

## KEPLER : DES ORBES MOTEURS AUX FORCES MOTRICES

*En quelques années (1588-1606) l'introduction par Kepler du concept de force en Astronomie accompagne et installe la disparition des orbés célestes. Au moins dans son esprit. Mais n'en découle pas directement ; ce passage n'est ni spontané ni naturel, car il ne peut se faire sans la disparition préalable des âmes motrices guidant les planètes et le passage du Premier Moteur dans le Soleil. La critique des intelligences rectrices des planètes (conçues comme l'association anima – mens) constitue donc l'intermédiaire nécessaire entre orbés moteurs et forces motrices.*

### Des comètes et des orbés

Sans principe d'inertie, les problématiques touchant au mouvement des astres sont tout autres que les nôtres : tout mouvement doit être précédé d'une cause, les planètes doivent donc être mues par quelque chose d'extérieur. Ainsi, jusqu'en 1588 au moins, on rend compte du mouvement des planètes par l'intermédiaire des « orbés », ces sphères invisibles qui les emporteraient enchâssées en elles comme des bijoux. La question de la nature des orbés concerne le théologien, celle de leur agencement revient à l'astronome. La cause du mouvement des planètes n'est donc plus un sujet de recherches pour l'astronome, la mécanique des orbés répond à toutes ses interrogations cinématiques : ils s'entraînent les uns les autres à partir du Premier Moteur. D'où la place centrale, dans la question du mouvement des planètes, des techniques cosmographiques (excentriques, déférents, épicycles, etc). Cependant, les observations répétées des comètes du 16<sup>ème</sup> siècle poussent certains astronomes à remettre en question les certitudes traditionnelles<sup>1</sup> : quelques comètes semblent en effet évoluer au-delà de la lune et non dans notre atmosphère comme on le pensait jusque là. Tycho Brahe et Maestlin (futur enseignant de Kepler) en font la démonstration. Bien que l'idée en soit fort répandue aujourd'hui, l'observation des comètes ne provoque pourtant pas directement la disparition des orbés.

En effet, les comètes pourraient être imbriquées dans les orbés planétaires eux-mêmes, ou dans de nouveaux orbés invisibles quoi qu'il en soit, voire aussi éphémères, par exemple, que la durée d'observation des comètes. Tycho lui-même attendra quelques années avant d'envisager que les orbés n'existent pas. C'est seulement en 1588, dans son *Des derniers phénomènes dans le monde éthéré* qu'il propose son système astronomique hybride entre géocentrisme et héliocentrisme et affirme de façon abrupte qu'il n'y a pas d'orbé. Mais aucune démonstration n'accompagne cette affirmation<sup>1</sup>, l'existence des orbés ne prend pas fin littéralement avec Tycho, et à cette date. Dans les premiers travaux de Kepler au moins, ils occupent encore une grande place. En effet, avant de s'en passer, encore faut-il pouvoir rendre compte autrement de la diversité des mouvements planétaires dont ils étaient cause jusque là. Cela va se produire progressivement, au fur et à mesure du développement en parallèle de la notion de force motrice. Celle-ci est au départ une *anima motrix* provenant du soleil, elle est donc complémentaire des intelligences rectrices des planètes (derniers chapitres du *Mysterium Cosmographicum*, 1595-1596). A la fin de la rédaction de l'*Astronomia Nova* (1606), la force motrice sera devenue concurrente des intelligences rectrices.

### Un cosmos à ossature virtuelle

Kepler étudie la théologie de 1589 à 1594 à Tübingen. Il suit les cours de Maestlin, l'un des très rares astronomes coperniciens. La publication de Tycho (1588) est donc toute récente et Kepler, le premier astronome à considérer à la lettre qu'il n'y a pas d'orbés matériels. Dès 1595 le premier livre de Kepler, le *Mysterium Cosmographicum*, est rédigé, il paraît en 1596. Sa finalité ? Donner, du point de vue copernicien, les causes du nombre, des dimensions et des mouvements des orbés à partir d'un tout nouveau système astronomique en 3 dimensions, le système des 5 solides platoniciens. On ne s'attardera pas sur celui-ci, rappelons simplement qu'il est démontré depuis l'Antiquité qu'il n'existe que 5 solides dits « parfaits », lesquels une fois emboîtés les uns dans les autres autour du Soleil, peuvent rendre compte approximativement des distances des planètes. Mais si la « mécanique » traditionnelle d'orbés qui s'entraînent les uns les autres assurait tel un squelette, la stabilité et les dimensions du cosmos, le système des 5 solides constitue un nouveau type d'ossature : une ossature virtuelle dans laquelle les orbés sont toujours présents. Car chaque solide possède une sphère inscrite et une sphère circonscrite, et leur emboîtement permet 6 orbés. Mais suivant Tycho, les solides et leurs orbés sont sans matière. C'est le Dieu Architecte et Géomètre qui, selon Kepler, a construit le monde à partir de ces 5 archétypes géométriques : les orbés ne sont donc plus que des objets mathématiques dont les planètes suivent les plans (divins) grâce à leurs intelligences rectrices. Elles sont capables en effet, de se repérer seules dans l'éther céleste.

La tradition n'attribuait pourtant pas d'intelligences rectrices aux planètes, sont-elles un ajout de l'astrologue Kepler ? Pas tout à fait : la disparition des orbés impose un transfert (par défaut) de leurs attributs cinématiques vers les planètes. Ceci va se révéler suffisamment inapproprié pour constituer le socle d'une critique interne de tous les systèmes astronomiques (ptoléméen, tychonien et même copernicien) par le biais de son concept naissant de force motrice diminuant avec la distance.

## Une régression momentanée de l'astronomie

L'animation des planètes prend donc son origine dans celle des orbés. Selon la tradition, les orbés sont en mouvement sur eux-mêmes parce qu'une *anima* les anime, une *anima* dont l'action est réglée par un *intellectus* afin qu'elle ne s'emballe pas et confère à son orbe un mouvement régulier éternel. Mais entendons-nous bien : l'*anima* que l'on peut traduire par *âme*, n'est pas un esprit, les planètes ne sont pas des anges ou des dieux astrologiques. Ceci a son importance, car à partir du moment où les orbés disparaissent, ces deux attributs se voient, de manière inopportune, transférés aux planètes. Ainsi Tycho Brahe, faute d'orbe, a-t-il été le premier à leur attribuer sans hésitation une science innée du mouvement régulier<sup>2</sup>. Les intelligences rectrices de Kepler sont donc d'abord une marque de fidélité aux conclusions de Tycho Brahe, et elles prennent leur origine dans l'astronomie traditionnelle des orbés<sup>3</sup>. Le progrès que constitue leur disparition s'accompagne d'une sorte de régression (temporaire) de l'astronomie. Une sorte de retour vers l'animisme, bien que la planète soit beaucoup plus proche de l'automate animé que du dieu mésopotamien.

Ceci gênera profondément Kepler, théologien de formation, pour qui les intelligences rectrices ne peuvent être conçues que comme une association artificielle *de sorte qu'il ne reste rien pour une action providente*<sup>4</sup>. Association d'une *anima* ne rendant compte que du déplacement de la planète (ce n'est pas un esprit

ni une âme au sens chrétien) et d'un *intellectus* des orbes devenu *mens* pour les planètes afin de rendre compte de la mathématique du mouvement (la *mens* est aussi dotée de mémoire). Cette évolution n'est pas anodine, les planètes doivent suivre les trajectoires géométriques définies par Dieu sans devenir des êtres autonomes. Or ceci impose des contraintes techniques imprévues par Tycho Brahe et le jeune Kepler, ce qui sera traité dans la première partie de l'*Astronomia Nova*, le deuxième grand ouvrage d'astronomie keplérienne.

## Une nouvelle contrainte expérimentale

Dans le *Mysterium Cosmographicum*, le système des cinq solides semblait apte à rendre compte des causes du nombre et des dimensions des orbes selon Copernic (ce pourquoi il ne devrait y avoir que 6 planètes dans le Cosmos). La recherche de la cause des mouvements a pourtant ouvert des problématiques inattendues. Contrairement à presque tous les astronomes de son temps, Kepler est copernicien, il considère donc pour des raisons tant métaphysiques que techniques que le soleil est au centre du Cosmos. Ceci lui permet d'interroger différemment l'agencement des mouvements planétaires dont il fait ressortir une harmonie nouvelle appelée à devenir le socle de sa physique céleste. Une constatation appelée à devenir une véritable contrainte expérimentale pour les systèmes astronomiques. Contrairement à ses propres attentes, Kepler se rend compte en effet, que les planètes n'ont pas une vitesse égale. Autrement dit, l'accroissement de la longueur des orbites ne suffit pas à expliquer celui des durées de révolution (2 ans pour mars, 12 pour jupiter contre 6 attendus puisqu'elle est 3 fois plus éloignée du soleil). La vitesse moyenne des planètes décroît aussi avec l'éloignement au soleil ! Sa première interprétation est sans équivoque : *ou bien plus les âmes motrices sont éloignées du soleil, plus elles sont faibles ; ou bien il n'y a qu'une seule âme motrice placée au centre de tous les orbes (...) qui, dans les corps les plus éloignés, en raison de l'éloignement et la diminution de sa force, s'affaiblit*<sup>5</sup>.

## Le Premier Moteur dans le soleil

En fait, Kepler était préparé à accepter cette 2<sup>nde</sup> conclusion complètement absurde dans les autres systèmes astronomiques. Dès 1593 en effet, encore étudiant à Tübingen, il avait défendu dans une disputation<sup>6</sup> l'idée que le Premier Moteur des mouvements du Cosmos se trouvait dans le soleil. Chez Copernic en effet, les orbes ne sont plus en contact et la sphère des constellations est fixe (dans les systèmes astronomiques où la terre n'est pas en rotation sur elle-même, cette dernière sphère accomplit sa rotation en 24h). Le Premier Moteur traditionnel ne peut donc plus entraîner les orbes de l'extérieur du monde. Etant fixe par définition, il faut même le situer soit dans le soleil, soit dans la sphère des fixes. Mais pour Kepler il est *moins naturel* que le Premier Moteur soit étendu dans une sphère si grande (n'entraînant plus rien selon Copernic), qu'au centre de tout *émanant d'une source qui est presque comme un point*. Il attribua donc le rôle de Premier Moteur au soleil, le plus parfait des corps célestes, en installant dans son esprit l'idée d'un mouvement non transmis par contact, et transmis *de façon égale* à toutes les planètes. *Comme si [le soleil] s'étendait lui-même à travers son effet [le mouvement] le plus indifféremment à tous les orbes environnants*<sup>7</sup>.

Kepler ne s'attendait donc pas à découvrir cette donnée naturelle montrant la diminution des vitesses des planètes avec la distance au soleil. Celle-ci va montrer

de suite son incompatibilité avec les traditionnelles techniques cosmographiques et le pousser un peu plus vers la conception d'une force dans le soleil entraînant les planètes sans contact. Mais ce n'est que lorsque la force motrice et les *anima* et *mens* tirés des orbes vont faire doublon et entrer en concurrence que va pouvoir se faire la critique des intelligences rectrices. Et marquer la fin des orbes. Dix ans plus tard, Kepler aura ainsi développé dans son *Astronomia Nova*, la notion de force motrice dont il place l'origine dans le centre du soleil. Il la modélisera en termes de propagation (à vitesse infinie) de rayons géométriques en parenté (mais non en adéquation) avec la lumière. Il y a donc un intérêt stratégique pour Kepler à rappeler régulièrement que *Tycho a détruit les orbes* : bien qu'il n'en ait jamais fait la démonstration, l'autorité de Tycho est la raison première de la critique des fonctions des *anima* et *mens*.

## Un transfert inadéquat

Kepler ne les critique toutefois pas en tant que telles. A la fin de l'*Astronomia Nova* l'*anima* et la *mens* des planètes sont toujours présentes, mais il a considérablement réduit leur champ d'application au profit des forces motrices. La fonction de l'*anima* d'une planète reste de maintenir fixe son axe de rotation en luttant contre la force motrice du soleil. Celle de la *mens* consiste à gérer la mesure d'un mouvement de libration local grâce à la perception visuelle des variations apparentes du diamètre du disque solaire. En fait, le transfert inadéquat des orbes aux planètes se comprend de la façon suivante : les orbes se sont vus attribuer une *anima* et un *intellectus* par nécessité et avec prudence du point de vue de la philosophie aristotélicienne. Les planètes quant à elles, se voient affublées d'*anima* et *mens* par défaut, faute de mieux, qui n'ont pas été conçues pour les fins nouvelles qui vont être les leurs.

Sans les orbes en effet, l'*anima* ne doit plus rendre compte du seul mouvement d'une sphère au sens littéral du terme (c'est à dire le fait qu'un orbe ne soit pas fixe), mais du déplacement (d'un lieu à un autre) d'une planète maintenant livrée à elle-même. L'*intellectus* lui, justifiait jusque là (et sans aucune contrainte technique) la régularité parfaite de l'effort de l'*anima*. Mais si les orbes traditionnels emportaient naturellement les planètes sur des cercles, elles doivent maintenant diriger seules leur mouvement afin de construire éternellement des cercles (systèmes traditionnels), voire une ellipse (dans la nouvelle *physique céleste* keplérienne). On voit qu'au problème de la mesure du mouvement s'ajoute celui du repérage, fonction que l'*intellectus* ne peut pas assurer. Ce pourquoi il devient *mens*, capable de traiter des perceptions spatiales, sinon à proprement parler visuelles (pour Kepler les aspects astrologiques montrent qu'un repérage géométrique dans l'espace est possible sans organe de perception).

## La critique classique des intelligences rectrices

On trouve la critique des intelligences rectrices (en tant qu'association *anima* – *mens*) dans les chapitres 1 à 6 de la première partie de l'*Astronomia Nova*. Mais l'introduction annonce déjà que la condition des intelligences et âmes motrices devient difficile puisqu'elles doivent respecter à la fois et par elles-mêmes, les lois, les centres, et les périodes des 2 mouvements dont leur déplacement se compose. Autrement dit, sans orbe se posent les problèmes de la trajectoire, du repérage, mais aussi de la vitesse (respecter des temps de révolution constants à partir de

vitesse non uniformes). Dans la plus pure tradition astronomique les planètes gardent un mouvement principal circulaire. Il est provoqué par une force motrice émanant du soleil (comme un déférent, ce qui rend inutile l'*anima*). Un second mouvement est propre aux planètes, il leur permet de sortir de ce circuit concentrique au soleil pour former des cercles excentrés ou des ellipses (comme un épicycle). Dans cette représentation des mouvements planétaires, Kepler est très fidèle à l'astronomie traditionnelle décomposant les mouvements planétaires en deux mouvements principaux (déférent et épicycle).

Mais être copernicien, c'est aussi reconnaître une certaine *parenté des choses célestes et terrestres*, donc rejeter les mouvements naturels (sans cause physique) d'Aristote. Kepler rejette ainsi l'hypothèse selon laquelle un mouvement sur un épicycle du à l'*anima* serait circulaire *comme la nature de la pierre est de descendre en ligne droite* : sans orbe, plus de trajectoire naturelle. De plus, il n'existe aucune ligne pour se repérer dans l'éther, et Dieu n'a pu créer aucun mouvement perpétuel non rectiligne qui puisse se faire *sans assistance mentale*<sup>8</sup>. Autrement dit, un mouvement circulaire sans force motrice nécessite en permanence l'intervention d'une *mens*. Or, un cercle se définit comme une distance constante à un centre. Mais dans cet éther homogène, si la planète pouvait encore se repérer sur son déférent par rapport à des corps comme le soleil (ou la terre pour Ptolémée et Brahe), comment le pourrait-elle sur son épicycle dont le centre n'est qu'un point géométrique invisible ? De plus, *les géomètres savent bien* qu'il faut 3 points pour construire un cercle. Or si cela est évident, demande Kepler, comment la planète peut-elle construire son tout 1<sup>er</sup> cercle avant d'avoir atteint les 3 premiers points à partir desquels seulement, elle pourra reconstruire seule sa trajectoire<sup>9</sup> ??? Comme les centres, ces points sont invisibles, Avicenne avait déjà formulé la remarque. Sans les orbes finalement, les épicycles, points équants et autres déférents ne sont-ils pas que *des artifices géométriques* dont les astronomes usent pour rendre compte (sans le savoir) du jeu des forces physiques et non de la mécanique des orbes<sup>10</sup> ???

Autre soucis lié au problème des moteurs : sans organe de locomotion, et si elle a bien la forme d'un globe, donc *ni pied, ni nageoire ni aile* bien qu'elle se déplace dans l'éther *comme les oiseaux dans l'air*<sup>11</sup>, par quoi la planète est-elle mue ??? On a beaucoup ironisé sur ces questionnements, mais Kepler défriche réellement une problématique nouvelle et insoluble : trouver, sans recourir au principe d'inertie, les causes des mouvements complexes (mais non chaotiques) de planètes livrées à elles-mêmes dans l'éther. Avec aussi, des interlocuteurs qui ne limitent pas les champs du possible aux contraintes techniques de l'astronomie. Ainsi cette réfutation de l'attribution d'un corps animal aux planètes est-elle d'abord le complément des arguments réfutant l'attribution d'intelligences rectrices. Elle caractérise aussi le passage de problématiques métaphysiques à des problématiques physiques. Ici, l'animé soumis à des contraintes permet de rendre compte d'un mouvement composé sans recourir à plusieurs moteurs.

## La critique physique des intelligences rectrices

La critique des *anima* et *mens* issues de l'astronomie des orbes s'appuie essentiellement sur les conceptions nouvelles de la *physique céleste* de l'*Astronomia Nova*. Depuis l'énoncé de la contrainte expérimentale nouvelle à la fin du *Mysterium Cosmographicum* (la vitesse moyenne des planètes diminue sans raison avec la distance au soleil), ses exigences physiques ont pu s'émanciper de celles de

l'astronomie traditionnelle. De l'interprétation d'âmes motrices s'affaiblissant, Kepler est passé à la conception d'une force motrice dans le soleil dont l'intensité décroît avec la distance *conformément à la loi de la balance et du levier*<sup>12</sup>. Ainsi les variations de vitesse des planètes ne sont-elles pas dues aux compositions traditionnelles de cercles, ni aux illusions causées par le mouvement annuel de la terre (comme les stations et rétrogradations des planètes), mais bien à de réelles accélérations et ralentissements en fonction de la distance au soleil. L'*anima* traditionnelle est devenue inutile, on ne saurait décrire à quel point la *physique céleste* de Kepler a pu être déconcertante pour les esprits aristotéliens de l'époque.

Or, comme on l'a rappelé, l'*anima* motrice d'une planète est à l'origine l'expression d'un principe métaphysique censé rendre compte du mouvement éternellement régulier des orbites ; au pire, de la composition de mouvements réguliers. Mais même le haut et le bas d'un épicycle se trouvent à des distances différentes du soleil, le mouvement de la planète ne peut donc y être uniforme comme le définissent la tradition, et même Copernic. Et ce, même si l'on attribue à la planète un corps animal : la force qui l'anime devrait être soumise alors à la corruption, elle devrait *se fatiguer, ou s'affaiblir avec l'âge (...) assertion par trop ridicule*<sup>13</sup>. La raison des variations de vitesse (trop systématiques pour être contingentes) est une force (*vis*) dans le corps de la planète, laquelle est l'effet d'une force en puissance (*virtus*) dont l'origine est dans le corps du soleil. Elle n'est pas due à l'effort d'une *anima*.

Mais, anticipe Kepler, pour rendre compte de ces variations, pourquoi ne pas associer entre elles des intelligences rectrices : une dans la planète et l'autre au centre de l'épicycle ? Tout simplement parce qu'il est déjà impossible de se repérer par rapport à un centre non corporel : comment alors, imaginer la planète se régler uniformément sur un point invisible, qui plus est en mouvement non uniforme<sup>14</sup> ! ?

Cependant, puisqu'une force motrice peut provenir de l'extérieur d'une planète, pourquoi ne pourrait-on pas situer la *virtus* au centre d'un épicycle ou d'un déférent sans forcément renvoyer au soleil ? Cela sauverait toutes les techniques cosmographiques. Kepler nous explique que remplacer les combinaisons traditionnelles de cercles par des combinaisons de *virtus* pose plus de problèmes que cela n'en résout. Pour commencer, certaines *virtus* produiraient un mouvement non uniforme (cercle équant) quand d'autres produiraient un mouvement uniforme (cercle épicycle), ce qui imposerait des *virtus* de natures différentes. Mais la Nature est simple, et l'astronome copernicien ne doit pas reproduire l'erreur ptoléméenne des hypothèses ad hoc en nombre illimité.

De plus, le centre de l'épicycle est sans substance. Non seulement il n'y a rien à mouvoir pour la 1<sup>ère</sup> *virtus*... mais la seconde *virtus* devrait aussi émaner de rien. Or, à moins d'accepter de retomber dans la métaphysique, une force motrice doit mettre en rapport un moteur et un mobile, elle ne peut se concevoir qu'entre deux corps. Elle n'est pas une relation analogique entre deux symboles comme cela pourrait être permis par exemple, en astrologie. Dans la physique céleste keplérienne les points mathématiques ne peuvent être des centres de force s'ils ne sont pas occupés par des corps. Ce pourquoi Kepler passe spontanément du soleil moyen au soleil vrai dès la fin du *Mysterium Cosmographicum*.

Pourtant, cette exigence de corporéité des centres de force ne s'arrête pas à la critique de l'ex-mécanique des orbites. Elle trouve en effet sa plus belle application dans l'introduction de l'*Astronomia Nova* où pour Kepler *la théorie vulgaire de la gravité est fautive [car] un point mathématique, qu'il soit ou non le centre du monde, ne peut mouvoir les corps lourds, ni à titre de cause, ni à titre d'objet*<sup>15</sup>.

Jusque là en effet, la gravité est expliquée par une tendance naturelle des corps vers le centre de la terre. Mais pour Kepler, les corps y tendent en ligne droite seulement par contingence : *si la terre n'était pas ronde (...) les corps lourds se porteraient vers des points différents*<sup>15</sup>. En fait, tous les corps de même nature s'attirent mutuellement de la terre à la lune (d'où le premier exposé qualitatif de la bonne explication des marées, 80 ans avant la rédaction des *Principia*).

En fait, plutôt que d'envisager l'association d'âmes motrices ou de centres de forces parfois dans des points mathématiques, parfois dans des corps, il est plus fécond d'envisager deux forces motrices cohabitant dans le corps même de la planète. L'une trouve son origine dans le soleil, l'autre dans les propriétés magnétiques du corps de la planète conçu comme un aimant. Kepler rappelle ainsi que les planètes n'ont pas, comme l'astronome, *le secours de la tablette et du papier* pour construire leurs trajectoires.

## Des orbes aux forces

Le passage des orbes moteurs aux forces motrices ne se fait donc pas naturellement, comme le montre la courte période pendant laquelle les intelligences rectrices guident les âmes motrices des planètes sur leurs orbes virtuels. Mais cette régression temporaire de l'astronomie vers une forme d'animisme se voit dérangée par la découverte de la donnée incontournable qu'est la diminution des vitesses moyennes des planètes selon leur éloignement au soleil. Lorsque la recherche des causes du mouvement cesse d'interroger des compositions de mouvements réguliers pour considérer un mouvement varié par rapport au soleil, l'optique même de l'astronomie change. Car cette diminution avec la distance devait seulement montrer que la cause physique du mouvement des planètes est copernicienne, c'est à dire dans le soleil (en complément physique de l'apport mathématique du système des 5 solides). Or, elle va s'émanciper de sa finalité première. La hiérarchie va s'inverser, et les fondements mathématiques de l'astronomie vont être réduits à des artifices au service de la représentation du jeu des forces motrices. Celles-ci, conçues avant les ellipses, vont constituer le fondement théorique du mouvement elliptique tout comme les orbes avaient été jusque là, celui des mouvements circulaires<sup>17</sup>. Les orbes constituaient le squelette de la mécanique traditionnelle du Cosmos, ils vont participer encore à l'ossature virtuelle du système des 5 solides du *Mysterium Cosmographicum*, avant de laisser définitivement place aux forces motrices de l'*Astronomia Nova*. L'*anima* et la *mens* leur survivront en gardant des fonctions indépendantes l'une de l'autre. Comme on l'a déjà dit, l'*anima* assure la fixité de l'axe de rotation des planètes au fil des temps : il faut en effet un principe actif pour « résister » à la force motrice du soleil comme le pêcheur résiste au courant du fleuve en dirigeant sa barque<sup>16</sup>. La *mens* permet d'assurer la direction de cet axe, de même qu'*une place a été laissée à une mens afin que le moteur propre de la planète ajoute une faculté rationnelle à la faculté animale de mouvoir son globe. (...) [il faudra] que cette mens puisse user du diamètre apparent du soleil pour la mesure de sa libration, et qu'il ait le sens des angles comme le requièrent les astronomes*<sup>18</sup>. Finalement, l'*anima* et la *mens* (ex-*intellectus*) ne participent plus à l'explication du mouvement global des planètes. La destruction conceptuelle de la mécanique des orbes matériels est achevée : ils ne rendent plus compte que de problématiques locales du mouvement. L'association de forces motrices (propres au soleil et aux planètes) a remplacé l'association *anima – intellectus* de la tradition. Sans cette problématique, pas de fondement physique pour les deux premières lois de Kepler.

1. Pour plus de détail, on consultera avec bonheur *Le monde des sphères* tome II, Michel Lerner, Les Belles Lettres.
2. *Des derniers phénomènes dans le monde éthéré*, Tycho Brahe, 1588 : *Les astres eux-mêmes possèdent une certaine science de leur mouvement régulier grâce à laquelle ils accomplissent leurs courses de manière absolument parfaite et constante, sans être poussés ni soutenus par aucun orbe ; science qui leur est naturelle et innée, ou plutôt elle leur a été infusée par Dieu au commencement et ils la conservent perpétuellement.*
3. Même si dans la forme, elles subissent l'influence des idées de Scaliger
4. *Astronomia Nova*, chapitre II.
5. *Mysterium Cosmographicum*, chapitre XX.
6. Joute oratoire publique organisée entre étudiants
7. Une partie de cette disputation est consultable dans les *Opera Omnia* de Frisch (vol VIII-1, p 266 à 268).
8. *Astronomia Nova*, chapitre 2.
9. Ibid
10. *Astronomia Nova*, chapitre 4.
11. *Astronomia Nova*, chapitre 39.
12. Les images de la balance et du levier sont nombreuses dans les chapitres 33 et 57 de l'*Astronomia Nova*
13. *Astronomia Nova*, chapitre 33
14. *Astronomia Nova*, chapitre 6.
15. *Astronomia Nova*, introduction.
16. *Astronomia Nova* chapitre 38.
17. *Astronomia Nova*, chapitre 56.
18. *Astronomia Nova*, introduction.