

Cassini, Ptolémée et la critique du copernicanisme.

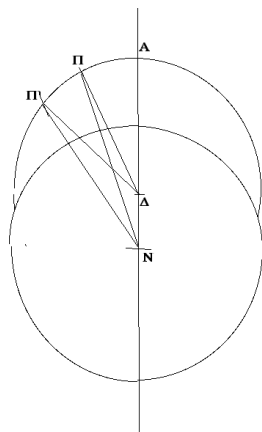
La commémoration bolonaise du trois cent cinquantième anniversaire de la méridienne de San Petronio et des observations grâce auxquelles Cassini crut démontrer la nature physique d'une partie de l'inégalité de la révolution annuelle du Soleil a été l'occasion, pour certains, de se livrer à la promotion d'une image politiquement correcte de l'Astronome, dont l'observation aurait revêtu, à leurs yeux, la signification d'une démonstration du système héliocentrique du monde, voire du copernicanisme¹. L'examen des sources autorise, au contraire, de rattacher cette observation fameuse à un champ de conditions de possibilité où elle prend, à l'inverse, la signification d'une confirmation consciente et délibérée de la doctrine ptoléméenne de la bissection de l'excentricité. D'une façon plus générale, elle s'inscrit dans le contexte d'une critique des présupposés circularistes de l'astronomie copernicienne, critique où se meuvent, à la même époque, des auteurs comme Riccioli, Grimaldi, Scheiner, ou, encore, Ismael Boulliau, qui nous apparaissent, au même titre que Ptolémée, comme les inspireurs de sa pensée scientifique.

Dans le vocabulaire astronomique de l'époque, *physique* s'oppose, le plus souvent, à *optique*. Soit l'exemple des *équations* dites *optique* et *physique*, dans le cas des planètes supérieures. Dans le système de Ptolémée, le mouvement des planètes supérieures est représenté à l'aide de trois cercles, le *cercle concentrique*, le *cercle excentrique* et le *cercle équant*². Les centres de ces cercles sont disposés sur une seule et même ligne droite, appelée *ligne des apsides*. Dans la composition (*syntaxis*) ptoléméenne des mouvements des planètes supérieures, il se trouve, en définitive, que le centre de la planète, ou, plus exactement, le centre de l'épicycle de la planète, parcourt, en des temps égaux, sur la circonférence du cercle

¹ Fabrizio Bonoli/Daniela Piliarvu, *I Lettori di Astronomia presso lo Studio di Bologna dal XII al XX secolo*, Bologna, 2001 : « Per decidere quale dei due sistemi fosse quello reale, erano necessarie misure più precise del moto apparente del Sole e dei pianeti e nella *Controversio prima astronomica*, del 1655, Cassini indico tre metodi per risolvere sperimentalmente la dibattuta questione della disuguaglianza del moto solare, se cioè la variazione di velocità osservata nel corso dell'anno fosse reale, secondo quanto previsto dalla seconda legge di Keplero, oppure apparente, dipendendo solo dalla variazione della distanza relativa tra la Terra e il Sole, come affermato dai sostenitori dei sistemi geostatici. Proprio per questo scopo, aveva suggerito la costruzione, all'interno della grande chiesa di San Petronio, di una meridiana che sostituisse quella tracciata da Egnazio Danti un secolo prima, destinata a venire distrutta per lavori di ampliamento della chiesa. ». Traduction : « Pour trancher la question de savoir lequel des deux systèmes correspondait à la réalité, il fallait des mesures plus précises du mouvement apparent du Soleil et des planètes et, dans la *Controversia prima astronomica*, de 1655, Cassini indiqua trois méthodes pour trancher la question discutée de l'inégalité du mouvement du Soleil, à savoir, si la variation qu'on observe dans sa vitesse, au cours d'une année, était réelle, comme prévoyait la seconde loi de Kepler, ou, au contraire, apparente, comme soutenaient les partisans des systèmes supposant la Terre en repos. A cette fin, précisément, il avait proposé d'installer, à l'intérieur de la grande église de San Petronio, une méridienne destinée à remplacer celle tracée par Egnazio Danti, un siècle auparavant, et qui était sur le point d'être détruite par des travaux d'agrandissement de l'église. ». M. Bonoli devrait savoir, et sait d'ailleurs parfaitement, que la nature physique de cette inégalité est « prévue », non seulement, par la seconde loi de Kepler, mais encore par la doctrine ptoléméenne de l'excentrique pourvu d'un point équant, et que cette question est parfaitement distincte de celle de l'héliocentrisme. Arguera-t-on que l'application au Soleil, donc, à la Terre, d'une doctrine, fût-elle ptoléméenne, intervenant dans une théorie des *planètes*, fait, de la Terre, une planète ? Non pas, car cela ne prouve pas que la Terre l'est, mais, seulement, que le Soleil l'est. Il paraît, du reste, curieux d'imaginer qu'en 1655, vingt-deux ans après la condamnation de Galilée, on pût procéder, dans les Etats pontificaux, et à l'intérieur d'un édifice religieux, à une démonstration publique de l'héliocentrisme.

² *Claudii Ptolemaei Opera quae extant omnia. Volumen I. Syntaxis mathematica. Edidit J.L. Heiberg. Pars II, Libros VII.-XIII. continens.* Leipzig, 1903, X, 7, p. 321-347 ; XI,, 1, p. 360-382.

excentrique, des arcs *inégaux*. Rapportés au centre du cercle concentrique, ces espaces parcourus par la planète, en des temps égaux, déterminent, sur la circonférence de ce cercle, d'autres arcs inégaux, qui représentent les *mouvements vrais* de la planète, c'est-à-dire, ses mouvements angulaires *rapportés au centre de la Terre*. En supposant, en contradiction avec l'hypothèse précédente, que la planète décrive, sur la circonférence du cercle excentrique, des arcs *égaux* en des temps égaux, l'inégalité de son mouvement serait purement *optique*, le mouvement de la planète sur la circonférence du cercle excentrique représentant, dès lors, son *mouvement moyen*.



Dans cette dernière hypothèse, la révolution de la planète, dans l'excentrique, serait, physiquement, un mouvement à la fois circulaire et uniforme, et l'inégalité de son mouvement vrai, le simple effet de la perspective particulière à l'observateur terrestre, qui rapporte les arcs parcourus, en des temps égaux, par la planète, sur la circonférence de l'excentrique, non au centre de ce dernier, qui, dans cette hypothèse, serait le centre du mouvement moyen de cette planète, mais à son lieu d'observation, puis, en corrigeant la parallaxe horizontale, au centre de la Terre, qui est le *centre de son mouvement vrai*³. En considérant alors les deux angles formés par la longitude de la planète en un instant donné, avec la ligne des apsides, l'un, au centre du cercle concentrique, ou centre du mouvement vrai, qui est aussi le centre de

la Terre, l'autre, au centre du cercle excentrique, qui, dans cette hypothèse, serait le centre du mouvement moyen, on dira qu'ils mesurent la quantité angulaire du mouvement accompli par la planète depuis l'apogée, l'un, par rapport au centre du mouvement vrai (*anomalie vraie* de la

³ « Primus est circulus veri Planetæ motus, cuius centrum centro terræ, aut in aliena hypothesi Solis centro congruit et ad mediam planetæ a terra, sive a Sole, distantiam describitur. Ad ipsum tamen reducti quicumque sint motus veri dicuntur, qui aestimantur huius circuli arcibus interceptis lineis a veri motus centro (sive illud Sol sit, sive terra) ad varia planetæ loca perductis. » (*Ptolemaïca Methodus apogæorum excentricitatum & Anomaliarum ad Geometricam normam emendata & promotâ*, attribuée à Cassini, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, ms B, 4, 2, p. 306 ; traduction : « Le premier cercle est le cercle du mouvement vrai de la Planète, dont le centre correspond au centre de la terre, ou, dans une autre hypothèse, au centre du Soleil. Quoi qu'il en soit, tous les mouvements, quels qu'ils soient, ramenés à ce cercle, sont dits mouvements vrais. Ils sont mesurés par les arcs qu'interceptent, sur ce cercle, les lignes tracées, depuis le centre du mouvement vrai (qu'il s'agisse, là, du Soleil ou de la terre) aux différents lieux de la planète. »). D'après le ms B, 4, 3, p. 401, la *Ptolemaïca Methodus* daterait de 1669. Cet inédit est un des documents du XVII^{ème} siècle qui pousse le plus loin l'interprétation des découvertes keplériennes dans un sens ptoleméen. Peut-être ce texte est-il identique à l'imprimé signalé, sous le titre *Almagestum promotum*, comme faisant partie d'un recueil imprimé à Rome ou, selon d'autres sources, à Bologne, en 1666, sous le titre *Opera astronomica*, par les bibliographies Weidler et Lalande (qui, semble-t-il, ont suivi une liste, connue par l'intermédiaire du *Giornale dei Letterati*, 1668, p. 71, de titres d'œuvres, sans doute en partie fictives, figurant pour la première fois dans *Gli Scrittori Liguri* de Michele Giustiniani, Rome, 1667, p. 360, col. 1). Du moins, un recueil de « Opera astronomica », pas plus qu'un *Almagestum promotum*, à notre connaissance, n'existe pas ; en tout cas, ils ne figurent pas au catalogue de la Biblioteca Nazionale Centrale de Rome. L'imprimé « Nouvelle Manière géométrique et directe de trouver les Apogées, les Excentricitez, & les Anomalies du mouvement des Planetes », *Journal des sçavans*, 1669, p. 32-35, repris dans les *Mémoires de l'Académie royale des sciences depuis 1666 jusqu'à 1699*, t. X, p. 488-491 (où il faut lire, p. 489, « une ligne elliptique qui passe entre la circonférence du concentrique et celle de l'équant, qui a leurs centres pour foyers » au lieu de « ...qui a leur centre pour foyer ») ne correspond que lointainement aux idées exprimées dans la *Ptolemaïca Methodus* et présente une allure pascalienne qui fait penser, comme rédacteur, à Philippe de La Hire. Nous n'avons pu consulter la « Nova ratio inveniendi metricè et directè apogæum, anomalias et excentricitates motus planetarum », imprimée (?), à Bologne, en 1669. Sur l'ensemble des problèmes posés par l'attribution et l'interprétation de ces textes, cf. Giustiniani (Michele), *Gli Scrittori liguri*, Rome, 1667, B. N., Z.8957, p. 360, col. 1 ; Fontenelle, « Eloge de Cassini », *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1712, p. 86 ; Cassini (Jacques), *Eléments d'Astronomie*, Paris, 1740, p. 132-138 ; Delambre (Jean-Baptiste), *Histoire de l'Astronomie moderne*, Paris, 1822, t. II, p. 739 sq.

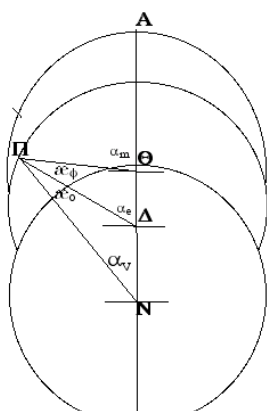
planète), l'autre, par rapport au centre du mouvement moyen (*anomalie moyenne*). L'*anomalie* est donc une quantité comptée dans le sens direct, d'occident en orient, avec pour origine l'apogée. L'anomalie vraie s'égale à l'anomalie moyenne par addition (si elle est inférieure à 180°) ou soustraction (si elle est supérieure) d'une quantité angulaire appelée *équation*, qui est l'angle formé, en un instant donné, par les deux droites reliant la position de la planète (ou, le cas échéant, du centre de son épicycle) sur la circonférence de l'excentrique, l'une, au centre du mouvement vrai, l'autre, au centre du mouvement moyen.

En revanche, si l'on considère, comme fera, en définitive, Ptolémée, que les arcs parcourus par la planète, en des temps égaux, sur la circonférence de l'excentrique, ne sont pas égaux entre eux, autrement dit, ne sont pas proportionnels aux temps mis à les parcourir, le mouvement de la planète ne sera pas, physiquement, un mouvement uniforme et, par conséquent, le centre du mouvement *moyen* de la planète sera distinct du centre du cercle, même excentrique, dont la planète parcourt la circonférence. Dans ces conditions, l'inégalité de la planète n'est pas un simple effet de perspective résultant de la position excentrée occupée par l'observateur terrestre, et son mouvement, qui lui fait décrire des arcs qui ne sont pas proportionnels aux temps mis à les parcourir, sera affecté d'une variation ou d'une inégalité réelles, ayant une signification *physique*, et non simplement *optique*.

Pour représenter géométriquement le mouvement moyen de la planète, il convient, dès lors, de recourir à un troisième cercle, de même rayon que le concentrique et l'excentrique précédents. Le mouvement de la planète est ainsi représenté au moyen de trois cercles : le *cercle concentrique*, ayant, pour centre, le centre du *mouvement vrai*, qui est aussi le centre de la Terre ; le *cercle excentrique*, qui est le cercle dont la circonférence est effectivement parcourue par la planète, mais dont des arcs égaux ne sont pas parcourus en des temps égaux ; le *cercle dit équiant*, ayant, pour centre, le centre du *mouvement moyen*, c'est-à-dire le point, appelé *point équiant*, à l'égard duquel le mouvement angulaire de la planète est constant, en ce sens que les arcs inégaux, parcourus par la planète sur la circonférence de l'excentrique en des temps égaux, interceptent des angles égaux entre eux à l'égard du point équiant.

Dans cette représentation géométrique du mouvement de la planète, l'anomalie moyenne de la planète n'est plus rapportée au centre du cercle excentrique, mais au point équiant. On est donc amené à distinguer, non pas deux, mais trois anomalies. L'*anomalie vraie* désigne, comme précédemment, l'angle formé par la longitude de la planète, avec la ligne des apsides, au centre de la Terre, ou centre du *mouvement vrai* ; l'*anomalie moyenne*, l'angle formé au centre du cercle équiant, qui est le cercle du *mouvement moyen* ; enfin, l'*anomalie mesurée dans le cercle excentrique*, désormais distincte de l'anomalie moyenne, est rapportée au centre de l'excentrique, *distinct du centre du mouvement moyen*.

La distinction de trois anomalies a pour conséquence le dédoublement de l'équation. Dans l'hypothèse où le cercle excentrique se confondait avec le cercle des mouvements moyens, l'équation désignait l'angle formé, en un point de la circonférence du cercle excentrique correspondant à la longitude de la planète, par deux droites reliant ce point, l'une, au centre du mouvement vrai, l'autre, au centre du mouvement moyen. Cette définition



demeure nominalement valable dans l'hypothèse de la bissection de l'excentricité, à ceci près que le centre du mouvement moyen correspond, dans cette hypothèse, au *point équiant*, et non au *centre de l'excentrique*. Il en résulte un dédoublement de l'équation en *équation optique*, qui désigne l'angle formé, au centre de la planète (ou, en prenant en

compte la seconde inégalité, au centre de son épicycle), par deux droites le reliant, l'une, au centre du mouvement vrai, l'autre, au centre du cercle excentrique, et équation physique, angle formé par deux droites reliant le centre de la planète, l'une, au centre du cercle excentrique, l'autre, au point équant, centre du mouvement moyen.

Il en résulte surtout que, dans l'hypothèse de la bissection de l'excentricité, l'«anomalie», c'est-à-dire le caractère non-uniforme du mouvement d'une planète, résulte de deux facteurs complètement distincts. Pour une part, elle renvoie toujours au fait que l'observation, même ramenée au centre de la Terre par correction de la parallaxe horizontale, n'est pas faite depuis le centre du cercle parcouru par la planète : à supposer que la Terre soit au centre du «monde», les centres du « monde », et des cercles des planètes, ne coïncident pas. Cette «excentricité» des cercles des planètes est cause que, même en supposant que la planète parcourt, en des temps égaux, des arcs égaux de la circonférence de son cercle, son mouvement, rapporté au centre de la Terre, n'est pas pour autant uniforme. Cette «difformité», comme disent les physiciens parisiens du quatorzième siècle, du mouvement de la planète n'est pas moins une simple *apparence optique*, un *effet de perspective*, lié à la position de l'observateur, et n'a aucune signification physique ou ontologique.

Toutefois, l'inégalité du mouvement d'une planète supérieure renvoie, pour une autre part, dans cette seconde hypothèse, dite de la *bissection de l'excentricité*, à tout autre chose qu'à un effet de perspective. Dire qu'une planète parcourt la circonférence d'un cercle, d'un mouvement qui n'est uniforme qu'à l'égard d'un point qui demeure distinct du centre du cercle parcouru, c'est rompre avec le présupposé naturaliste suivant lequel un mouvement céleste ne saurait être qu'uniforme et circulaire, présupposé qui ne peut évidemment s'entendre qu'au sens où le mouvement est uniforme dans le cercle effectivement parcouru, et c'est, à cet égard, de la part de Ptolémée, une remarquable anticipation du décentrement que, sur le double plan géométrique et mécanique, fera subir aux orbites planétaires la seconde loi de Kepler.

Il n'est pas, en effet, dirimant de soutenir la thèse paradoxale que la redécouverte de la bissection de l'excentricité par Tycho Brahé et la formulation de la loi des aires par Kepler opèrent, à certains égards, par-delà l'homocentrisme et l'uniformitarisme coperniciens, un retour à d'antiques inspirations ptoléméennes.

Par son souci de recourir uniquement à des mouvements circulaires et uniformes, Copernic apparaît bien, à cet égard, à la conscience scientifique de l'époque, comme étant en retrait par rapport à Ptolémée, dont le décentrement, opéré par le moyen du cercle équant, annonce, avec quatorze siècles d'avance, le décentrement keplérien fondé sur le recours à l'ellipse et à la loi des aires. Par-delà Copernic, qui leur apparaît comme une parenthèse homocentrique, comparable, historiquement, à la tentative d'un Alptrage, intermédiaire entre les deux moments de l'émergence d'une rationalité fondée sur l'idée d'un décentrement, l'astronomie contemporaine se présente, dans l'esprit d'un Boulliau, d'un Riccioli ou d'un Cassini, comme un retour à Ptolémée : « Tous les Astronomes plus récents, qui ont conservé le mouvement circulaire, ou composé de mouvements circulaires, à la tête desquels se trouve Copernic, ont unanimement déclaré qu'ils abandonnaient la conception ptoléméenne, estimant qu'il était absurde d'emprunter la régularité du mouvement périodique à un cercle qui n'était pas celui sur la circonférence duquel se faisait ce mouvement, alors qu'il s'accomplissait irrégulièrement dans le cercle qu'il décrit. Pour cette raison, chacun a exploré différentes conceptions particulières pour échapper à l'équant et conserver à la révolution de la planète dans son cercle son mouvement égal. Ainsi, Copernic a représenté le mouvement périodique comme composé d'un excentrique et d'un épicycle en mouvement égal, Tycho,

comme composé d'un Concentrique et de deux épicycles dont les révolutions s'accomplissent suivant une certaine loi. Longomontanus a adopté un mouvement qui combine les précédents; enfin, Lansberg s'en tint à la détermination de la variation de l'excentricité grâce à un petit cercle en variation suivant une règle. Quant à nous, dans nos *Théoriques*, nous avons imaginé une conception universelle, *fort semblable à celle de Ptolémée*, qui emprunte l'égalité du mouvement à un dernier équant et à laquelle nous démontrons que se ramènent les hypothèses, en apparence différentes, de Copernic, de Tycho, de Longomontanus et de Lansberg, et c'est elle que nous exposerons dans le présent écrit.»⁴. Cette position est encore défendue, en 1740, par le fils Cassini, dont les *Eléments d'Astronomie* paraphrasent le texte précédent en ces termes : « Les Astronomes qui, après Ptolémée, ont conservé le mouvement circulaire, ou composé de mouvements circulaires, ont tous abandonné sa méthode, jugeant qu'il étoit absurde de mesurer l'égalité des mouvements périodiques des Planetes dans un cercle sur la circonférence duquel elles ne se meuvent pas réellement ; c'est pourquoi ils ont employé des méthodes différentes pour placer les Planetes sur des cercles autour desquels elles eussent un mouvement égal. /Copernic représenta donc le mouvement périodique par un Excentrique & un Epicycle; Tycho par un Cercle concentrique et deux Epicycles, ce qui a été suivi par Longomontanus ; Lansberge aima mieux expliquer l'inégalité apparente du Soleil par un petit cercle sur lequel il faisait mouvoir le centre de l'excentrique. /Pour nous, sans entrer dans le détail de ces différentes méthodes que l'on peut consulter dans les Auteurs, & qu'il seroit inutile d'expliquer ici plus au long, parce qu'on les a entièrement abandonnées, nous examinerons ce qui résulte des hypothèses elliptiques, qui, depuis Kepler, ont été suivies de tous les Astronomes, comme les plus propres à représenter les mouvements apparents, non-seulement du Soleil, mais encore de toutes les autres Planetes. »⁵. Plus loin, on lit (par *Excentrique*, il convient d'entendre, ici, l'équant) : « Nous avons remarqué ci-devant que pour représenter le mouvement apparent des Planetes, Ptolémée avoit imaginé un Cercle placé à distance égale de l'Excentrique & du Concentrique, sur lequel il supposoit que les Planetes avoient un mouvement périodique inégal, qui répondoit à un mouvement égal par rapport à l'Excentrique. /Cette hypothèse, *quelque absurde qu'elle ait paru à des Astronomes modernes, représente exactement les apparences près de l'Apogée & du Périgée. Dans les autres situations, elle diffère peu de l'hypothèse elliptique simple, à laquelle on peut la faire accorder parfaitement*, en supposant que la Planete ne décrit pas un cercle exact, mais une ligne courbe telle que paroissant parcourir sur la circonférence de l'Excentrique des arcs égaux en temps égaux, elle se conserve toujours à distance égale de ce cercle & du concentrique. ».

C'est, en grande partie, en référence à la bissection ptoléméenne de l'excentricité que les idées de Kepler sur l'ellipticité des orbites et la proportionnalité des aires aux temps ont réussi à s'imposer à la conscience scientifique de la première moitié du dix-septième siècle⁶. La loi des

⁴ *Ptolemaïca Methodus*, p. 313-315.

⁵ *Eléments d'Astronomie*, p. 133.

⁶ Le souci, constant parmi les auteurs du milieu du dix-septième siècle, de ramener, à tout prix, l'ellipse keplérienne à l'équant ptoléméen, témoigne d'une double réserve à l'égard de l'astronomie keplérienne. D'une part, on reproche assez généralement à Kepler, conformément au sous-titre de l'*Astronomia nova*, qui fait état d'une *Physica coelestis αἰτιολογητος*, de raisonner plus en physicien qu'en géomètre ; d'autre part et surtout, l'astronomie de Kepler ne permet pas, dans le cadre, précisément, d'une astronomie encore purement géométrique et en l'absence d'une dynamique (voir, à ce sujet, les réflexions de Koyré, à propos de Kepler et de Borelli, dans la *Révolution astronomique*), de déterminer, avec toute la précision souhaitable, les équations des planètes, parce qu'il faudrait calculer l'aire d'un secteur elliptique, donc, opérer la quadrature de l'ellipse, ce qui, surtout en l'absence du calcul infinitésimal, ne peut se faire que par approximation, situation qui nous vaut, au demeurant, quelques belles, mais tardives, tentatives *géométriques* en ce sens, dues, en particulier, à Philippe de La Hire (« Remarques sur

aires demeure généralement comprise, à cette époque, au moyen du recours à un ou plusieurs équants⁷. Le concept keplérien d'une «orbite» elliptique est souvent interprété, par référence à l'excentrique ptoléméen, comme une figure rapportée à un cercle concentrique et à un cercle équant, centrés, l'un, sur le foyer «inférieur», l'autre, sur le foyer «supérieur» de l'ellipse⁸. La

le mouvement des Planetes, & principalement sur celui de la Lune. » (18 juin 1710), *Mémoires de l'Académie royale des sciences pour l'année 1710*, B. N., R.3798, p. 292-304) et à Jacques Cassini (« Méthode de déterminer la première Equation des Planetes suivant l'hypothèse de Kepler. » (12 juillet 1719), *Mémoires de l'Académie royale des sciences pour l'année 1719*, p. 147-155 ; on y lit, p. 148, « Comme il s'agit de calculer l'aire d'un secteur terminé par un arc d'Ellipse, la résolution géométrique de ce Probleme suppose la quadrature de l'Ellipse ou du cercle qui n'est point connuë. ») ; en sens contraire, analytique, voir le célèbre *Traité analytique des sections coniques*, posthume, du marquis de L'Hospital, qui fut publié seulement en 1720. En attendant ces succès tardifs, des auteurs comme Boulliau et Seth Ward s'ingénieront à déterminer les équations des planètes en supposant que leur mouvement est moyen à l'égard du foyer «supérieur», inoccupé, assimilé à un point équant, de l'ellipse keplérienne. De ces tentatives témoignent l'*Astronomia Philolaïca* (1645), de Boulliau, et l'ouvrage, au titre significatif, de Seth Ward, *Astronomia geometrica, ubi Methodus proponitur, qua Primariorum Planetarum Astronomia, sive Elliptica, sive Circularis, possit Geometricè absolvi*, Londres, 1656 (V.20.951), dont la « méthode » pour déterminer l'orbite d'une planète à partir de cinq observations (*Methodus geometrica inveniendi Axem transversum & Axem coniugatum Ellipseos, id est Aphelium & Perihelium, ex quinque punctis in sectionis periphèria datis, vel ex 5. observationibus*, op. cit., I, 2, 10, p. 42-51), qui s'appuie sur Pappus, VIII, 13-14, annonce la *Methodus* de Cassini, à laquelle sa lettre à Gassendi, du 21 octobre 1653, où il se fait fort de déterminer l'orbite à partir de trois observations seulement, ce qui, une fois de plus, fait penser aux *Livres X et XI de l'Almageste*, prouve qu'il songeait dès cette date (Gassendi, *Opera*, t. VI, Lyon, 1658, p. 527). Il n'est pas sans intérêt de noter que Cassini vivait dans la même ville que Riccioli, qui, dans l'*Astronomia reformata* (Bologne, 1665), étudie longuement les travaux de Boulliau et de Seth Ward (op. cit., I, 9 ; p. 29-30).

⁷ Cas particulièrement significatif et troublant, celui d'Ismael Boulliau, avec l'erreur caractéristique suivant laquelle, selon Kepler, le mouvement de la planète serait moyen à l'égard du foyer supérieur de l'ellipse, assimilé à un point équant. L'ellipse keplérienne est, aux yeux de Boulliau, la section du cône formé par une infinité de cercles équants de rayon croissant, dont les centres forment l'axe du cône passant par le foyer supérieur de l'ellipse, si bien qu'en tout instant le mouvement est uniforme à l'égard de ce dernier : « Circuli illi infiniti, quos aequantes appellamus, tam concinne in cono ordinati sunt ad efficiendum simul motum aequalem & inaequalem, accelerationem & moram, quae in Planetis cernitur, ut in admirationem intuentium animos rapiat fabrica tam eximia. » (Boulliau, *Astronomia Philolaïca*, Paris, 1645, p. 5 ; traduction : « Le nombre infini de tels cercles, que nous appelons équants, a été si habilement disposé, dans un cône, pour produire, d'un seul coup, ce mouvement égal et inégal, d'accélération et de retard, que l'on repère dans les Planètes, qu'un ouvrage si singulier ravit d'admiration l'âme de celui qui le contemple »).

⁸ « Kepleri autem via Planetaria, cuius centrum bisecat excentricitatem totam aequantis Ptolemaïci, inter concentricum et aequantem Ptolemaïcum procul dubio continetur. Immo vero elliptica cum sit, per communes utriusque circuli intersectiones transire facile demonstratur. Licet vero Keplerus aequantem refugiat, ex eo quod velocitatis tarditatisque leges malit desumere a variatione distantiae a Sole, quam ab aequantis ratione, tamen discrimen Keplerianae methodi a Ptolemaïca perexiguum demonstrabitur esse in eo sensu, in quo Planeta velocitatem tarditatemque accipit, et praeterea in eo sensu accelerationem et retardationem accipi posse demonstrabimus, quae et procedat secundum rationem variationum distantiae a Sole simulque leges accipiat ab aequante. » (*Ptolemaïca Methodus*, p. 316-317 ; traduction : « Or, chez Kepler, la trajectoire des Planètes, dont le centre coupe en deux l'excentricité totale de l'équant ptoléméen, est, sans aucun doute, renfermée entre le concentrique et l'équant ptoléméens. Bien plus, puisqu'elle est une ellipse, il est facile de démontrer qu'elle passe par les intersections communes de ces deux cercles. Et bien que Kepler refuse l'équant, pour cette raison qu'il aime mieux emprunter les lois de leur vitesse ou de leur lenteur, de la variation de leur distance au Soleil, plutôt que de leur progression dans l'équant, on n'en démontrera pas moins que l'écart entre la méthode de Kepler, et celle de Ptolémée, est extrêmement faible en ce sens que la Planète admet des accélérations et des retards et nous démontrerons, en outre, qu'en ce sens elle peut admettre des accélérations et des retards tels qu'ils évoluent, à la fois, selon la progression de la variation de sa distance au Soleil, tout en empruntant, simultanément, leurs lois de l'équant. »). Cette dernière remarque n'a évidemment guère de sens si l'on n'admet que c'est bien autour du Soleil, et non de la Terre, que tournent ces planètes, même si, sans doute, si les planètes supérieures tournent autour du Soleil, elles tournent aussi autour de la Terre. L'astronomie jésuite est spécieuse. - Ce passage du manuscrit, dont l'expression, même sous la forme définitive, demeure embarrassée (ce dont témoignent des tournures comme *in eo sensu in quo, et praeterea in eo sensu*), présente de nombreuses ratures ; d'autre part, la main, qui demeure la même d'un bout à

confusion qui s'opère ici est celle d'un centre du mouvement moyen, donc d'un point équant, avec le foyer « supérieur » de l'ellipse keplérienne. Contrairement à la loi des aires, qui énonce que sont proportionnels aux temps, non les arcs parcourus sur la circonférence d'un cercle ou d'une ellipse, ni, par conséquent, les angles formés à l'égard du centre de telles figures, mais les secteurs, circulaires ou elliptiques, balayés par le rayon vecteur, l'opinion prévaut, parmi les auteurs de la première moitié du dix-septième siècle, que le mouvement d'une planète est uniforme à l'égard de l'un des foyers de l'ellipse.

Il y a, là, à la fois, une liberté prise à l'égard de la lettre des textes keplériens, qui témoigne de la multiplicité des solutions envisagées par les auteurs au problème des théories planétaires, dans un contexte historique où la solution keplérienne n'apparaît pas nécessairement comme devant s'imposer d'une façon définitive⁹, et l'effet d'une conscience aiguë du point le plus important qui résulte des recherches de Kepler entre 1598 et 1604, savoir, l'idée que le postulat de l'uniformité du mouvement d'une planète, s'il peut inspirer des compositions mathématiques telles que l'excentrique avec épicycle, adopté par Copernic dans le *De Revolutionibus*, ou le concentrique à deux épicycles, admis par le *Commentariolus* et adopté, dans le cas de la Lune, par Tycho dans les *Progymnasmata*, susceptibles de représenter les observations avec une certaine précision, ne saurait recevoir une signification physique, ni, rendre compte de la trajectoire (*iter*) réellement suivie par la planète. Or, dans cette découverte, qui est, en somme, celle d'une inégalité, à proprement parler, physique du mouvement de la planète, les discussions autour des valeurs, tantôt, constantes, tantôt, variables des excentricités des orbes planétaires semblent avoir eu une importance considérable¹⁰. La question se

l'autre du manuscrit, n'est certainement pas celle de l'auteur (comme prouvent des leçons aberrantes et une ponctuation qui, même pour l'usage contemporain, est parfois à contresens), mais celle d'un copiste ; cependant, des gallicismes récurrents prouvent que ce dernier a reformulé, en plus d'un endroit, la pensée de l'auteur, tandis que les ratures et les reprises, particulièrement nombreuses, et souvent heureuses, dans le passage que nous venons de citer, laissent penser qu'il a travaillé, sans doute, sous sa dictée. On sait que, ne maîtrisant pas le français, Cassini n'a plus guère publié, à partir de 1669, que des colonnes de chiffres, et que tous ses textes rédigés l'ont été par ses collègues de l'Académie, comme il le fait lui-même observer, dans sa *Vie*, à propos du *Discours sur l'Origine et les Progrès de l'Astronomie*, qui daterait de 1687 et fut publié en 1693 (*Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa Majesté pour perfectionner l'astronomie et le géographie, avec divers Traitez astronomiques*, V.1469.). Nous formulerions volontiers l'hypothèse que le copiste de la *Ptolemaïca Methodus* fût l'abbé Jean-Baptiste du Hamel, historiographe officiel de l'Académie.

⁹ Du Boulliau de l'*Astronomia Philolaïca*, au Cassini de la *Ptolemaïca Methodus*, en passant par le Seth Ward de l'*Astronomia Geometrica*, tout le monde semble avoir joué au Kepler ; cf., à cet égard, les surprenantes déclarations de Cassini dans la lettre que reproduit, p. 527, le tome VI des *Opera* de Gassendi. Toutefois, ces déclarations ne sont surprenantes qu'à une lecture anhistorique : rien ne démontre mieux l'idée qu'à la date de la rédaction de cette lettre, en 1653, « les jeux n'étaient pas faits ».

¹⁰ On sait que la variation des excentricités des orbes planétaires est au centre de la discussion de Tycho avec Magini au début des années 1590. Une lettre de Tycho à Kepler du premier décembre (et non, comme indique Dreyer, du premier avril) 1598 remet en cause le rapport de un à quatre entre les rayons des deux épicycles destinés à représenter l'excentricité dans l'hypothèse du concentrique à deux épicycles : « Id autem scire te velim, Eccentricitates ipsas utriusque illius, ut sic nunc loquar, Eccentrici, quas Copernicus paulo aliter excusavit, non habere eas ad invicem proportionales, ut una sit alterius tertia pars, veluti ex Ptolemaeo deduxit. Neuter vero eorum demonstratum reliquit. Sed haec aliam inter se habent rationem et in singulis variant. » (Tycho Brahe à Kepler, premier décembre 1598, *Epistulae astronomicae*, ed. Dreyer, tome VIII, 1925, p. 44. Traduction: « Et j'aimerais que tu saches ceci, que les excentricités mêmes de chacun de ces deux Excentriques, pour m'exprimer maintenant ainsi, excentricités dont Copernic a rendu compte un peu autrement, ne présentent pas entre elles des proportions telles, que l'une est le tiers de l'autre, comme il l'a conclu de Ptolémée. Mais ni l'un, ni l'autre, n'en ont laissé la démonstration. Elles présentent, au contraire, entre elles, un autre rapport et présentent des variations chacune pour son compte. »). Les « deux excentriques » (*utriusque illius Eccentrici*) sont l'excentrique (au sens courant) et l'équant. Le membre de phrase *Eccentricitates, quas Copernicus paulo aliter excusavit* renvoie à l'hypothèse équivalente du concentrique pourvu de deux épicycles, dont les rayons sont dans le rapport de un à trois.

complique encore du fait que cette variation affecte, non seulement l'excentricité de l'orbe planétaire (qu'elle soit représentée par le moyen d'un excentrique à épicycle unique, ou d'un concentrique à deux épicycles, la somme des rayons des deux épicycles étant, dans ce dernier cas, égale à la somme de l'excentricité de l'excentrique et du rayon de l'épicycle dans la première hypothèse, somme, par conséquent, égale, dans les deux cas, à l'*eccentricitas tota*), mais encore celle de l'*orbis annuus*, dont la valeur intervient dans la seconde inégalité¹¹. Le soupçon apparaît que la solution de ces difficultés est à rechercher dans la direction d'un retour à l'équant ptoléméen. Comme montre la note posthume ajoutée par Kepler aux *Progymnasmata*¹², il semble que, dans ses dernières années, Tycho soit revenu à l'idée que le mouvement d'une planète est moyen, non, à l'égard du centre de son excentrique, mais bien à l'égard d'un point équant.

De l'hypothèse de Ptolémée, à l'hypothèse ultime de Tycho, subsiste, toutefois, une différence radicale, dont la doctrine de Kepler consistera à exploiter toutes les ressources. L'excentrique de Ptolémée, simple fiction mathématique, demeurerait, de ce fait, conçu comme un cercle parfait. L'«excentrique» dont la rédaction de l'*Astronomia nova* constitue le procès de production s'oppose, au contraire, à l'excentrique ptoléméen en ce qu'il prétend restituer la trajectoire réellement tracée par la planète, tout en ayant une vive conscience que cet *iter* est bien autre chose qu'un cercle. Le point de départ de la production du concept keplérien d'«excentrique» est représenté par la figure tracée par un mobile parcourant le second épicycle dans l'hypothèse copernicienne, adoptée, à la fin de sa vie, par Tycho, d'un concentrique pourvu de deux épicycles, figure dont Kepler démontre qu'elle n'est pas un cercle¹³. Dans ces

¹¹ « Quin et orbis annuus iuxta Copernicum aut Epicyclus secundum Ptolemaeum non videtur eiusdem semper magnitudinis, quoad ipsum Eccentricum collatione facta ; sed alterationem introducit in omnibus tribus superioribus sensibilem, adeo ut angulus differentiae in Gradum unum Minuta 45. excrescat. Quomodo haec cum tua speculatione concilianda sint, tute videbis. » (Tycho Brahé à Kepler, premier décembre 1598, *op. cit.*, p. 45; traduction : « Bien plus, l'orbe annuel, selon Copernic, ou l'Épicycle, selon Ptolémée, ne se présentent pas non plus toujours, à leur tour, avec la même grandeur, comparaison faite avec l'Excentrique correspondant ; ils introduisent, au contraire, dans toutes les planètes supérieures, une altération sensible, à tel point que l'angle de cette différence s'élève, dans le cas de Mars, à un Degré, 45 Minutes. Comment faire s'accorder ces données avec ta spéculation, tu verras toujours. »). Rappelons que, dans le système de Ptolémée, l'épicycle assume, dans le cas des trois planètes supérieures, la fonction de l'*orbis annuus*, ou de la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil, dans celui de Copernic, savoir, de rendre compte de la «seconde inégalité». La *speculatio* désigne le *Mysterium Cosmographicum*, de 1596 ; dans le membre de phrase « quoad ipsum Eccentricum », cet *Eccentricus* est l'excentrique ptoléméen.

¹² Tycho Braheus. *Astronomiæ instauratæ Progymnasmata*, p. 821. Cf. la lettre de Kepler à Herwart von Hohenburg, de juillet 1600, citée par Dreyer : « Et hoc est quod Tycho quasi sub aenigmati involucri (ut interdum solet) ad me perscripserat de variabili quantitate orbis annui. » ; traduction : « Et c'est, là, ce qu'avait couché pour moi par écrit Tycho, sous les espèces, presque, d'une énigme (comme il aime à faire, parfois), relativement à la quantité non constante de l'*orbis annuus* ».

¹³ Cette démonstration se trouve à la page 75 de l'édition Caspar de l'*Astronomia nova*. Kepler fait observer, à cet égard, que, si Copernic l'emporte sur Ptolémée pour ce qui est de l'uniformité des mouvements célestes (puisque les modèles développés dans le *Commentariolus* et dans le *De Revolutionibus* visent à représenter les observations par le moyen d'une composition de cercles parcourus d'un mouvement uniforme), Ptolémée l'emporte sur Copernic sous le rapport de la régularité des figures tracées par les mobiles (puisque les mêmes modèles font parcourir à ces derniers des figures qui ne sont pas des cercles parfaits) : « Praeterea dum Copernicus Ptolemaeum aequabilitate motuum superare nititur, ab eo vicissim perfectione itineris Planetarii superatur. Ptolemaeo enim Planeta perfectum circulum corpore suo per auram aethariam designat. Copernicus vero lib. V. cap. IV. fatetur, sibi viam Planetae non esse circularem, sed excurrere ad latera. » (*ibid.* ; traduction : « En outre, pendant que Copernic s'efforce de l'emporter sur Ptolémée quant à l'égalité des mouvements, inversement, ce dernier l'emporte sur lui quant à la perfection de la route tracée par la Planète. Aux yeux de Ptolémée, en effet, une Planète décrit, avec son corps même, un cercle parfait à travers l'espace éthéré. Mais Copernic déclare, au Livre V, Chapitre IV, qu'à ses yeux, la trajectoire d'une Planète n'est pas circulaire, et qu'elle déborde, au contraire, le cercle latéralement. »).

conditions, l'«objet» de l'*Astronomia nova* est autre que l'objet de Copernic. Chez ce dernier, l'élaboration théorique portait, comme chez Ptolémée, sur la «composition» (*syntaxis*), celle-ci ne produisant la trajectoire réelle, physique, du mobile que sur le mode d'un accident. On ne s'explique pas autrement l'allure *tortuosa*¹⁴ reconnue à celle-ci par un Copernic qu'on sait attaché à la régularité des figures, non moins qu'à l'uniformité des mouvements. L'investigation de Kepler porte, au contraire, sur ce *tortuosum* qui affecte, chez Copernic, l'allure d'un accident¹⁵.

Il en résulte qu'en dépit d'une similitude de vocable, l'«excentrique» keplérien, c'est-à-dire, tout simplement, le concept moderne d'orbite planétaire¹⁶, est d'une nature différente de celle de l'excentrique de Ptolémée. La définition par laquelle l'*Astronomia nova* définit *Eccentrici vox quid significet in posterum* a, précisément, pour propos de démarquer cette signification de toute connotation, qu'elle soit ptoléméenne ou copernicienne. Le défaut de l'excentrique, ptoléméen ou copernicien, est, aux yeux de Kepler, que, loin de correspondre à l'*iter* réellement tracé (« *quod designat* »¹⁷) par le mobile, il ne constitue que l'une des conditions mathématiques de possibilité de son concept. Or, pour Kepler, ce concept n'a pas à être distingué de ses conditions matérielles et physiques : le concept exprime moins les conditions mathématiques de possibilité de ce qu'il permet de penser, que les conditions réelles qui le produisent dans la Nature. L'investigation doit donc porter sur les conditions réelles de son objet, non sur ses conditions de possibilité. L'objet théorique que la recherche a pour tâche de

Cette situation tient, évidemment, à ce que l'épicycle, chez Copernic, sert à représenter la *première* inégalité, et non, comme chez Ptolémée, la seconde. La « *difformitas* » keplérienne combinera, au mouvement variable de Ptolémée, la figure irrégulière de Copernic : « *Hanc exorbitationem itineris Planetarii a perfectione circuli Ptolemaeus Copernico iure obiecerit : ego non obiicio. Nam infra demonstrabitur Parte quarta, Physicis duabus virtutibus potestate simplicibus ad movendum Planetam concurrentibus necessario effici, ut Planeta a circulo parumper deflectat, non excurrendo quidem, ut in hac hypothesi Copernicana, sed contrariam in plagam ad centrum scilicet ingrediendo.* » (*ibid.* ; traduction : « Cet écart instauré par la trajectoire de la Planète à l'égard du cercle parfait, Ptolémée peut avoir ses raisons d'en faire reproche à Copernic : moi, je n'en ai pas. Nous démontrerons, en effet, plus bas, dans la *Quatrième Partie*, que, si deux forces physiques d'une intensité simple concourent pour mouvoir une Planète, il en résulte nécessairement, que la Planète s'écarte quelque peu d'un cercle, non, toutefois, en débordant, comme dans l'hypothèse de Copernic, mais, précisément, vers l'intérieur, dans le sens contraire, en direction du centre. »).

¹⁴ « *Quodsi insuper Copernicus etiam illam suam libertatem constituendi proportionales epicyclorum retineat, fieri potest, ut tortuosa Planetæ via evadat, altior ante et post apogæum quam in ipso apogæo, depressior ante et post perigæum quam in ipso perigæo.* » (*ibid.* Traduction : « Si, en outre, Copernic restait toujours fidèle à cette liberté avec laquelle il détermine les rapports des épicycles, il pourrait arriver que la route de la Planète finisse par devenir sinueuse, étant plus élevée avant et après l'apogée, que dans l'apogée lui-même, et plus basse avant et après le périhélie que dans le périhélie lui-même. »). Les expressions *altior ante et post apogæum quam in ipso apogæo* et *depressior ante et post perigæum quam in ipso perigæo* se réfèrent à la figure de la page 74 de l'édition Caspar de l'*Astronomia Nova*, qui reproduit le modèle « copernicien » d'un concentrique pourvu de deux épicycles. En attribuant, au concentrique, une révolution dans le sens direct, à l'*epicyclus maior*, une révolution de sens rétrograde, avec la même période que celle du concentrique, et à l'*epicyclus minor*, une révolution directe, avec une période double de la précédente (*secundus epicyclus, cuius motus sit in consequentia, duplus ad motum primi ; et motus primi epicycli in antecedentia æqualis sit motui eccentrici*), on trouve, en effet, que la planète sera plus éloignée du centre du concentrique, avant et après l'apogée, que dans l'apogée lui-même, et plus proche, avant et après le périhélie, que dans le périhélie lui-même.

¹⁵ Renvoyons, une fois pour toutes, à l'abondante littérature qui, depuis Koyré, a développé ce point.

¹⁶ Concept dont nous ferons remarquer que nous avons, autant que possible, évité de le faire figurer dans l'examen de nos sources, tant nous avons l'impression qu'à la date de leur rédaction, les jeux sont loin d'être faits à son sujet, au point que son usage inconsidéré aurait inmanquablement revêtu l'allure d'une pétition de principe et eu pour effet d'oblitérer et de rendre méconnaissable ce qui constitue précisément l'enjeu de notre travail : de savoir à quelles dates la perception du mouvement et du repos cesse d'être pré-classique.

¹⁷ « *Planeta perfectum circum corpus suo per auram aetheriam designat.* » (*Astronomia Nova*, p. 75.).

produire est donc le concept de l'*iter* «en personne», pensé dans ses conditions réelles, et non dans ses simples conditions de possibilité. Le physicalisme qui hante l'*Astronomia Nova* trouve sa raison d'être dans cette exigence¹⁸.

Pourtant, la production d'un nouvel objet théorique s'accompagne, pour les mêmes raisons, d'un retour à Ptolémée. Kepler, s'il fait observer que, seules, ces précautions (« *quo pacto tantummodo* ») peuvent autoriser désormais le recours à un excentrique « ptoleméen », indique deux raisons de le préférer au modèle copernicien de l'excentrique pourvu d'un épicycle simple, entendons, de préférer un excentrique avec équant, à un excentrique où l'inégalité que Ptolémée représente par le moyen d'un équant est représentée par le moyen d'un épicycle. D'une part, le calcul de la première inégalité en sera facilité ; d'autre part, cette façon de représenter les mouvements planétaires est plus conforme à la réalité (« *ipsi rerum naturae accommodatior* »)¹⁹. Il y a donc, aux yeux de Kepler, des raisons, à la fois, mathématiques et, surtout, physiques de préférer l'excentrique avec équant de Ptolémée, ou, du moins, un excentrique tout proche (« *vel proxime talem* ») de cet excentrique, de préférence à tout modèle faisant intervenir un ou plusieurs épicycles (excentrique à épicycle simple, à la manière du *De Revolutionibus*, ou concentrique à deux épicycles, comme dans le *Commentariolus* et dans la dernière conception de Tycho).

¹⁸ « Caeterum in sequentibus ad vitandam confusionem eccentrico hoc Copernicano (quem non stella, sed centrum epicycli describat) non amplius utar. Differt enim ab ipsissimo itinere Planetæ, quod altius fit in perigæo, humilium in apogæo. At voce Eccentrici porro utemur tantummodo in designando ipsissimo itinere Planetæ, vel puncti in cuius motu prima inaequalitas inest. » (*Astronomia Nova*, p. 79. Traduction : « D'ailleurs, dans la suite, pour éviter toute confusion, je n'aurai plus recours à cet excentrique copernicien (que doit décrire, non, l'astre, mais le centre de son épicycle). Il diffère, en effet, de la trajectoire en elle-même de la Planète, parce qu'il se fait trop élevé dans le périhélie, et trop bas dans l'apogée. Au contraire, nous emploierons désormais le terme d'Excentrique seulement pour désigner la trajectoire en elle-même de la Planète, ou, plutôt, du point dont le mouvement représente la première inégalité. »). Le membre de phrase *quod altius fit in perigæo, humilium in apogæo* doit se comprendre, comme dans le texte de la note (14), par référence aux figures reproduites aux pages 74 et 78 de l'édition Caspar. Ce contexte permet d'écarter l'interprétation qui ferait de *quod* un relatif portant sur *itinere* et de *altius* et *humilium* des attributs du sujet. Puisque l'excentrique copernicien pourvu d'un seul épicycle de la page 78, qui est l'équivalent du concentrique pourvu de deux épicycles de la page 74, représente la planète plus « haute », c'est-à-dire éloignée du *visus*, avant et après l'apogée que dans l'apogée lui-même, et plus « basse », c'est-à-dire plus proche, avant et après le périhélie que dans le périhélie lui-même, il représente donc la planète « trop basse » dans l'apogée (*humilium in apogæo*) et « trop haute » dans le périhélie (*altius in perigæo*). On peut donc s'attendre à ce qu'à son tour, l'« excentrique » keplérien représente, au contraire, la planète plus « haute » dans l'apogée et plus « basse » dans le périhélie.

¹⁹ « Quo pacto tantummodo Ptolemaicum eccentricum (*vel proxime talem*) par est nos imaginari. Ostensum enim est capite quarto, discrepaturum nostrum calculum aequationis (Ptolemaicae formae innixum) a Copernicano tantummodo duobus scrupulis, ubi maxime. Tum autem et facilius est modus computandi in forma Ptolemaica primæ inaequalitatis quam in Copernicana. Denique haec Ptolemaica forma primæ inaequalitatis (ut dictum) ipsi rerum naturae, et sequentibus nostris speculationibus Parte tertia et quarta, est accommodatior. » (*op. cit.*, p. 79. Traduction : « C'est sous cette réserve seulement qu'il convient que nous imaginions un excentrique ptoleméen (*ou très voisin de ce dernier*). Nous avons, en effet, démontré, au *Chapitre IV*, que notre calcul de l'équation (qui s'appuie sur la conception ptoleméenne) s'écarterait, de celui de Copernic, de deux scrupules, au plus. Mais, ensuite, la façon de calculer la première inégalité est, aussi, plus facile dans la conception ptoleméenne que dans la conception copernicienne. Enfin, cette conception ptoleméenne de la première inégalité (comme nous avons dit) est mieux adaptée à la réalité même de la nature, ainsi qu'à nos spéculations ultérieures dans les *Parties III et IV*. »). La *Ptolemaïca forma primæ inaequalitatis* est la conception de l'excentrique avec équant, par opposition avec la conception de Copernic, qui est, tantôt, celle de l'excentrique pourvu d'un épicycle (cas de la figure de la page 78 de l'*Astronomia Nova*), tantôt, celle d'un concentrique pourvu de deux épicycles (cas de la figure de la page 74). On notera l'étrange similitude dans les termes dont se sert Kepler dans ces textes de l'*Astronomia Nova* et de ceux dont se sert Cassini dans le texte que nous citons à la note (8).

D'où le modèle ptoléméen tient-il, aux yeux de Kepler, ce privilège ? Evidemment, de la rupture qu'il opère, par delà Copernic et Tycho²⁰, avec le dogme séculaire de l'uniformité des mouvements circulaires. Le recours à l'excentrique copernicien, avec épicycle, mais sans équant, permettait de représenter la première inégalité par la composition de deux mouvements circulaires uniformes. Dans ces conditions, l'inégalité qui affecte le mouvement par lequel le centre de l'épicycle décrit la circonférence du déférent est pensée comme un effet de perspective causé par l'éloignement du point de vue («*visus*») à l'égard du centre de l'excentrique. Cette inégalité est donc de nature purement optique, puisqu'il demeure entendu que le centre de l'épicycle parcourt la circonférence de l'excentrique d'un mouvement uniforme. Mais quel sera, à cet égard, le statut du mouvement uniforme avec lequel la planète parcourt la circonférence de l'épicycle ? Il n'est pas douteux que ce mouvement aura pour effet d'affecter le mouvement vrai d'une nouvelle inégalité, engendrant un mouvement vrai composé dont les éléments seront d'autant plus difficiles à distinguer qu'aucune différence de nature ne semble opposer les deux mouvements. L'inégalité introduite, dans le mouvement vrai de la planète, par son mouvement sur la circonférence de l'épicycle, n'est pas, fondamentalement, d'une autre nature que l'inégalité que présente toujours déjà, à un observateur suffisamment éloigné du centre de l'excentrique, le mouvement, en réalité uniforme, avec lequel la circonférence de cet excentrique est parcourue par le centre de l'épicycle. Dans les deux cas, il s'agit d'inégalités optiques qui affectent, par l'effet d'une perspective que l'optique apprend à corriger, des mouvements parfaitement uniformes d'un point de vue physique. Le mérite de l'excentrique ptoléméen, pourvu d'un point équant, était, au contraire, de prendre au sérieux l'idée d'une inégalité *physique* du mouvement de la planète, où une partie de l'équation, dite équation physique, se trouve renvoyée à tout autre chose qu'à un effet de perspective. Kepler, dès 1598, semble avoir soupçonné qu'une partie de l'équation était physique, d'où l'importance que revêt, à ses yeux, la conception ptoléméenne de l'excentrique avec équant²¹.

Retour à Ptolémée ? Dès lors qu'il renoue avec l'antique idée d'une inégalité physique des mouvements planétaires, il importe peu que Kepler l'interprète dans une problématique héliocentrique. Aux yeux des lecteurs contemporains, qu'ils soient héliocentristes, comme Boulliau, ou géocentristes, comme, à travers sa phraséologie jésuite, on peut supposer avoir été Cassini, l'*Astronomia Nova* peut apparaître comme un retour à un mode de représentation des mouvements planétaires proche d'une inspiration ptoléméenne. L'allure ptoléméenne de l'*Astronomia Philolaica* de Boulliau, qui, non seulement, invoque une inégalité physique des mouvements planétaires, mais identifie le foyer « supérieur » de l'ellipse keplérienne au centre du mouvement moyen, le traitant, en somme, comme un point équant, est, à cet égard, lourdement significative. On peut toujours se demander si, par ses emprunts de vocabulaire à l'astronomie de Ptolémée, Kepler n'a pas favorisé ces malentendus.

²⁰ On peut évidemment étendre ces réflexions à des auteurs comme Longomontanus ou Lansberg.

²¹ « *Duae retardationes permiscetur ; altera realis et Physica in uno eccentrici loco ; altera Optica et apparens in loco non iam uno, sed illo, qui a quolibet suscepto visus situ remotissimus est.* » (*Astronomia Nova*, p.81. Traduction: « Il y a deux ralentissements qui se confondent, l'un, réel et Physique, en un endroit précis de l'excentrique, l'autre, Optique et apparent, non en un endroit précis, mais en celui qui est le plus éloigné de tout site reconnu à la vision. »). Or, dans la théorie de la libration de la Lune de Cassini, on lit : « De la complication de ces deux mouvements contraires, dont l'un n'est qu'apparent & l'autre est réel, l'un est inégal & l'autre égal, résulte la libration apparente de la Lune. » (*Recueil de diverses observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa majesté pour perfectionner l'astronomie et la géographie, avec divers Traitez astronomiques*, Paris, 1693, p. 35). Que Cassini ait connu l'*Astronomia Nova* est prouvé par la *Ptolemaica Methodus* et par la lettre à Gassendi du 21 octobre 1653 (Gassendi, *Opera*, t. VI, Lyon, 1658, p. 527-528), où l'on lit notamment: « *Huic et similibus novam astronomiam superstruo.* ».

Dans ce contexte intellectuel eut lieu, en 1655, une expérience que son auteur présente comme une confirmation de la nature physique d'une partie de l'équation. Cassini se servit, à cet effet, d'une méridienne d'une ampleur inaccoutumée qu'il avait fait tracer à l'intérieur de la basilique San Petronio de Bologne²². L'expérience consistait à confronter, à l'inégalité annuelle du mouvement du Soleil, donc à l'inégalité des saisons, les variations que subissait, au cours d'une année, le diamètre de la section ovale²³ découpée, par le plan du pavement de l'édifice, dans le cône d'illumination qui projette, sur ce pavement, l'image du Soleil. Ces variations, en effet, dépendent de la seule distance du Soleil et représentent, par conséquent, la seule inégalité optique de son mouvement. L'excès que présente l'inégalité totale du mouvement annuel du Soleil peut, dès lors, être imputé à l'inégalité physique²⁴. Cassini présente explicitement ce résultat comme un argument en faveur de la « bissection de l'excentricité », ce qui laisse penser qu'il y voit un argument en faveur de « Ptolémée », mais le sort de l'« *astronomia nova* » ne se sépare pas, sans doute, dans son esprit, de celui du « retour à Ptolémée », quitte à s'interroger sur la portée réelle de ce « retour ». Si la formulation de l'argument revêt une allure ptoléméenne, la lettre du propos autorise à postuler, dans l'esprit de l'auteur, une équivalence entre l'« hypothesis bissectae eccentricitatis » et l'« hypothesis ellipseos ». Il revient donc au même, s'agissant de l'*orbis annuus*, de renvoyer une partie de l'inégalité des saisons à une inégalité physique de la révolution du Soleil, d'attribuer, au Soleil, un équant, ou de concevoir le mouvement du Soleil de la façon dont la conscience scientifique commune du siècle attribuait à Kepler d'avoir conçu celui de la Terre. De ce fait, l'expérience réalisée à San Petronio de Bologne peut valoir, indifféremment, comme tendant à démontrer la « bissection de l'excentricité » du Soleil, ou les deux premières lois de Kepler.

²² Cf. Cassini (Giovanni Domenico), *Specimen observationum Bononiensium, quae novissime in Divi Petronii Templo ad astronomiae novae constructionem haberi coepere... Ex quibus motusque Solis realis inaequalitas nunc primum immediatis observationibus detegitur*, Bologne, 1656. Sur cette méridienne, cf. Fontenelle, (Bernard Le Bovyer de), « Eloge de Cassini », *Histoire de l'Académie royale des sciences pour 1712*, p. 87, et Montucla, *Histoire des Mathématiques*, seconde édition, t. II, p. 560-562. On notera, dans l'intitulé du document, l'occurrence *astronomia nova*.

²³ Compte tenu de la latitude géographique du lieu de l'observation.

²⁴ « quae variatio (sc. diametris Solis) cum motus inaequalitate comparata, hypothesin bissectae eccentricitatis atque adeo ellipseos et in Sole coarguit. » (Cassini à Boulliau, 22 août 1656 ; traduction : « laquelle variation <du diamètre du Soleil> vient à l'appui, lorsqu'on la confronte à l'inégalité que présente le mouvement <annuel du Soleil>, de l'hypothèse de la bissection de l'excentricité et jusqu'à celle d'une ellipse, même dans le cas du Soleil » ; nous suivons, pour cette lettre, la copie conservée à la Bibliothèque nationale de Paris, ms français, nouvelles acquisitions, 5.856, fol. 93 r°, qui porte la mention suivante : *Boulliau, corr. 19, lettres astronomiques, no 113*, mais l'original manque au tome XIX de la Collection Boulliau, également conservée à la Bibliothèque nationale (ms français 13.037), qui présente une lacune du numéro 111 au no 113 ; il s'agit vraisemblablement d'une lettre de Cassini dont François Vincent annonce l'envoi dans sa lettre à Boulliau du cinq septembre 1656, cf. ms fr. 13.037, fol. 210 r°) ; même langage sous la plume de Boulliau, en 1654 : « Methodum tuam ad locum Aphelii inveniendum consideravi, in qua, ut etiam in aliis, venit Sol supponendus non habere aequantem ipsiusque eccentricitatem non esse bisecandam statuendum, quibus phaenomena refragantur. » (Boulliau à Guillaume Langius, 23 septembre 1654 ; B.N., ms fr. 13.037, fol. 127 r°-128 r° ; traduction : « J'ai examiné ta Méthode pour trouver le lieu de l'Aphélie, pour laquelle on doit considérer que le Soleil n'a pas d'équant et qu'il n'y a pas lieu d'opérer la bissection de son excentricité, ce à quoi s'oppose ce qui se voit. »).