À LA RECHERCHE DE LA PARALLAXE SOLAIRE (7/11)

Quand la Mécanique céleste s'en mêle

Le XIX^e siècle est le grand siècle de la *Mécanique céleste*. Il s'ouvre avec Laplace (1749-1827) (*Traité de Mécanique céleste* en 5 tomes, publiés de 1799 à 1825) et se clôt avec Henri Poincaré (1854-1912) - plus de 1000 pages contenues dans les trois tomes des *Méthodes nouvelles de la Mécanique céleste*, publiés en 1892, 1893 et 1899 -, ayant entre temps essaimé des pouces fertiles comme Hansen, Le Verrier, Delaunay, Tisserand, Newcomb, Hill, …

Comme l'écrit Poincaré dans son introduction :

> *« Le but final de la Mécanique céleste est de résoudre cette grande question de savoir si la loi de Newton explique à elle seule tous les phénomènes astronomiques ; le seul moyen d'y parvenir est de faire des observations aussi précises que possible et de les comparer ensuite aux résultats du calcul. »*

Les grands géomètres – ceux qu'on appellera par la suite les mathématiciens – vont donc travailler de conserve avec les grands astronomes - c'est-à-dire les observateurs du ciel – pour appliquer et valider la grande loi universelle de Newton, la loi de l'attraction gravitationnelle. Aux côtés du déterminisme mathématique imposé par cette loi, une astronomie nouvelle va se développer, « l'astronomie de l'invisible ». Le mouvement de chaque corps céleste trahit la présence d'autres corps, grands et petits, connus ou non, dont l'action à distance est dictée par la loi de Newton. Par conséquent, observer le mouvement d'un corps, le consigner dans des Tables, puis le comparer aux résultats produits par le calcul – c'est-à-dire la théorie de son mouvement – va irrésistiblement dévoiler les propriétés des autres corps qui l'entourent, leur masse et leur distance. La *Loi* va se confronter aux *Tables*. Si l'on se limite au système solaire, la loi de Newton va lier entre eux tous les objets qui le composent : le déplacement de l'un ne pourra se faire sans que tous les autres en soient informés. Ainsi, la connaissance du mouvement de la Terre va nous renseigner, par exemple, sur la distance du Soleil et donc sur la parallaxe solaire ! Mieux encore, le mouvement de la Lune, notre chère voisine, contient également en lui-même cette distance au Soleil. Pourquoi ceci ? Parce que la loi de Newton est une action à distance, plus exactement parce que deux corps célestes vont mutuellement s'attirer en raison inverse du carré de leur distance. Dans le mouvement des corps célestes se trouve donc incorporées toutes les distances mutuelles. Décortiquez ce mouvement et vous y trouverez enfouies les distances (mais aussi les masses de chaque corps).

Laplace, le père de la Mécanique céleste, l'a immédiatement compris en étudiant le mouvement de la Lune. Celui-ci est très complexe. La Lune subit de plein fouet les effets combinés du Soleil et de la Terre de sorte que son mouvement est truffé d' « inégalités », terme désignant tout ce qui s'écarte dans sa trajectoire du cercle parfait et monotone. Le mouvement de la Lune n'est pas un long fleuve tranquille, elle accélère, ralentit, s'éloigne, se rapproche, oscille … Parmi toutes ces inégalités, il s'en trouve une remarquable car ne dépendant périodiquement (mensuellement) que de l'âge de la Lune, c'est-à-dire de son écart par rapport à la nouvelle Lune : *l'inégalité parallactique* ; le terme « parallactique » lui est accolé car cette inégalité est directement corrélée à la parallaxe solaire ! En d'autres termes, si vous connaissez l'inégalité parallactique, alors la parallaxe solaire vous sera révélée.

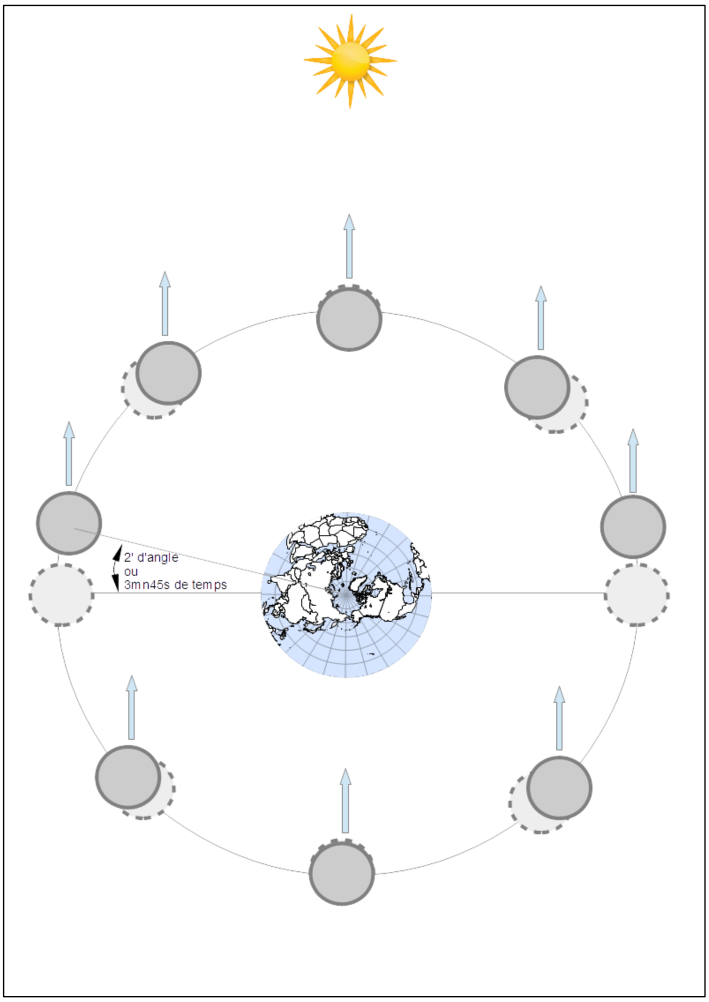

Fig.1 : Illustration (très) schématique de *l'inégalité parallactique*. Par souci de simplification, l'orbite lunaire est circulaire. En traits pointillés se trouvent représentées différentes positions de la Lune si son mouvement n'était pas perturbé par le Soleil. En traits pleins, l'effet de l'inégalité parallactique seule. Il est maximum aux quadratures : au premier quartier, la Lune arrive « en retard », et inversement au dernier quartier où elle est arrivée « en avance ». Les flèches montrent l'action du Soleil tendant à tirer sur la Lune.

Mathématiquement parlant, l'inégalité parallactique est l'un de ces termes mathématiques qui permettent de calculer la longitude orbitale de la Lune, c'est-à-dire sa position sur son orbite : c'est le produit du sinus de l'âge de la Lune *D* par un coefficient *c*, le *coefficient parallactique* : -c.sinD. Ce coefficient est égal environ à 14 fois la parallaxe solaire, soit un peu plus de 2' d'angle. L'effet sur la position de la Lune est donc maximum au voisinage des premiers et derniers quartiers (D = 90° et 270°). Le signe (–) exprime le fait que jusqu'à la pleine Lune (D = 180°), le Soleil, par son attraction, a tendance à freiner la Lune sur son orbite – sa longitude orbitale est donc diminuée -, puis à l'accélérer au-delà. C'est pourquoi, pour aider à se représenter cette inégalité, la Lune arrive en *retard* d'environ 3 mn 45s au premier quartier et *en avance* de la même quantité au dernier quartier (Fig.1). Ces retards et avances doivent bien entendu être compris par rapport à un mouvement idéal sans Soleil perturbateur.

Par conséquent, à elle seule, l'inégalité parallactique de la Lune pourrait être la clé du grand problème de la parallaxe. Elle est quatorze fois plus grande que la parallaxe, sa mesure par l'observation est donc grandement facilitée, et de plus une erreur de 0.1" sur le coefficient parallactique va résulter en une erreur de seulement 0.007" sur la parallaxe solaire (14 fois plus petite). Laplace va utiliser les excellentes Tables lunaires de Tobias Bürg publiées vers la fin du XVIIIe siècle, et trouver une valeur du coefficient parallactique de 122.378" pour en déduire une parallaxe solaire de 8.56", en parfait accord avec la valeur donnée par Encke à partir des passages de Vénus de 1761 et 1769 (voir LI# 102). En 1820, il révisera ces valeurs respectivement à 122.97" et 8.65", selon les nouvelles Tables lunaires de Burckhardt. Et Laplace de conclure placidement :

> *« Il est très remarquable qu'un Astronome, sans sortir de son observatoire, en comparant seulement ses observations à l'analyse, eût pu déterminer exactement la grandeur et l'aplatissement de la terre, et sa distance au soleil et à la lune, éléments dont la connaissance a été le fruit de longs et pénibles voyages dans les deux hémisphères. L'accord des résultats obtenus par ces deux méthodes, est une des preuves les plus frappantes de la gravitation universelle. »*

Les choses auraient pu en rester là, et elles le furent pendant une trentaine d'années. En effet, l'accord entre la théorie et l'observation (passages de Vénus) était idéalement parfait – comme le souligne Laplace -, trop parfait cependant pour être vraiment honnête. L'idéal de la méthode scientifique est donc respecté, et par là même la scientificité du résultat.

Pourtant, à partir de 1854, l'édifice des certitudes va peu à peu se fissurer sous les assauts indépendants de deux figures emblématiques de la Mécanique céleste, Peter Hansen (1795-1874), directeur de l'Observatoire ducal de Gotha, puis Urbain Le Verrier (1811-1877), directeur de l'Observatoire impérial de Paris.

Hansen établit en 1854 une nouvelle théorie du mouvement de la Lune dans laquelle, après avoir admis la parallaxe de Encke, il redétermine la valeur théorique du coefficient parallactique à 121.368". Par comparaison aux observations méridiennes effectuées à Greenwich et Dorpat (actuellement Tartu en Estonie), il détermine la valeur ajustée du coefficient parallactique à 125.705", soit près de 4" de plus que la valeur théorique ! Toutefois, Hansen ne semble pas y prêter une grande attention, il se contente de signaler que la parallaxe solaire est sans doute plus grande qu'on ne le croit sans pour autant en donner une nouvelle valeur. Ce ne sera qu'en 1863 qu'il reconsidérera la question à la suite de la publication des travaux de Le Verrier relatifs au mouvement des planètes intérieures (sur lesquels nous reviendrons par la suite). Il conclura une parallaxe solaire issue de l'inégalité parallactique à 8.9159". Pendant un demi-siècle encore, le coefficient parallactique sera l'objet de toutes les attentions tant on pensait que c'était le moyen le plus sûr et le plus précis d'accéder à la parallaxe solaire.

Cependant, il y a toujours un revers de la médaille : la méthode de l'inégalité parallactique suppose la théorie de la Lune exacte, et, en particulier qu'il n'existe pas d'inégalités non calculées et ayant une période à peu près égale à celle de l'inégalité parallactique ; elle nécessite aussi des observations de la Lune très précises. Ce sont des observations méridiennes pour la plupart où il s'agit de déterminer l'instant du passage du centre de la Lune par le méridien local. Dans la pratique cela consiste à observer le passage au méridien du bord éclairé de la Lune (le limbe) puis à y apporter une correction égale au demi-diamètre lunaire pour se ramener au centre de la Lune (Fig.2). Comme l'inégalité parallactique est maximale aux quadratures, il y avait toujours des effets systématiques d'anticipation, lors du premier quartier, ou de retard, lors du dernier quartier. Il y avait aussi des inégalités des limbes lunaires qui sont différents d'un quartier à l'autre. Ces effets ont tendance à diminuer la valeur du coefficient parallactique. Par ailleurs, le diamètre lunaire était généralement déterminé à la pleine Lune. Le problème est que les observations des quartiers se font avec le Soleil encore sur l'horizon ou dans la lumière crépusculaire, tandis que les observations à la pleine Lune se font vers minuit avec une forte irradiation provenant de la lumière de la Lune. Il en résultait une surestimation systématique du diamètre lunaire estimée à environ 1". Par conséquent, au fur et à mesure que la théorie de la Lune progressait (Hansen, Delaunay, Hill, Newcomb, Brown) et que les observations gagnaient en précision et en fiabilité (notamment avec l'introduction de l'enregistreur chronographique sur les cercles méridiens), le coefficient de l'inégalité parallactique tendait vers une valeur de plus en plus stabilisée et précise. En 1904, Ernest Brown le trouve égal à 124.92 ± 0.01", soit une parallaxe solaire de 8.790 ± 0.007". En 1988, dans la théorie ELP2000 de Chapront-Touzé et Chapront, le coefficient parallactique est de 124.98812", faisant une parallaxe solaire de 8.795".

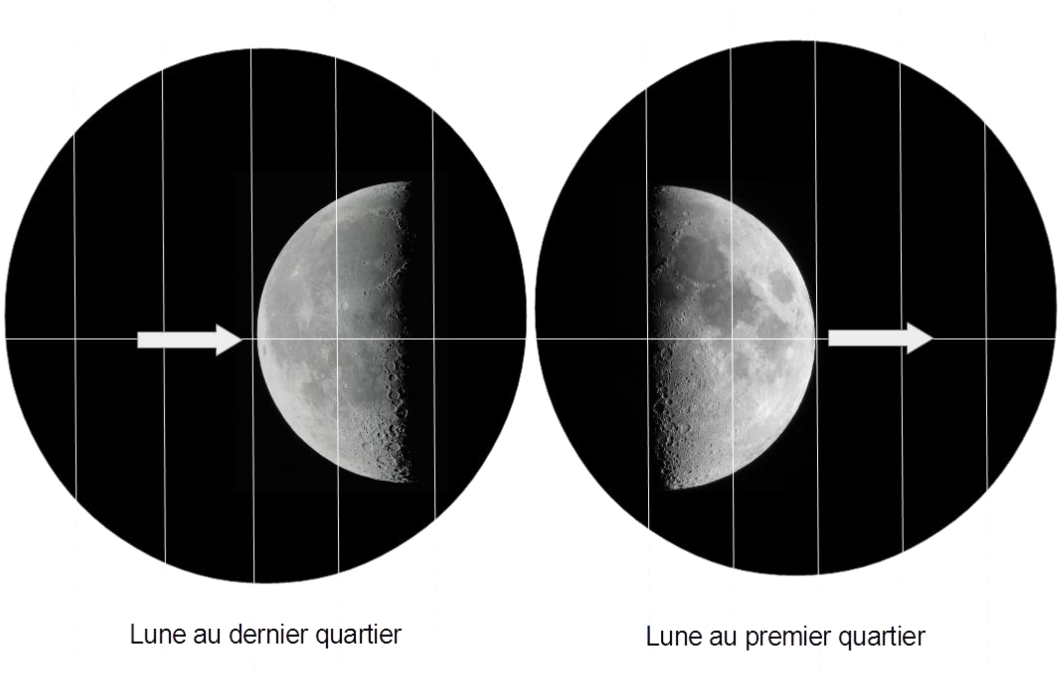

Fig.2 : Observation de la Lune à l'oculaire d'une lunette méridienne. La Lune va successivement passer par les différents fils du réticule se trouvant au foyer de la lunette selon la direction indiquée par la flèche. Au premier quartier, l'observateur va naturellement avoir tendance à légèrement anticiper le passage du limbe sur les fils, réduisant ainsi artificiellement le retard naturel de la Lune dû à l'inégalité parallactique (voir Fig.1). Inversement, au dernier quartier. Les irrégularités des limbes lunaires et l'éclat de la Lune compliquent encore davantage la mesure. De plus, il faut ensuite rapporter la mesure au centre de la Lune, il est donc nécessaire d'estimer par ailleurs le diamètre apparent de la Lune, mesure faite à la pleine Lune. En définitive, l'observation méridienne de la Lune tend à réduire systématiquement le coefficient parallactique. Ceci explique qu'à la fin du XVIII^{e}, à partir des Tables lunaires, le coefficient parallactique avait été estimé par Laplace à environ 123" alors que Hansen le redéterminera 50 ans plus tard à près de 125".

Le Verrier, quant à lui, va se frotter au problème de la parallaxe solaire autrement, de façon involontaire. Entre 1858 et 1861, il va déployer une intense activité à travers le développement des théories du mouvement des planètes intérieures. Il commence avec la Terre. À cause de la présence de la Lune, la Terre est soumise, elle aussi, à une inégalité en longitude qu'on appelle *équation lunaire*, qui atteint son maximum et son minimum dans le premier et le dernier quartier lunaire. Cette inégalité contient la parallaxe solaire. En comparant les Tables du Soleil à sa théorie, il détermine l'équation lunaire puis la parallaxe solaire qu'il donne égale à 8.95". L'année suivante, Le Verrier s'attaque au mouvement de Mercure qui va le plonger dans la plus grande perplexité. Il découvre que le périhélie de Mercure avance beaucoup trop rapidement. Pour rendre compte de cette avance, il lui faudrait augmenter la masse de la Terre de moitié ! Enfin, en 1861, il publie dans les *Annales de l'Observatoire impérial*, sa théorie du mouvement de Mars et de Vénus. À nouveau il découvre un *excès* du mouvement du périhélie de Mars et un excès dans le mouvement du nœud de Vénus. Cependant, cette fois-ci, ces excès de mouvement peuvent raisonnablement être absorbés par la théorie grâce à une augmentation de la masse de la Terre de 1/10^{e}. Or Le Verrier avait trouvé une relation reliant la masse de la Terre à la parallaxe solaire :

$$\pi = 608{,}79'' \sqrt[3]{M_T}$$

Par conséquent, une augmentation de la masse de la Terre de 1/10^{e} s'accompagne mécaniquement d'une augmentation de la parallaxe solaire d'1/30^{e}, portant la parallaxe du Soleil à 8.84". Mais, il ne peut, ou ne veut, s'y résoudre ; l'avance du périhélie de Mercure l'a profondément déconcerté. Il se souvient sans doute de sa découverte de la planète Neptune en 1846 à partir de l'étude des perturbations du mouvement d'Uranus. Il écrit :

> *« Une grave objection semble s'opposer à ce qu'on ajoute à la masse de la Terre : on ne pourrait l'accroître du dixième de sa valeur sans augmenter de un trentième la quantité admise pour la parallaxe solaire, et cette conséquence est contraire à toutes les idées reçues touchant à l'exactitude de ce dernier élément du système solaire. L'action d'un anneau de corpuscules, circulant autour du Soleil, paraît au contraire rendre compte des phénomènes observés, sans soulever de difficultés nouvelles. »*

Bien que l'augmentation de la masse de la Terre d'1/10^{e} aurait parfaitement satisfait aux excès constatés dans les mouvements de Vénus et de Mars ainsi qu'à l'équation lunaire du mouvement de la Terre, l'énigme du périhélie de Mercure l'empêche de franchir le pas. Sa grande foi dans le dogme tout puissant de la loi de Newton le pousse plutôt vers cette *astronomie des invisibles*. Il se persuade alors que la présence d'une planète ou d'un groupe de petites planètes à l'intérieur de l'orbite de Mercure suffirait à résoudre simultanément tous les excès constatés dans les théories des planètes intérieures. Néanmoins, ses résultats vont dans le même sens que ceux de Hansen, celui d'une augmentation de la parallaxe solaire vers une valeur proche de 8.9", relançant de fait la quête un temps interrompue. La Mécanique céleste règne toute puissante sur l'astronomie du XIX^{e} siècle.