pour chaque jour de l'année, la position des astres. Puis, les astrologues interprétaient ces éphémérides, et leurs almanachs étaient une liste de recommandations ou d'interdictions, destinées aux paysans notamment (Napoléon III, mesurant l'effet désastreux de ces almanachs, en interdisait la publication).

L'adoption des Tables pruténiques par les astronomes européens du XVI^e siècle a contribué à légitimer le système héliocentrique en prouvant la qualité des prévisions astronomiques de Copernic. Toutefois, quand on y regarde de plus près, on constate que les prévisions se dégradent irrésistiblement et parfois rapidement.

Travail de Titan, ces tables ont été utilisées pendant près de 80 ans. Elles dominèrent jusqu'en 1627, année où paraissent les Tables rodolphines de Kepler. Fondées sur le mouvement elliptique des planètes autour du Soleil, débarrassées des encombrants épicycles, et élaborées d'après les nombreux relevés de Tycho Brahé, qui avait compris qu'il fallait renouveler le stock des observations, ces nouvelles tables seront utilisées pendant la plus grande partie du XVII^e siècle.

Denis SAVOIE a préparé une thèse sur les Tables pruténiques, à l'Observatoire de Paris.