

La Connaissance des temps : un journal scientifique publié depuis 1679

Épisode 19 : la CDT, un journal scientifique : La mécanique céleste de 1763 à 1819

1 Introduction

Dès 1664, tout en élaborant sa loi de la gravitation universelle, Newton remarquait que les mouvements des planètes n'étaient pas simplement des ellipses képlériennes mais étaient beaucoup plus complexes à cause des perturbations mutuelles.

Les écarts aux mouvements simples vont peu à peu être mis en évidence grâce à des observations de plus en plus nombreuses et précises. Ils se présentent sous forme de termes périodiques qu'on appelle alors « inégalités ».

On va d'abord en faire une description cinématique (étude du mouvement indépendamment des causes qui le produisent) en les représentant par des fonctions trigonométriques simples qui cherchent simplement à décrire les mouvements observés. On obtient ainsi les théories cinématiques.

C'est à partir de ces théories qui décrivent le mouvement des astres que l'on va construire des tables de positions. Ces théories contiennent un petit nombre de termes (ces « inégalités ») ajustés de façon à bien correspondre aux observations. On va ensuite, principalement grâce à Laplace, utiliser le principe de l'attraction universelle, pour modéliser les forces en présence, obtenir par le calcul ces inégalités et ainsi améliorer ces théories. Leur comparaison aux observations permet d'obtenir des théories et des tables bien plus précises du mouvement des planètes, des satellites et de la Lune.

Le début du XIX^e siècle verra la découverte de nouveaux corps, les « petites planètes » dont on va chercher à calculer les éléments et modéliser le mouvement.

Voyons à présent comment on retrouve cette évolution dans les articles contenus dans la Connaissance des temps entre 1763 et 1819.

2 Les descriptions cinématiques

La CDT pour 1763 contient deux articles de Lalande où il montre bien que les inégalités du mouvement des planètes sont dues à l'action réciproque de celles-ci et que l'on doit les calculer par comparaison aux observations.

- Dans le premier, *Calculs des cinq planètes principales*, il constate les écarts entre les résultats issus des tables de Cassini et de Halley avec les observations et indique *C'est surtout l'attraction que*

les Planètes exercent les unes sur les autres qui cause les inégalités dont nous nous plaignons ici, & qui empêche encore qu'on n'ait des Tables absolument parfaites ;

- Dans le second, *équations de la longitude de Jupiter dépendantes de l'action de Saturne*, p. 198-199, il explique « Parmi les inégalités des Planètes dont nous avons parlé page 170 & qui dépendent de l'attraction, celles de Jupiter sont très remarquables ; elles peuvent aller jusqu'à plusieurs minutes ; mais elles n'ont point encore été déterminées par un assez grand nombre d'observations et de calculs. Cependant M. Meyer..... a cru pouvoir réduire ces inégalités de Jupiter aux cinq Tables que nous avons données (pages 128 & 129), dont voici l'usage ».

La CDT pour 1764 contient, p. 198-199, un article de Lalande, *Des inégalités de Jupiter provenant de l'attraction de Saturne ; Et de ce qui en résulte pour les Satellites de Jupiter* dans lequel il reprend l'article de l'année précédente « sous une forme bien plus commode, accompagnée d'une application importante et nouvelle ». « Au lieu de cinq Tables, qui exigeaient cinq arguments, nous avons tout réduit à un seul argument (page 135) & à une seule Table d'équations (page 136 & suiv) ». Son argument qu'il note P « n'est autre chose que la longitude moyenne de Saturne moins celle de Jupiter ».

Dans la CDT pour 1798, Lalande publie, p. 231-237, *Sur les Satellites de Saturne*, article dans lequel il utilise les nouvelles observations d'Herschel pour améliorer ses tables du mouvement de ces satellites.

Laplace publie dans les additions à la CDT pour 1813, *Sur l'inégalité à longue période du mouvement lunaire*, article dans lequel il détermine cette inégalité à partir des observations. Il revient sur cette inégalité dans les additions à la CDT pour 1815, p. 213-214, et conseille à Burckhardt de l'introduire dans ses tables sous forme d'une « inégalité proportionnelle au cosinus de l'argument formé de deux fois la longitude moyenne du nœud lunaire, plus celle du périégée lunaire ».

3 La loi de la gravitation universelle

Dans la CDT pour 1763, p. 210-211, Lalande porte sa réflexion sur la loi de Newton dans une note *De l'attraction des corps célestes* où il écrit : « Képler sembloit déjà apercevoir cette tendance universelle, lorsqu'il disoit que

les marées étoient l'effet de l'action de la Lune qui attiroit les eaux ; le chancelier Bacon en avoit à peu près la même idée ; le docteur Hook, célèbre Anglois, dans un Livre sur le mouvement de la Terre, imprimé en 1674, page 27, en parle de la manière la plus précise ; Hevelius, dans son *Traité des Comètes*, paroît en avoir l'idée la plus distincte ; on trouve dans les *Œuvres de Fermât*, page 124, une Lettre où il parle d'une Attraction mutuelle entre les corps ; enfin Newton, plus éclairé par la Géométrie, non-seulement reconnu l'Attraction, mais il en aperçut la mesure par le moyen des loix de Képler, il en déduisit tous les phénomènes ; & tous les pas que l'on fait dans l'Astronomie depuis quatre-vingts ans fournissent de nouvelles preuves de l'universalité de cette loi ». On voit comment peu à peu l'attraction universelle va devenir le fondement de la mécanique céleste.

4 L'application de la loi de la gravitation universelle au mouvement des astres : les travaux de Laplace

Au cours des années 1770-1825, Laplace applique la loi de la gravitation universelle aux mouvements des corps du Système solaire. Ses travaux sont publiés, en particulier, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences* et dans son *Traité de mécanique céleste* mais il va aussi publier de nombreux articles sur le mouvement des planètes, des satellites et de la Lune dans les additions à la CDT.

Mouvement des planètes

Dans la CDT pour 1789, Méchain commente, p. 277-283, un **communiqué à l'Académie SUR les moyens mouvements de Saturne, de Jupiter & de ses Satellites** dans lequel Laplace présente ses recherches sur la prise en compte de l'attraction universelle dans le mouvement des planètes. Il donne, en particulier, une formulation remarquable de la « grande inégalité » Jupiter-Saturne « **dont la période** est d'environ 877 ans & dépend de cinq fois le moyen mouvement sidéral de Saturne, moins deux fois celui de Jupiter ». Plus loin, Méchain indique qu'« **il aurait fallu** plusieurs siècles d'observations suivies pour déterminer empiriquement, la grande inégalité de la formule précédente, à cause de la longueur de sa période ; ainsi, sur ce point, la théorie de la pesanteur universelle a devancé l'observation ».

Dans la CDT pour 1806, Laplace publie, p. 435-440, **Sur les Tables de Jupiter**, article dans lequel il fait le bilan des avancées sur l'étude du mouvement des planètes dues à ses travaux.

- Il écrit d'abord « La comparaison des observations des planètes, que j'ai déterminées dans le sixième livre de ma Mécanique céleste, réunit à l'avantage d'établir incontestablement la loi de la pesanteur universelle, celui de perfectionner les tables astronomiques » ;
- Il note ensuite que, s'appuyant sur les inégalités qu'il a calculées, Delambre a construit des tables du So-

leil « d'une précision remarquable » et des tables de Jupiter d'une précision d'une demi-minute, alors « qu'il n'y a pas vingt ans, ces tables étaient quelquefois en erreur de dix à douze minutes » ;

- Ayant recalculé, « avec un nouveau soin », les inégalités du mouvement de Jupiter, il demande à Bouvard de déterminer, à l'aide des tables, un certain nombre d'oppositions de Jupiter et de les réunir à celles déjà déterminées par Delambre. Il écrit : « **on a dans l'intervalle** des 54 dernières années, 49 oppositions de Jupiter ». Il ajoute « L'ensemble de ces oppositions offre le plus sûr moyen de corriger les éléments elliptiques des tables de Jupiter. La valeur de la masse perturbatrice de Saturne est un élément essentiel de ces tables ». À partir de la résolution des 49 équations de conditions, Laplace estime la masse de Saturne à **1/3521,31** de la masse solaire, soit à un 150e environ de la masse réelle. Bouvard, lui, apporte des corrections aux éléments elliptiques qui conduisent à des tables de Jupiter dont l'erreur est inférieure à **18"**.

Cet article montre comment procède Laplace. Résolvant les équations du mouvement des planètes en appliquant la loi de la gravitation universelle, il obtient, par le calcul, un certain nombre d'inégalités à partir desquelles sont construites des tables. La comparaison des tables avec les observations va permettre la correction de ces inégalités et donc la construction de tables plus précises.

Laplace reprend et complète cet article dans la CDT suivante en publiant, p. 296-307, **SUR la Théorie de Jupiter et de Saturne**, article dans lequel :

- Il calcule « quelques petites inégalités nouvelles » et donne de nouvelles formules du mouvement de **Jupiter et Saturne** ;
- **Comparant** ces formules avec les observations des occultations rassemblées par Bouvard, il conclut « **ainsi les inégalités** nouvelles que nous avons introduites, et la précision que nous avons apportée dans le calcul des anciennes inégalités, ont considérablement amélioré ces tables ». Il ajoute « **On doit** aux progrès de la théorie de la pesanteur, à la perfection des observations modernes, et aux calculs immenses que MM. Delambre et Bouvard ont fait sur ces observations, l'extrême précision des nouvelles tables ».

Mouvement des satellites

Dans le communiqué à l'Académie publié dans la CDT pour 1789, cité plus haut, Méchain écrit que Laplace « ne balance donc point à présenter aux Astronomes, les **théorèmes suivans**. Le moyen mouvement du premier Satellite de Jupiter, plus deux fois celui du troisième, est exactement égal à trois fois celui du second Satellite. La longitude moyenne du premier Satellite, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, est constamment égale à 180 degrés ».

Laplace revient sur les satellites de Jupiter dans la CDT pour 1792, p. 273-286, avec l'article **Sur la théorie des**

Satellites de Jupiter. Après avoir constaté que « Les seules Tables des satellites de Jupiter offrent encore des équations empiriques qu'il est important de faire disparaître », il construit sa théorie en s'appuyant sur la loi de la gravitation universelle. Il procède ensuite par approximations successives en corrigeant certains termes de la théorie par des comparaisons de la théorie améliorée aux observations effectuées par Delambre. Il affirme « **Ce travail**, déjà fort avancé, doit nous conduire à des Tables des mouvemens des satellites de Jupiter, plus précises que les Tables actuelles, & qui auront sur elles le grand avantage d'être uniquement fondées sur la loi de la pesanteur ».

Dans la CDT pour 1803, Laplace, s'appuyant sur la théorie de la gravitation universelle, reprend et complète les travaux des Cassini et ceux de Lalande sur les satellites de Saturne et Uranus dans l'article « **SUR le mouvement des orbites des satellites de Saturne et Uranus**, p. 485-489.

Notons aussi un article sur l'anneau de Saturne dans la CDT pour 1811, p.450-453, **Sur l'anneau de Saturne** où Laplace étudie les « conditions nécessaires pour soutenir l'anneau de Saturne en équilibre autour de cette planète ». Commentant les apparences de l'anneau et se référant à la loi de la gravitation, il écrit « **Je ne crois pas** l'immobilité de l'anneau moins contraire à cette grande loi de la nature ».

Mouvement de la Lune

Dans la CDT pour 1802, p. 361-365, Laplace étudie les inégalités du mouvement de la Lune dans l'article **SUR quelques équations des tables lunaires**, écrivant « La loi de la pesanteur universelle donne quelques-unes de ces inégalités d'une manière si précise, qu'il vaut mieux, à leur égard, s'en rapporter à la théorie qu'aux observations ». Il applique cette loi au calcul de deux inégalités nouvelles.

Laplace donne, dans la CDT pour 1803, p. 504-506, une estimation des inégalités lunaires dues à la nutation de l'orbite lunaire dans l'article **Sur la théorie de la Lune**. Il note que Burg avait trouvé cette inégalité à partir de ses observations mais précise qu'il « n'a pas déterminé la loi de cette inégalité » et que « **la découverte** de cette loi est donc un nouveau bienfait de la théorie de la pesanteur universelle ».

5 Les comparaisons aux observations

Laplace insistait sur la nécessité d'effectuer des observations nouvelles précises et s'est lui-même intéressé aux observations anciennes et à la meilleure manière d'utiliser les observations. Plusieurs articles sur ce sujet sont publiés dans les additions à la CDT.

Dans la CDT pour 1802, Lalande publie, p. 475-479, un texte **SUR le mouvement de la Lune** dans lequel, après avoir rappelé les améliorations des tables de la Lune dues à Laplace, il insiste sur la nécessité d'obtenir de nouvelles observations, ce qui fait l'objet d'un prix de

l'Institut.

La CDT pour 1811, contient, p. 429-449, un mémoire de Laplace **MÉMOIRE sur la Diminution de l'obliquité de l'Écliptique, qui résulte des observations anciennes**, dans lequel il analyse des observations chinoises, grecques, arabes et perses.

Dans la CDT pour 1813, Laplace publie, p. 213-223, **Du milieu qu'il faut choisir entre les résultats d'un grand nombre d'observations**. Dans cet article il recherche la meilleure façon de combiner les équations de condition qu'on obtient à partir de l'ensemble des observations.

6 Les petites planètes et les comètes

Au début du XIXe siècle, on découvre de nouveaux corps, « les petites planètes » : Cérès est découverte par Piazzi en 1801, Pallas, par Olbers en 1802, Junon par Harding en 1804 et Vesta par Olbers en 1807. Ces découvertes vont entraîner un besoin de modélisation dynamique des orbites de ces corps et vont faire l'objet d'articles dans les additions à la CDT.

Lalande publie dans la CDT pour 1805 :

- **MEMOIRE sur la découverte de la planète Piazzi** (p.453-461, cf figure 1) ;
- **HISTOIRE de la Planète que M. Olbers a découverte en l'an 10 (1802)** (p.465-470). Dans ces articles, Lalande fait l'historique des découvertes de ces corps et donne leurs éléments calculés par Burckhardt, en tenant compte des perturbations par Jupiter (p. 458 et p. 468).

Dans son **histoire de l'astronomie pour 1804 et 1805 publiée dans la CDT pour 1808**, Delambre fait, p.417-427, l'historique de la découverte de Junon et donne, p. 427, ses éléments calculés par Gauss et Burckhardt puis ceux de Cérès et Pallas calculés par Gauss. Plus loin, p. 430-432, commentant les mesures des « **diamètres des nouvelles planètes** » effectuées par Herschel et Schroeter, il écrit « **nous avons** encore le chagrin de les voir peu d'accord » et « **n'ayant aucun** moyen de mesurer des quantités si petites » refuse de prendre parti !

Dans la CDT pour 1816, Daussy publie, p. 340-349, **Nouvelle détermination de l'orbite de la planète Vesta**. Il décrit parfaitement la problématique de la détermination des orbites. Répondant aux critiques faites aux astronomes, il justifie la méthode des approximations successives : « **Comment déterminera-t-on** les éléments elliptiques d'une planète, si l'on ne connaît pas les perturbations ; et comment calculera-t-on ces dernières, si l'orbite est inconnue ? Pour se tirer de cet embarras, on commence par chercher une ellipse osculatrice, en négligeant toutefois les attractions, laquelle sert à déterminer les perturbations d'une manière approchée. La connaissance de ces dernières permet d'obtenir les éléments de l'orbite avec beaucoup plus d'exactitude qu'au commencement ; et ces nouveaux éléments serviront de base à un calcul plus exact des perturbations. On voit qu'en continuant ces approximations successives, les correc-

tions iront toujours en diminuant, et qu'on parviendra enfin à la vérité ».

On trouve également dans les additions aux CDT du début du XIX^e des articles sur les comètes. Citons par exemple :

- 1816 : Dans un texte intitulé *Sur les comètes* (p. 213-220) Laplace aborde le problème de leur origine : « Parmi les hypothèses que l'on a proposées sur l'origine des Comètes, la plus vraisemblable me paraît être celle de M. Herschell, qui consiste à les regarder comme de petites nébuleuses formées par la condensation de la matière nébuleuse répandue avec tant de profusion dans l'univers ». Il évalue la probabilité que leurs orbites aient une forme particulière comme une parabole. Il pense que les modifications des orbites sont dues à l'attraction des planètes mais aussi à des forces non gravitationnelles dues « à la **résistance des milieux éthérés** » ;
- 1819 : Burckhardt publie, p. 226-228, une *Note sur la*

Méthode de déterminer les orbites des comètes de M. Ivory dans laquelle il compare la méthode d'Ivory à celle d'Olbers. On va retrouver fréquemment ce type de problème : déterminer au mieux l'orbite d'une comète à partir des observations qui ne sont pas nombreuses vue l'apparition soudaine de ces corps.

7 Conclusion

La CDT décrit parfaitement l'évolution de la description du mouvement des astres entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle. Cette description se fait d'abord par la cinématique puis par l'application de la loi de la gravitation universelle qui va ouvrir la voie aux grandes théories analytiques planétaires et lunaires dont nous parlerons dans le prochain épisode. Parallèlement, la découverte des premières petites planètes va entraîner des progrès dans le calcul des orbites des petits corps que nous verrons dans un prochain épisode.

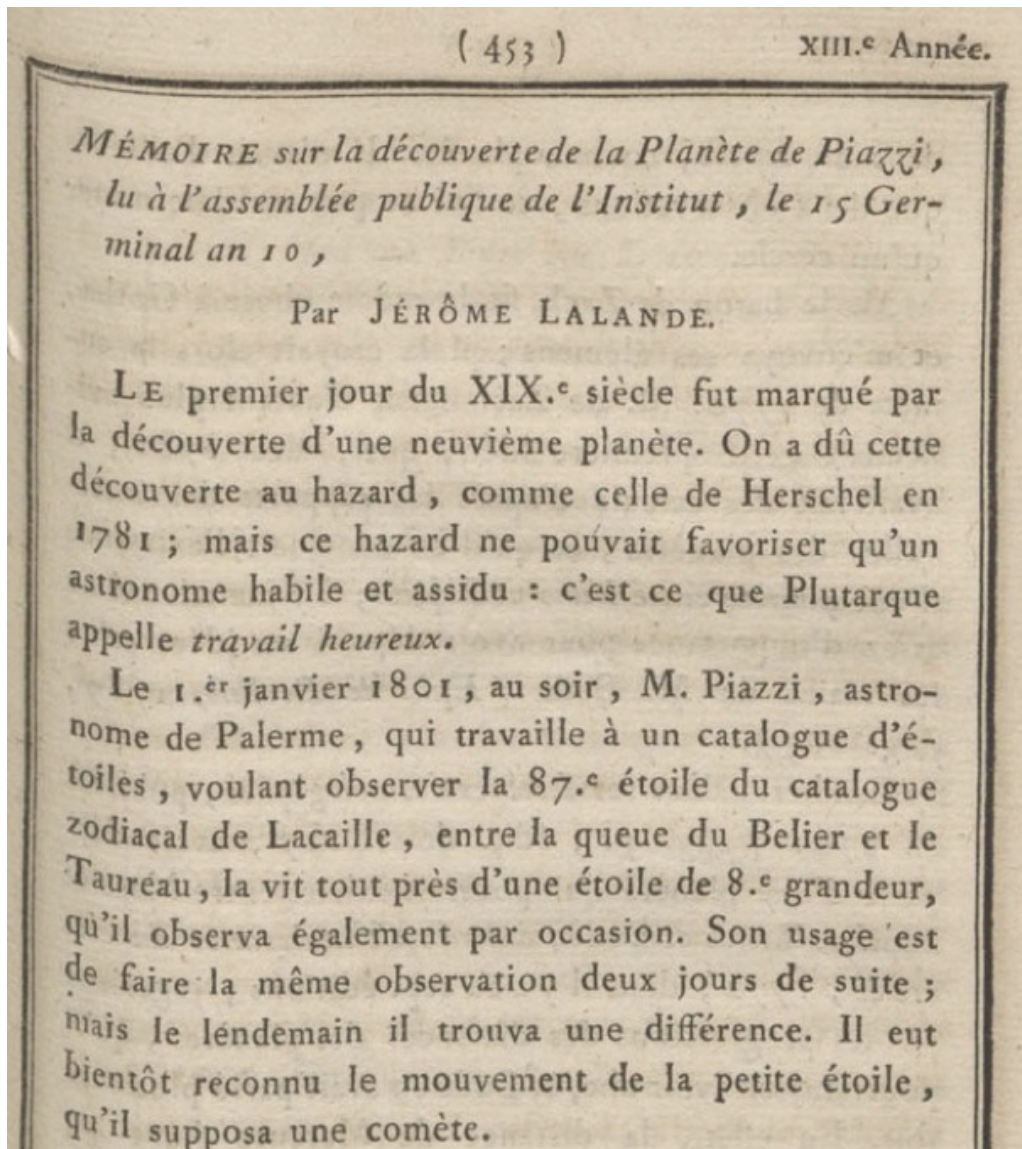


FIGURE 1 – Extrait de la CDT pour 1805 : la découverte de Piazzi, ce ne sera pas une comète.