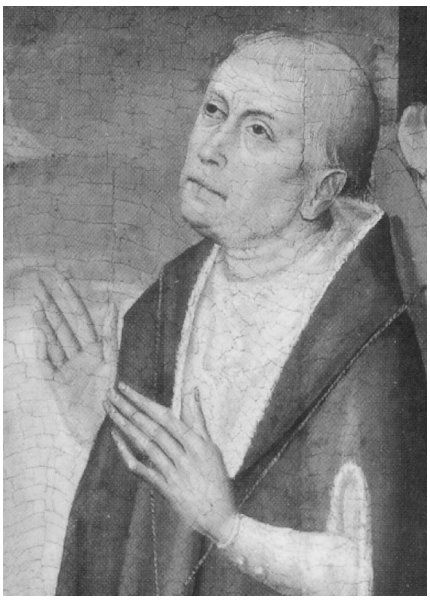
600e anniversaire de Nicolas de Cues

Le Cusain et la découverte des véritables mouvements des corps célestes



A l'époque de Nicolas de Cues, le Soleil et les planètes tournent suivant des cercles parfaits autour d'un centre fixe : la Terre. Le concept de système héliocentrique imaginé par Aristarque de Samos est en effet tombé dans l'oubli et c'est plutôt la vision aristotélicienne de l'Univers qui s'est imposée. Toutefois, le Cusain va revenir à la véritable tradition platonicienne et, grâce à sa méthode de la docte ignorance, va établir les fondements sur lesquels on pourra bâtir une science plus conforme à la réalité. L'auteur montre dans cet article quelle est la démarche scientifique de Nicolas de Cues et comment elle a influencé Johannes Kepler dans ses travaux pour déterminer les véritables mouvements des corps célestes.

BRUCE DIRECTOR

Quand un soldat romain tua Archimède en 212 avant J.-C., la Terre se tint immobile. Du moins, c'était ce que voulaient les adeptes du culte de Mithra, ceux-là mêmes qui portent en définitive la responsabilité de ce meurtre.

Bien sûr, la Terre ne s'est jamais physiquement arrêtée. Toutefois, pendant environ mille cinq cents ans, depuis la mort d'Archimède jusqu'à la publication de *La docte ignorance* par Nicolas de Cues en 1440 après J.-C., la connaissance de la rotation de la Terre autour du Soleil a presque entièrement disparu.

Comment se fait-il que la connaissance d'un principe physique, dont la découverte ne requiert pas d'autres « informations » que les observations régulières des déplacements des corps célestes, a pu disparaître pendant tant d'années ? Comme on peut s'en rendre compte aisément avec l'effondrement de la soi-disant « nouvelle économie », la connaissance ne découle pas de l'information. Elle provient plutôt de notre pouvoir cognitif, lequel arrive à s'élever au-delà des limites des sens et à discerner les intentions sous-jacentes (causes réelles) dont ces impressions sensorielles

ne sont qu'un reflet. La découverte du concept de système solaire héliocentrique par Aristarque de Samos, un prédécesseur d'Archimède, est caractéristique de ces découvertes cognitives réalisées grâce aux méthodes de Socrate et de Platon. La méthode d'Aristote, en égarant les esprits, a contribué à la disparition de ce concept.

Grâce à la publication de *La docte ignorance*, le Cusain brisa l'hégémonie de la pensée aristotélicienne et élabora une nouvelle méthode de recherche scientifique qui fit renaître la méthode de Platon, enrichie par les principes du christianisme. Ces principes, insiste Nicolas de Cues, sont compris grâce à la raison humaine et sont, par conséquent, œcuméniques, c'est-à-dire capables d'être reconnus vrais par des musulmans, des juifs aussi bien que n'importe quel autre non-chrétien.

Ce présent article n'a pas la prétention d'apporter un examen complet de l'influence de l'œuvre du Cusain sur la science moderne. Nous tenterons ici d'apporter simplement un aperçu significatif de l'importance de la méthode scientifique du Cusain en retraçant l'influence directe de ce dernier sur l'astrophysique de Johannes Kepler.

Le mouvement des corps célestes

L'astronomie est le plus ancien domaine de recherche de la science. Il ne fait aucun doute que les cultures préhistoriques avaient développé une conception héliocentrique du système solaire, condition préalable à la navigation transocéanique pratiquée par les Egyptiens et par d'autres civilisations anciennes.

Dans *Prométhée enchaîné*, Eschyle présente un récit métaphorique de ces découvertes astronomiques. Prométhée, enchaîné à un rocher par Zeus pour l'éternité en représailles d'avoir aidé l'espèce humaine, parle de ses premiers efforts pour faire accéder les individus à un niveau réellement humain : « *Ecoutez plutôt les misères des mortels et comment d'enfants qu'ils étaient auparavant j'ai fait des êtres doués de raison et de réflexion. Je veux vous le dire, non pour dénigrer les hommes, mais pour vous montrer de quelles faveurs ma bonté les a comblés. Autrefois ils voyaient sans voir, écoutaient sans entendre, et semblables aux formes des songes, ils brouillaient tout au hasard tout le long de leur vie ; ils ne connaissaient pas les maisons de briques ensoleillées ; ils ne savaient point travailler le bois ; ils vivaient enfouis comme les fourmis agiles au fond d'antres sans soleil. Ils n'avaient point de signe sûr ni de l'hiver, ni du printemps fleuri ; ni de l'été riche en fruits ; ils faisaient tout sans user de leur intelligence, jusqu'au jour où je leur montrai l'art difficile de discerner les levers et les couchers des astres. J'inventai aussi pour eux la plus belle de toutes les sciences, celle du nombre, et l'assemblage des lettres, qui conserve le souvenir de toutes choses et favorise la culture des arts. Le premier aussi j'accouplai les animaux et les asservis au joug et au bât pour prendre la place des mortels dans les travaux les plus pénibles, et j'attelai au char les chevaux, dociles aux rênes, luxe dont se pare l'opulence. Nul autre que moi non plus n'inventa ces véhicules aux ailes de lin où les marins courent les mers. Voilà les inventions que j'ai imaginées en faveur des mortels et moi-même, infortuné, je ne vois aucun moyen de me délivrer de ma misère présente.* » [1]

En interrogeant notre propre raison, on peut dire que le récit métaphorique de Prométhée est vrai. Dans la notion d'économie physique développée par Lyndon LaRouche [2], l'homme, seule créature douée de cognition, doit se hisser au-delà de ses perceptions sensorielles et découvrir les principes qui composent l'Univers afin de survivre et de croître. Grâce à la découverte de tels principes, l'homme augmente son pouvoir sur l'ensemble de l'Univers, processus vivants et non vivants, du domaine microphysique au domaine astrophysique. C'est dans la détermination du mouvement des corps célestes que l'on voit cela le plus clairement. Sans une telle connaissance, la navigation maritime, l'agriculture et d'autres avancements de l'économie humaine auraient été impossibles. Toutefois, ne nous méprenons pas en considérant ces réalisations en termes pragmatiques. Dans ses recherches, l'homme trouve sa vraie nature humaine ; tous les avantages pratiques accumulés grâce à l'astronomie constituent en fait une conséquence de ce processus.

Les Anciens qui bénéficièrent de la bonté de Prométhée avaient développé des paradoxes que nous pouvons, aujourd'hui, chacun d'entre nous, recréer dans notre propre esprit. Sortons et observons le ciel pendant un jour et une nuit, ainsi que pendant une année. Observons le lever et le coucher du Soleil, les déplacement des étoiles dans le ciel, les changements dans les positions d'apparition du Soleil et des étoiles, et les déplacements plus complexes des cinq planètes que les Anciens avaient baptisées les « errantes ». Tous ces mouvements apparaissent à l'homme, prisonnier de ses sens limités, comme un enchevêtrement compliqué de changements de positions, vus comme projetés sur la surface intérieure d'une sphère. Du point de vue de la perception sensorielle, la Terre est immobile et tous les corps célestes se déplacent sur des cercles apparents. Cependant, dès que l'on considère tous ces déplacements comme Un, des anomalies surviennent, paradoxales par rapport aux notions de l'Univers préexistantes. C'est grâce à de tels paradoxes que l'homme découvre les concepts qui reflètent les véritables causes de ce qu'il voit. Comme l'écrit Kepler dans *La nouvelle astronomie* : « *La durée continue confirme que les mouvements des planètes sont circulaires. Cela tiré de l'expérience, le bon sens conjecture aussitôt que leurs circuits sont des cercles. Car on estime que le cercle est la plus parfaite des figures, la voûte céleste [le plus parfait] des corps. En réalité, l'expérience semble informer différemment ceux qui observent avec zèle : à savoir que les Planètes s'écartent de la voie de la ligne circulaire simple ; le plus grand étonnement s'élève qui pousse enfin les hommes dans les recherches des causes.* » [3]

Comment l'homme, au-delà de ses sens, arrive à la connaissance grâce à la raison, tel est le sujet implicite de tous les dialogues de Platon. Dans le *Timée*, Platon parle du Compositeur – le Créateur de l'Univers – qui a construit l'Univers selon des principes d'harmonie que sa créature la plus importante – l'homme – reconnaîtrait comme étant beaux. Comme l'a montré Philon d'Alexandrie, le philosophe juif du I^e^ siècle après J.-C., la façon dont Platon conçoit Dieu, l'homme

et la nature est absolument conforme au principe mosaïque exprimé au début du livre de la Genèse selon lequel *« l'homme est créé à l'image de Dieu »*. [4]

En ce qui concerne la science, Platon s'intéresse à la relation entre, d'une part, ce que l'on perçoit par nos sens et, d'autre part, la vérité sous-jacente que ces perceptions sensorielles reflètent. Il s'interroge également sur la façon dont la pensée trouve cette vérité.

Dans la méthode que développe Platon dans *La République*, on voit la pensée s'élever successivement de la perception des sens vers l'opinion, vers l'entendement (*dianoia*) puis vers la raison (*nous*) : *« Je disais en conséquence que les objets de ce genre sont du domaine intelligible, mais que, pour arriver à les connaître, l'âme est obligée d'avoir recours à des hypothèses : qu'elle ne procède pas alors vers un principe – puisqu'elle ne peut remonter au-delà de ses hypothèses –, mais emploie comme autant d'images les originaux du monde visible, qui ont leurs copies dans la section inférieure, et qui, par rapport à ces copies, sont regardés et estimés comme clairs et distincts. [...]*

« Comprends maintenant que j'entends par deuxième division du monde intelligible celle que la raison même atteint par la puissance de la dialectique, en faisant des hypothèses qu'elle ne regarde pas comme des principes, mais réellement comme des hypothèses, c'est-à-dire des points de départ et des tremplins pour s'élever jusqu'au principe universel qui ne suppose plus de condition ; une fois ce principe saisi, elle s'attache à toutes les conséquences qui en dépendent, et descend ainsi jusqu'à la conclusion sans avoir recours à aucune donnée sensible, mais aux seules idées, par quoi elle procède et elle aboutit. [...]

« Applique maintenant à ces quatre divisions les quatre opérations de l'âme : l'intelligence à la plus haute, la connaissance discursive à la seconde, à la troisième la foi, à la dernière l'imagination ; et range-les en ordre en leur attribuant plus ou moins d'évidence, selon que leurs objets participent plus ou moins à la vérité. »

Dans le *Timée*, Platon montre comment cette méthode de découverte se manifeste elle-même dans l'univers physique. Il explique que la délimitation sphérique de la vision humaine est conforme aux principes harmoniques inscrits dans le monde créé par le Dieu Compositeur, et les reflète précisément. * Nous avons une démonstration de cela avec les cinq solides réguliers, à la fois du point de vue de la géométrie et de la physique (**figure 1**). Platon résume les découvertes depuis Pythagore jusqu'à Théétète, à savoir que la sphère (et implicitement l'espace qu'elle reflète) n'est pas indéfiniment divisible mais est plutôt restreinte à cinq divisions parfaitement régulières, et seulement cinq. ** Cette caractéristique de la diversité de la vision humaine se manifeste elle-même dans l'univers physique par la relation des cinq solides réguliers à l'organisation de la matière. Platon affirme dans *La République* que l'astronomie est la science des solides en mouvement.

Par conséquent, l'astronome doit trouver, d'une part, les principes harmoniques dans les déplacements complexes visibles des planètes et, d'autre part, leurs causes sous-jacentes. Toutefois, ces dernières, selon Platon, ne sont pas des inter-actions mécaniques du type action-réaction mais plutôt les principes universels qui guident les mouvements. Ces principes sont une expression de l'intention du Créateur qui a composé le monde conformément à la raison. C'est cette raison que la science recherche comme cause des déplacements physiques.

Platon reconnaît néanmoins un paradoxe inhérent à l'étude de l'astronomie. Les mouvements visibles des planètes ne sont pas les mouvements réels : *« On doit considérer les ornements du ciel comme les plus beaux et les plus parfaits des objets de leur ordre, mais, puisqu'ils appartiennent au monde visible, ils sont bien inférieurs aux vrais ornements, aux mouvements selon lesquels la pure vitesse et la pure lenteur, dans le vrai nombre et toutes les vraies figures, se meuvent en relation l'une avec l'autre, et meuvent ce qui est en elles ; or ces choses sont perçues par l'intelligence et la pensée discursive et non par la vue ; [...]*

« Il faut donc, poursuivis-je, se servir des ornements du ciel ainsi que de modèles dans l'étude de ces choses invisibles, comme on ferait si l'on trouvait des dessins tracés et exécutés avec une habilité incomparable par Dédale ou par quelque autre artiste ou peintre : en les voyant, un géomètre estimerait que ce sont des chefs-d'œuvre de fini, mais il trouverait ridicule de les étudier sérieusement dans le propos d'y saisir la vérité sur les rapports des quantités égales, doubles ou autres. » [5]

La résolution de ce paradoxe ne dépend pas de ce qui se trouve dans le ciel mais dans la façon dont on pense. C'est aussi avec ce paradoxe que Platon encouragea ses élèves à chercher comment le monde physique fonctionne. De telles entreprises audacieuses ont permis les avancées d'Aristarque de Samos qui, selon Archimède, développa un concept héliocentrique du système solaire, d'Eratosthène d'Alexandrie qui détermina la rotondité de la Terre et d'Archimède dont la découverte de certains principes l'ont autorisé à affirmer : *« Donnez-moi un point*

---

* *« C'est pourquoi le dieu a tourné le monde en forme de sphère, dont les extrémités sont partout à égale distance du centre, cette forme circulaire étant la plus parfaite de toutes et la plus semblable à elle-même, car il pensait que le semblable est infiniment plus beau que le dissemblable. »* Voir note 6.

** Cela contredit le dogme aristotélicien selon lequel l'espace visible se conformerait à l'hypothèse de l'extension infinie en trois dimensions linéaires, caractérisée par les définitions, les axiomes et les postulats des *Eléments* d'Euclide. (A propos des *Eléments*, *cf.* N.B. plus bas.) Nicolas de Cues et ceux qui s'en sont inspirés comme Luca Pacioli, Léonard de Vinci, Johannes Kepler et Gottfried Leibniz, ont tous rejeté le point de vue aristotélicien. Malgré les découvertes accomplies par Kepler grâce à la méthode scientifique du Cusain, le dogme romain-aristotélicien de l'espace fut ressuscité par Isaac Newton, Leonhard Euler et Emmanuel Kant. Les travaux d'Abraham Gotthelf Kästner (leibnizien), de son élève Carl Gauss (élève de Kästner) et de Bernhard Riemann (élève de Gauss) ont porté le coup de grâce au dogme d'Aristote. Néanmoins, aujourd'hui, beaucoup de scientifiques ainsi que de profanes en la matière persistent, souvent par ignorance intellectuelle, à vénérer Newton, Euler et Kant.

N.B. Les *Eléments* d'Euclide sont une compilation des connaissances et des découvertes des travaux fondamentaux des mathématiques grecques dont, entre autres choses, la théorie des nombres irrationnels. Ces recherches culminent avec la construction des cinq solides (platoniciens) réguliers et la preuve de leur caractère unique, c'est-à-dire la démonstration que l'espace visible est délimité. Ce résultat est en soi paradoxal par rapport aux définitions, axiomes et postulats initiaux, ironie qu'auraient bien reconnue tous les collaborateurs de l'Académie de Platon mais pas bon nombre de mathématiciens d'aujourd'hui.

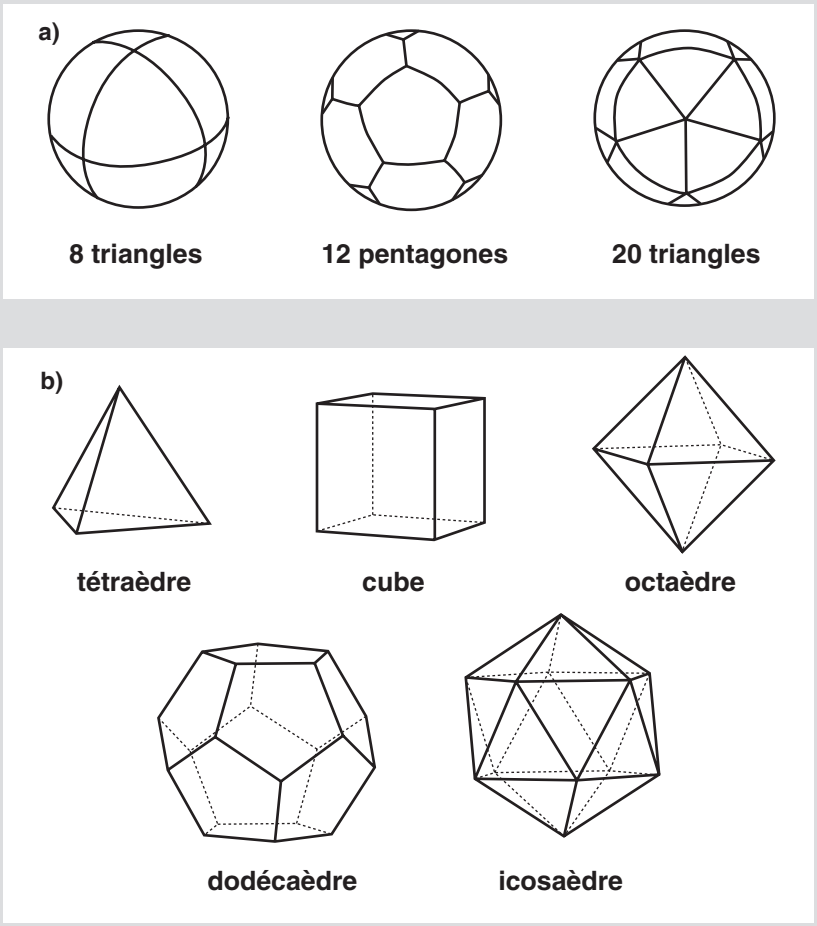


Figure 1. a) Les scientifiques grecs de Pythagore à Théétète ont découvert que la sphère pouvait être divisée en cinq façons, et seulement cinq, en particulier en 4, 8 et 20 triangles, 6 carrés et 12 pentagones. Sont représentées ici les divisions en 8 et en 20 triangles sphériques, ainsi qu'en 12 pentagones sphériques.
b) Quand on relie les sommets des cinq polygones sphériques possibles, on obtient les cinq solides réguliers. Ce sont les seuls solides composés d'un et un seul polygone équilatéral identique. La théorie grecque sur la signification de ces solides a été décrite par Platon dans le *Timée*, d'où le nom de « solides platoniciens ».

d'appui et je soulèverai le monde ! »

Toutefois, c'est aussi avec ce paradoxe qu'Aristote détourna les esprits égarés de la recherche de la vérité. Aristote considère que les pouvoirs cognitifs de l'homme sont en fait incapables de le hisser au-delà de ses perceptions sensorielles. D'après la physique d'Aristote, les lois régissant la Terre sont complètement différentes de celles régissant le Ciel. L'action physique n'est pas régie par la Raison mais est plutôt le résultat d'interactions mécaniques. L'homme, limité à la Terre, est ainsi condamné à l'ignorance absolue en ce qui concerne la nature de Dieu et de l'univers physique. Certes, il peut méditer sur ces questions mais celles-ci sont fondamentalement séparées de l'action de son esprit. Les seules vérités connaissables sont ces conclusions auxquelles on aboutit de façon déductive à partir d'un ensemble donné d'axiomes, selon les règles de la logique formelle. De telles conclusions, bien entendu, ne pourront jamais être érigées en vérités universelles car elles dépendent de la validité des axiomes dont elles découlent, et cette validité ne peut jamais être prouvée.

Cette séparation aristotélicienne entre la Terre et le Ciel, c'est-à-dire entre d'un côté l'esprit humain et, de l'autre, Dieu et le monde créé, a constitué dans l'histoire la justification philosophique pour tous les maux portés par les régimes oligarchiques. D'après ce dogme sous-jacent, la loi dans la société terrestre ne reflète pas les principes universels mais plutôt la volonté arbitraire de quiconque a le pouvoir de légiférer. Ceci est parfaitement conforme à la vision du monde oligarchique des cultes de Babylone, de l'Oracle de Delphes d'Apollon Pythien ou du culte romain de Mithra, lequel se transforma en différentes sectes pseudo-chrétiennes qualifiées en général de gnostiques.

Claude Ptolémée adopta le point de vue d'Aristote et rejeta les réalisations de l'Académie de Platon. Ainsi, il limita la connaissance à tout ce qui peut dériver d'un ensemble fixe d'axiomes par déduction logique formelle : selon les perceptions sensorielles, la Terre est fixe et immobile, tandis que les corps célestes tournent autour en des cercles parfaits. Ptolémée adopta aussi les explications mécaniques d'Aristote en ce qui concerne le mouvement des planètes, en affirmant que les cieux étaient occupés par des sphères solides et transparentes autour desquelles les planètes décrivaient de grands cercles. De tels mouvements auraient été produits par frottement entre ces globes solides, et les trajectoires erratiques des planètes auraient été régies par un demi-dieu, une sorte de « chauffeur de bus » surnaturel qui conduirait chaque planète sur son trajet.

L'assassinat d'Archimède reflète un état d'esprit lâche qui s'est développé sous l'Empire romain : la *vox populi*, ce que l'on appelle aujourd'hui l'« opinion publique ». Cette *vox populi*, comme on le voit dans le cas d'Archimède, tuera ce qu'elle ne peut comprendre et craint instinctivement.

La docte ignorance

Dans *La docte ignorance*, Nicolas de Cues présente une conception profonde de Dieu, de l'homme et de la nature. Il explique aussi comment l'esprit humain peut, grâce à la méthode de la « docte ignorance », s'élever au-delà des sens et en venir à connaître cette conception. Il serait impossible, aussi bien qu'injuste et

trompeur, de présenter cette œuvre du Cusain sous une forme résumée, et ensuite affirmer être arrivé à une représentation juste de ses idées. Toutefois, nous allons tenter ici, de manière imparfaite, d'aborder certains aspects de ce concept afin de retracer son influence sur l'astrophysique de Kepler.

Le Cusain commence ainsi : Dieu a placé dans toutes choses le désir d'exister de la meilleure manière que ce soit, et leur a donné les instruments à cette fin. Quant à l'homme, la meilleure existence est de connaître la vérité pour laquelle il a été doté des pouvoirs de cognition : *« C'est pourquoi l'intelligence saine et libre, qui, sans relâche, d'une recherche innée en elle, désire atteindre la vérité en explorant tout [...]. »* [7]

L'homme juge ce qu'il ne sait pas en établissant une relation comparative avec ce qu'il sait. Toutefois, cela constitue pour la science un paradoxe intrinsèque : *« Or, la précision des combinaisons dans les choses matérielles et l'adaptation exacte du connu à l'inconnu sont tellement au-dessus de la raison humaine que Socrate estimait qu'il ne connaissait rien, que son ignorance [...]. Si donc il en est ainsi, [...] alors que le désir que nous avons en nous n'est pas vain, il nous faut connaître notre ignorance. Si nous atteignons tout à fait ce but, nous atteindrons la docte ignorance. [...] l'on sera d'autant plus docte, que l'on saura mieux qu'on est ignorant. »*

Ainsi, c'est en connaissant la façon dont nous ne savons pas que nous pouvons accroître une connaissance moins imparfaite de la vérité.

Nicolas de Cues commence par rechercher, à travers la docte ignorance, la nature du maximum absolu, *« que la foi indubitable de toutes les nations révère aussi comme Dieu »*. Bien qu'étant unité pure, ce maximum absolu est, de par sa nature véritable, trine, comprenant l'unité, l'égalité et l'union.

Ironiquement, une des plus importantes découvertes du Cusain a été de corriger une erreur conceptuelle d'Archimède : en l'occurrence, l'impossibilité de la quadrature du cercle. Cette découverte a fourni un moyen de saisir plus clairement la relation entre Dieu, d'un côté, et l'homme et le monde créé, de l'autre. Elle a aussi établi les bases pour comprendre l'existence et la signification des grandeurs transcendantales. Ces deux concepts ont été cruciaux pour les découvertes ultérieures de Kepler. Le Cusain écrit : *« En effet, la vérité n'est pas susceptible de plus ou de moins, mais elle est d'une nature indivisible, et tout ce qui n'est pas le vrai lui-même est incapable de la mesurer avec précision ; ainsi ce qui n'est cercle ne peut pas mesurer le cercle, car son être consiste en quelque chose d'indivisible. Donc l'intelligence, qui n'est pas la vérité, ne saisit jamais la vérité avec une telle précision qu'elle ne puisse pas être saisie d'une façon plus précise par l'infini ; c'est qu'elle est à la vérité ce que le polygone est au cercle : plus grand sera le nombre des angles du polygone inscrit, plus il sera semblable au cercle, mais jamais on ne le fait égal au cercle, même lorsqu'on aura multiplié les angles à l'infini, s'il ne se résout pas en identité avec le cercle. »*

Cette incommensurabilité de la courbe par rapport à la droite fournit le moyen par lequel on saisit la relation entre le Créateur et le monde créé : le maximum absolu délimite l'Univers tout comme le cercle délimite le polygone. De même que le polygone dérive du cercle et non l'inverse, le maximum absolu développe et enveloppe l'Univers, ce dernier ne lui ressemblant qu'imparfaitement. La nature trine du maximum absolu s'exprime par conséquent dans l'Univers comme la relation entre le Créateur, le créé et l'acte de création.

Cependant, puisque l'Univers est un « maximum restreint », ces principes sont imparfaitement reflétés. A partir de ce point de vue, le Cusain dresse des conclusions spécifiques concernant la nature de l'univers physique : *« Par suite nous avons montré dans les chapitres suivants que l'égalité précise ne convient qu'à Dieu ; d'où il suit que tout ce qu'on peut me donner, si ce n'est lui-même, comporte des différences. Donc, un mouvement ne peut pas être égal à un autre, ni être la mesure d'un autre, parce que nécessairement la mesure diffère du mesuré.*

« Or, bien que ces choses te soient utiles pour une infinité de cas, si tu te tournes vers l'astronomie, tu vois que le calcul manque de précision, parce qu'il suppose que l'on puisse, d'après le mouvement du soleil, mesurer le mouvement du soleil, mesurer le mouvement de toutes les autres planètes. Même la disposition du ciel, pour ce qui est d'un endroit quelconque, ou du lever et du coucher des astres, ou de l'élévation du pôle, ou de tout ce qui a trait à ces sujets, n'est pas connaissable avec précision. Et comme il n'y a pas deux endroits qui concordent avec précision dans le temps ou dans l'espace, il est manifeste que les jugements astronomiques sont, dans leur particularité, bien loin de la précision. »

Selon ces principes, Nicolas de Cues rejette le système solaire géocentrique de Ptolémée : *« [...] c'est pourquoi il est impossible, vu les divers mouvements des astres, que le moteur du monde ait quelque chose, la terre sensible par exemple, ou l'air, ou le feu, ou n'importe quoi d'autre, pour centre fixe et immobile ; en effet, dans le mouvement, on ne parvient pas au minimum simple, comme un centre fixe, car il est nécessaire que le minimum coïncide avec le maximum. Donc le centre du monde coïnciderait avec sa circonférence.*

« [...] Donc, comme il n'est pas possible que le monde soit enfermé entre un centre matériel et une circonférence, le monde est inintelligible, lui dont le centre et la circonférence sont Dieu ; [...]

« Donc la terre, qui ne peut pas être le centre, ne peut pas être privée absolument de mouvement ; il est même nécessaire qu'elle ait un mouvement [...].

« Et, parce que nous ne pouvons saisir le mouvement que par rapport à quelque chose de fixe, pôles ou centres, et que nous présupposons ceux-ci dans les mesures de mouvements, il suit que, nous mouvant dans les conjectures nous trouvons que nous errons en tout, et nous nous étonnons quand, d'après les règles des anciens, nous ne trouvons pas les étoiles à leur place [...]. »

La dernière phrase de ce passage montre bien que le roi – Aristote – est nu. Nicolas de Cues établit ce que quiconque pouvait lui-même voir dans les cieux, à savoir que l'univers physique n'obéit pas aux hypothèses *a priori* d'un monde aristotélicien à centre fixe. Les étoiles elles-mêmes ont contraint à la découverte d'un nouveau concept pour l'homme et la nature. Plus important encore, le Cusain a démontré la méthode par laquelle l'esprit humain peut parvenir à la vraie connaissance des mouvements des corps célestes.

Kepler révolutionne l'astrophysique

La révolution opérée par le Cusain a commencé à faire reculer les thèses aristotéliciennes en astronomie. Constatant l'incompatibilité entre les véritables mouvements des planètes et ceux prévus par le système géocentrique de Ptolémée, Nicolas Copernic réintroduisit la conception héliocentrique d'Aristarque de Samos. Toutefois, la pensée aristotélicienne imprégnait encore le système copernicien. Bien qu'il ait formellement reproduit les conclusions de Nicolas de Cues, replaçant la Terre en mouvement autour du Soleil, Copernic ne réussit pas à appliquer la méthode de la docte ignorance. Avec le système copernicien, les planètes tournent toutes autour du Soleil suivant des cercles parfaits – c'est-à-dire que le mouvement non uniforme des planètes a été ramené mathématiquement à une action circulaire uniforme – malgré le fait que le Cusain avait déjà montré qu'un tel mouvement parfait n'était pas possible dans le monde créé. Encore plus fondamentalement, Copernic n'a pas totalement rompu avec cette restriction aristotélicienne : la connaissance de l'univers physique et les principes par lesquels Dieu l'a composé se situent essentiellement hors de portée de l'entendement humain. Ainsi, Copernic n'a jamais affirmé que le système héliocentrique était réellement *vrai* mais seulement qu'il fournissait un meilleur moyen d'estimation mathématique.

En 1595, Johannes Kepler produisit son premier ouvrage sur les mouvements planétaires intitulé *Mysterium cosmographicum* (*Le secret du Monde*), dans lequel il développe, grâce à la méthode de la docte ignorance, une conception révolutionnaire de la nature de l'univers physique.

Comme le sous-titre de cet ouvrage l'indique, Kepler rejeta complètement Aristote et, au lieu de simplement fournir un autre modèle mathématique, chercha *« les causes authentiques et propres du nombre des cieux, de leur grandeur et de leurs mouvements périodiques »*. Par *« causes authentiques »*, Kepler entend, tout comme Platon et Nicolas de Cues, la raison ou l'intention par laquelle Dieu composa l'Univers. Et

Johannes Kepler (1571-1630). La méthode de Nicolas de Cues dont Kepler s'inspira est tout aussi importante que les résultats auxquels il est arrivé.

c'est ce qu'annonce Kepler au début du *Mysterium* : *« Je passe sous silence le fait que mon sujet est un puissant argument en faveur de la Création, que les Philosophes [aristotéliciens, NdA] ont niée, quand nous voyons comment Dieu, à l'instar de n'importe quel architecte humain, a procédé à la création du monde avec ordre et mesure et qu'il a ainsi mesuré chaque chose, comme si ce n'était pas l'art qui imitait la Nature, mais Dieu lui-même qui avait considéré la manière de construire l'homme qui devait exister un jour. »* [8]

La citation de Kepler fait écho aux termes utilisés cent cinquante ans plus tôt par le Cusain dans *La docte ignorance* : *« Qui n'admire pas cet Ouvrier qui s'est servi dans les sphères, les étoiles et les régions des astres, d'un art tel que, dépourvues de toute précision, entièrement diverses les unes des autres, elles fussent dans un accord universel, réglant d'avance, dans un monde unique, les grandeurs des étoiles, leur place et leur mouvement, mettant les distances des étoiles dans un ordre tel que, si chaque région n'était pas comme elle est, elle ne pourrait pas être elle-même, à la place où elle est et dans l'ordre où elle est, et l'univers lui-même ne pourrait pas exister. »*

Kepler trouva que le principe d'ordonnancement déterminant le nombre des planètes, leur taille et la position de leur orbite, s'exprimait par les proportions des cinq solides parfaitement réguliers décrits par Platon dans le *Timée*. La méthode de Nicolas de Cues dont Kepler s'inspira est tout aussi importante que les résultats auxquels il est arrivé.

Comme nous l'avons déjà mentionné, rechercher les véritables causes des mouvements des corps célestes représentait déjà une avancée significative. Cependant, ce fut une révolution supplémentaire de déterminer réellement *« pourquoi c'était ainsi et pas autrement »*, comme l'écrit Kepler au début du *Mysterium*.

Pour découvrir cela, Kepler tenta d'abord de trouver des séries de nombres qui correspondraient au nombre de planètes et à la taille véritable de leur orbite. En dépit de beaucoup d'efforts, cette tentative s'avéra infructueuse. Ayant échoué, Kepler chercha le principe en deux dimensions, cherchant une série de polygones inscrits et circonscrits, dont les proportions correspondraient au nombre et à la taille des orbites planétaires réelles. Cela aussi s'avéra infructueux. Finalement, Kepler fit un pas décisif : *« Pourquoi mettre des figures planes entre des orbes solides ? Faisons plutôt intervenir des corps solides. »* C'est ainsi que Kepler découvrit que le nombre, la taille et la position des planètes visibles (à l'époque) correspondaient au principe de construction des cinq solides platoniciens (**figure 2**).

Dans le *Mysterium*, Kepler at-

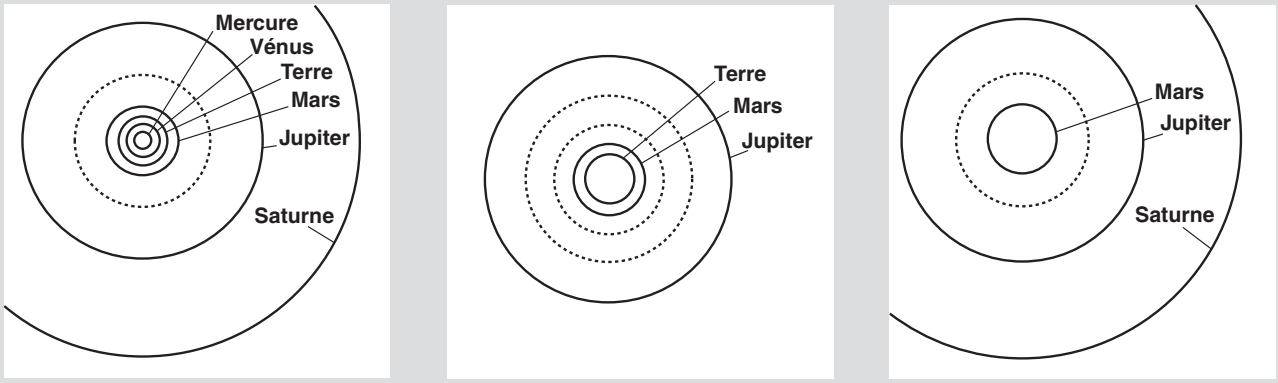
tribue directement cette découverte à la méthode du Cusain : *« Ce que Dieu créa au commencement c'était le corps, et si nous en avons la définition, on verra tout de suite, je pense, pourquoi Dieu a créé le corps et non pas autre chose au commencement. Je dis que c'est la quantité que Dieu s'est proposée, et pour l'obtenir, il lui fallait tout ce qui appartient à l'essence du corps, de telle sorte que la quantité fût une certaine forme du corps en tant que corps, en même temps que le principe de sa définition. Or si Dieu a voulu que la quantité existât avant toutes choses, c'est pour qu'il eût une comparaison entre le Courbe et le Droit. En effet, le Cusain et d'autres philosophes me semblent tout simplement divins pour la simple raison qu'ils ont fait très grand cas de la relation droit-courbe et qu'ils ont osé comparer le Courbe à Dieu et le Droit aux créatures, si bien que ceux qui tenteraient de mettre sur le même plan le Créateur et les créatures, Dieu et l'homme, les jugements divins et les jugements humains, ne feraient pas un travail beaucoup plus utile que ceux qui ont tenté d'assimiler le droit au courbe, et le cercle au carré.*

« A soi seul cela aurait suffi à établir que l'attribution des grandeurs est au pouvoir de Dieu et que le Courbe est noble ; il s'ajoute, néanmoins, une autre raison encore plus importante : c'est que l'on trouve l'image du Dieu Un-trine dans la surface sphérique, à savoir l'image du Père dans le centre, celle du Fils dans la surface et celle de l'Esprit dans l'uniformité "de relation" *entre le point [central] et la circonférence. Car les propriétés que le Cusain attribue au cercle, et que d'autres pourraient attribuer au Globe, je les attribue, quant à moi, à la seule surface sphérique. »*

Kepler a démontré que la relation transcendantale entre la courbe et la droite, mise en évidence par le Cusain, s'exprime elle-même dans la construction réelle de l'univers physique. Les découvertes ultérieures de Kepler ont montré que cette expression ne se limitait pas simplement au rôle que jouent les solides platoniciens dans la construction des cieux mais, comme le comprit déjà Nicolas de Cues, s'inscrivait dans la nature même de l'action physique.

L'astronomie nouvelle (1609) de Kepler repose sur cette manifestation plus profonde de la relation transcendantale entre la courbe et la droite. L'hypothèse polyédrique de Kepler – le nombre et la taille des orbites planétaires sont déterminés par des sphères inscrites et circonscrites autour des cinq solides platoniciens – n'était pas suffisante pour rendre compte pleinement des véritables déplacements des planètes. Les orbites obtenues à partir de cette hypothèse étaient circulaires. Les véritables mouvements planétaires indiquaient l'existence d'un autre principe, à savoir que les planètes ne se meuvent pas uniformément sur leurs orbites. On peut observer qu'elles accélèrent toujours pour atteindre une vitesse maximum puis ralentissent jusqu'à une vitesse minimum (**figure 3**).

Ptolémée, Copernic et Tycho



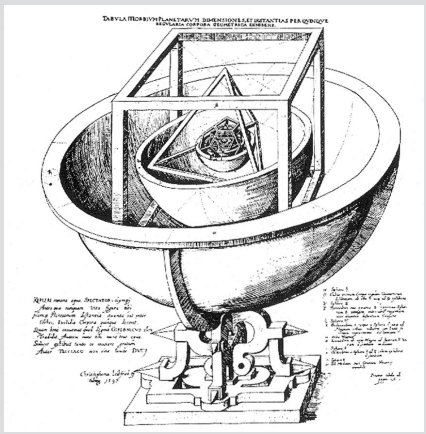


Figure 2. L'ordonnancement du nombre et de la taille des orbites des six planètes visibles à l'œil nu n'obéit pas à chaque suite de nombres ou de polygones plans. (a) Les dimensions relatives des orbites planétaires, montrées de façon heuristique. (b) Si l'on extrapole vers l'extérieur la distance entre les orbites de la Terre et de Mars, il doit alors y avoir deux orbites entre Mars et Jupiter (en pointillés). (c) Si l'on extrapole vers l'intérieur la distance entre les orbites de Saturne et Jupiter, il doit y avoir une orbite. Pourtant, en réalité, il n'existe aucune planète visible à l'œil nu à cet emplacement. Kepler a découvert que l'ordonnancement des planètes visibles correspondait à celui obtenu en inscrivant et circonscrivant des sphères autour des cinq solides platoniciens, selon l'ordre décrit dans l'illustration du *Secret du monde* (d). Kepler montra plus tard que l'anomalie entre Mars et Jupiter correspondait à une dissonance dans les relations harmoniques entre les orbites. En 1801, Carl Gauss confirma cette hypothèse quand il démontra que les orbites de cette région, illustrées en pointillés en (a), étaient « instables » et occupées par des fragments planétaires appelés aujourd'hui astéroïdes. (*Cf.* Jonathan Tennenbaum et Bruce Director, « Comment Gauss a déterminé l'orbite de Cérès », *Fusion*, n°74, 75, 76, 77.)

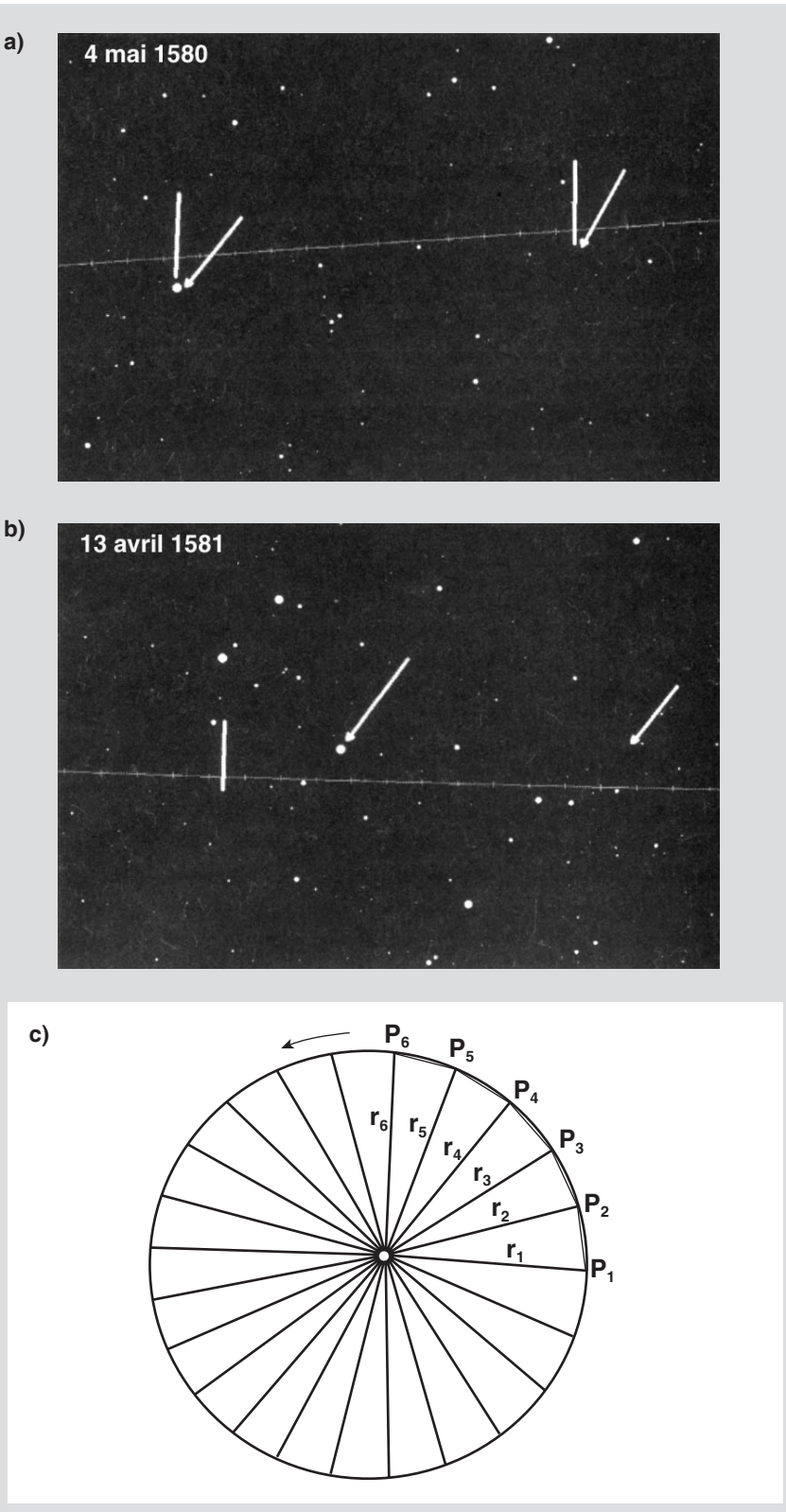


Figure 3. **L'observation attentive des mouvements des planètes montre que ceux-ci ne sont pas uniformes. Ainsi, les planètes sont constamment en train d'accélérer ou de ralentir pendant leur progression. (a) Cette figure montre deux positions de Mars, à trente jours d'écart. La distance parcourue par Mars par rapport au paysage étoilé est d'environ 18 °. (b) Deux positions de Mars, à trente jours d'écart, dans une autre section de l'orbite. Ici, Mars s'est déplacée d'environ 14 °. (c) Diagramme de la totalité de l'orbite martienne, divisée en portions égales de temps. A noter que la distance parcourue par Mars en P_1-P_2 est supérieure à celle en P_2-P_3, etc.**

Brahe, un ancien collaborateur de Kepler, ont tous calculé ce mouvement non uniforme observé comme étant le résultat d'un ensemble de cercles (**figure 4**). Ici, Kepler montra que les trois systèmes radicalement différents partageaient une erreur commune : celle qu'Aristote avait introduite. Tous les trois ont imposé *a priori* les mathématiques des cercles parfaits sur l'univers physique et, de là, ont supposé la réalité du mouvement uniforme. Kepler écrit dans l'introduction à *La nouvelle astronomie* : *« [...] ces trois Ecoles principales elles-mêmes équivaillent parfaitement dans le résultat. »*

Par conséquent, affirme Kepler, il est impossible de dire laquelle de ces trois opinions est la vraie. L'erreur commune de leurs auteurs est qu'ils supposent une structure mathématique préexistante (cercles parfaits), et obligent ensuite les observations physiques à se conformer à cette idée mathématique. Comme l'écrit Copernic dans son *Sur les révolutions des orbes célestes* : *« Le mouvement des corps célestes est régulier, circulaire et perpétuel – ou bien composé de mouvements circulaires. »* Cependant, les déplacements observés des planètes ne sont pas réguliers, alors pourquoi supposer *a priori* qu'ils doivent dériver de cercles ?

S'inspirant de Platon et du Cusain, Kepler entreprit une démarche complètement différente et révolutionnaire. Plutôt que d'obliger les observations à se conformer aux postulats préexistants, il chercha la raison physique des déplacements non uniformes observés, et ensuite adapta ses mathématiques à cette hypothèse physique : *« De vrai, toutes les choses sont à tel point enchaînées, entrelacées et confondues en tout, que je suis parvenu par de nombreuses voies essayées, les unes employées par les anciens, les autres construites à leur initiation et à leur exemple, au moyen de corriger le calcul astronomique : nul autre que celui qui s'appuie sur les causes Physiques mêmes des mouvements que je soutiens dans cet ouvrage, ne réussirait. »*

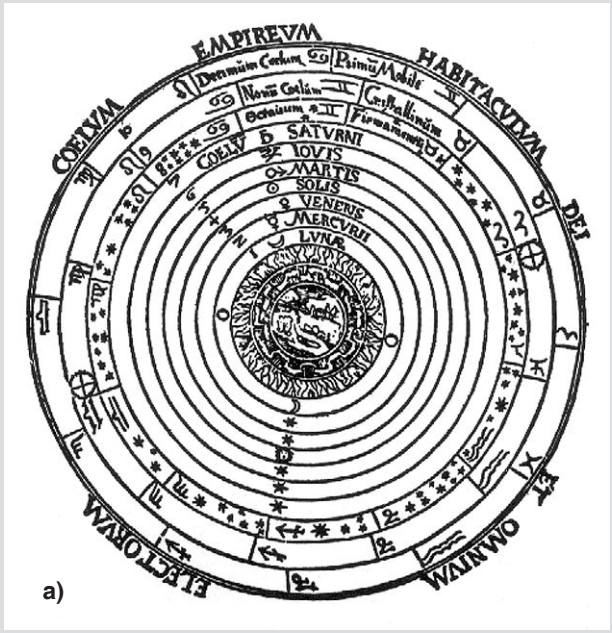
Qu'y avait-il de si terrifiant que ces planètes puissent avoir un mouvement non uniforme, au point que différents penseurs comme Ptolémée, Brahe et Copernic préférèrent rester sous l'emprise d'Aristote ? Là encore, Nicolas de Cues apporte la

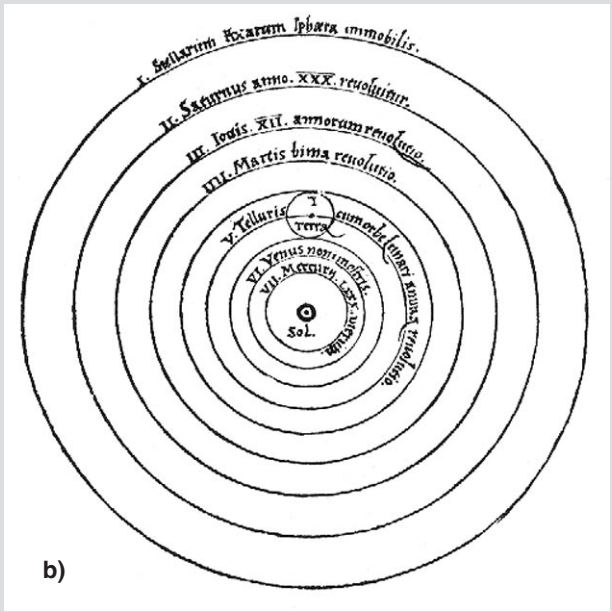
réponse.

Si les planètes se déplaçaient uniformément autour du Soleil suivant des cercles parfaits, alors chaque orbite serait régie par un principe invariable, c'est-à-dire que sa vitesse serait constante, sa distance du Soleil (ou de la Terre) serait toujours la même et sa direction serait toujours à l'angle droit d'une ligne reliant la planète au Soleil (**figure 5a**). Toutefois, si les planètes se déplaçaient de manière non uniforme, la vitesse et la direction changeraient constamment (**figure 5b**). Kepler a démontré que la relation entre, d'une part, la vitesse et la direction de la planète à chaque instant et, d'autre part, la caractéristique de l'orbite entière, dépend de ces grandeurs transcendantales découvertes par Nicolas de Cues.

Cela implique qu'une qualité de cognition, ou Esprit, régisse le mouvement de la planète. Néanmoins, comment la planète sait-elle adapter sa vitesse et sa direction à chaque moment ? Et de manière plus significative et plus effrayante pour un aristotélicien, comment l'esprit humain peut-il savoir ce que la planète sait ? Quel embarras d'imaginer que l'action des planètes dépend de ces grandeurs transcendantales, alors que Nicolas de Cues a démontré que celles-ci n'étaient pas susceptibles de calcul mathématique précis.

Ce problème n'est pas si terrible pour un penseur qui met en pratique le principe de la docte ignorance. Comme nous l'avons dit plus haut, le Cusain avait déjà établi que l'action physique ne pouvait pas se produire selon des cercles parfaits, et que le calcul précis d'un mouvement planétaire est aussi impossible que la quadrature du cercle. Plutôt que de se dérober à l'expression des grandeurs transcendantales, la docte ignorance nous apprend à nous réjouir de ce paradoxe et nous encourage à effectuer de nouvelles découvertes.





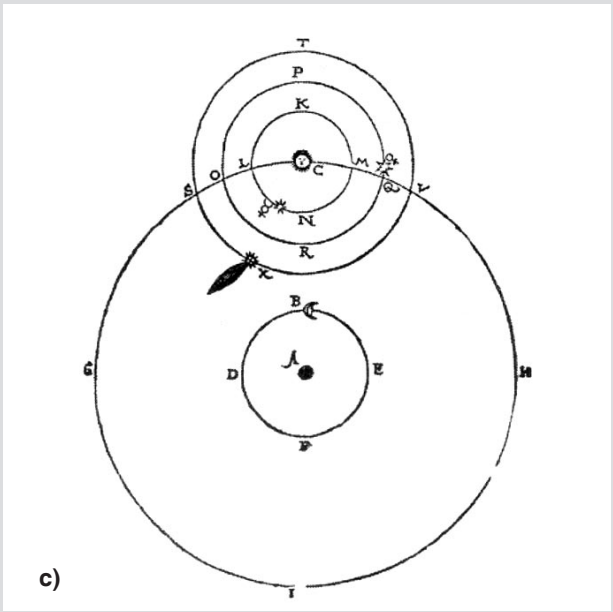


Figure 4. (a) Le système ptolémaïque : la Terre est au centre et toutes les planètes, dont le Soleil, tournent autour selon des cercles parfaits. (b) Le système copernicien : le Soleil au centre et toutes les planètes, dont la Terre, tournent autour selon des cercles parfaits. (c) Le système de Tycho Brahe : la Terre est au centre et toutes les planètes tournent autour du Soleil en des cercles parfaits, tandis que le celui-ci tourne autour de la Terre suivant un cercle parfait.
Dans *L'astronomie nouvelle*, Kepler montra que ces trois systèmes donnent exactement les mêmes résultats de calcul et, ainsi, on ne pouvait en aucune manière déterminer lequel était correct. Malgré le fait qu'ils étaient tous trois radicalement différents, ils contenaient une erreur commune : ces modèles mathématiques donnaient le déplacement des planètes sans que leur auteur s'interroge sur les causes physiques. Par conséquent, les trois modèles ont imposé les mathématiques des cercles parfaits et du mouvement uniforme alors que les observations physiques montraient autre chose.

Mais la question demeure : quel est le principe sous-jacent qui s'exprime en tant que qualité d'esprit régissant l'orbite planétaire ?

Cette qualité d'esprit n'est pas, comme l'affirmaient des aristotéliciens tel Ptolémée, un demi-dieu irrationnel résidant dans chaque planète, possédant une intelligence innée et capable d'action arbitraire. Au contraire, chaque planète agit comme si elle avait un esprit, parce que son action exprime une intention des principes sous-jacents régissant l'univers dans son ensemble. Autrement dit, le mouvement planétaire exprime l'intention de l'esprit divin, dont les intentions régissent aussi l'esprit humain, créé à l'image de Dieu.

Ce concept keplérien d'esprit est fidèle à la pensée de Platon et du Cusain. Par exemple, dans *La docte ignorance*, Nicolas de Cues fait revivre le concept platonicien d'esprit, en le replaçant du point de vue du christianisme et en le débarrassant de l'influence d'Aristote sur les néoplatoniciens médiévaux qui, du temps du Cusain, furent les principaux interprètes du platonisme : *« Tous les sages sont d'accord sur ce point que le pouvoir être ne peut être amené à l'être en acte que par l'être en acte, car il ne peut aucunement s'amener lui-même à être en acte, sans quoi il serait sa propre cause ; en effet il serait avant que d'être ; [...] Cette nature supérieure les uns l'ont appelée esprit, d'autres intelligence, d'autres âme du monde, d'autres destin dans la substance, d'autres, comme les platoniciens, nécessité de complexion ; [...]*

« Mais les platoniciens pensaient qu'il existait des modèles de ce genre, distincts dans la nécessité de complexion, multiples, soumis à l'ordre naturel ; sans doute ils sont de par une raison unique infinie, dans laquelle tout est un, mais, croyaient-ils, ce n'est pas cette raison qui a créé ces modèles, mais ils descendent d'elle de façon telle que jamais il ne fut vrai de dire : "Dieu est", sans qu'il fût aussi vrai de dire : "L'âme du monde est" ; celle-ci, affirmaient-ils, est un développement de l'esprit divin ; et, ainsi, toutes les choses, qui sont en Dieu un modèle unique sont dans l'âme du monde multiples et distinctes ; [...]

« Beaucoup de penseurs chrétiens se sont reposés dans cette voie platonicienne ; et, surtout parce que la raison de la pierre est autre que celle de l'homme, et qu'en Dieu il n'y a ni distinction ni aliété, ils tenaient pour nécessaire que ces raisons distinctes, selon lesquelles les choses sont distinctes, vinssent après Dieu et avant les choses, parce que la raison précède la chose ; il en est ainsi dans l'intelligence qui commande aux mondes ; [...]

« Les platoniciens ont parlé avec beaucoup de finesse et de raison, et les reproches que leur fait Aristote manquent tout à fait de raison : il s'est efforcé de les réfuter en épluchant leurs mots plutôt qu'en creusant le noyau de leur doctrine. Mais nous allons chercher, par la docte ignorance, laquelle des deux thèses est la plus vraie [...].

« Donc il faut comprendre tout cela avec pénétration : l'âme du monde doit être considérée comme une forme universelle qui enferme en elle toutes les formes, qui n'existe en acte que d'une façon restreinte dans les choses, qui, dans n'importe quelle chose, est une forme restreinte de la chose, comme on l'a dit plus haut de l'univers. Donc, Dieu est la cause efficiente, finale et formelle de toutes choses, lui qui réalise dans un Verbe toutes les choses aussi diverses entre elles que possible et il ne peut y avoir aucune créature qui ne soit pas

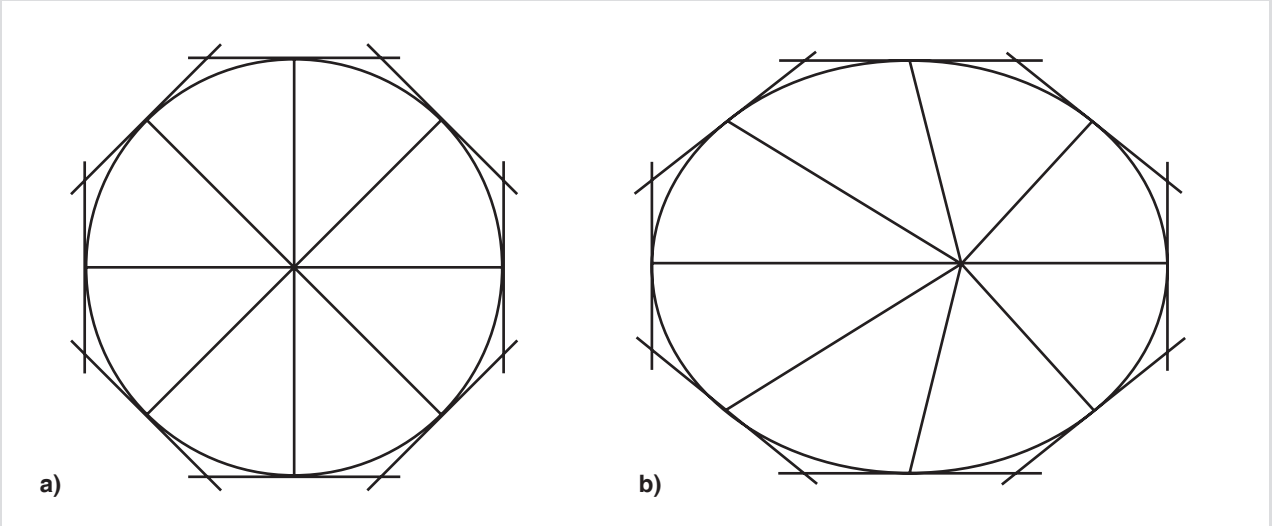


Figure 5. (a) L'action circulaire uniforme. La direction de la planète, représentée par les tangentes au cercle, est toujours perpendiculaire aux droites la reliant au centre de l'orbite. Pour maintenir cette orbite circulaire, il suffirait seulement de garder constante sa vitesse et sa direction. Une fois engagé sur ce trajet, il n'y a plus lieu de faire intervenir d'autres changements. (b) L'action elliptique non uniforme. Ici, la direction de la planète, représentée par l'angle formé par la tangente et la ligne la reliant au foyer de l'orbite, ainsi que sa vitesse changent constamment. Pour maintenir cette orbite, il faut à chaque moment introduire un changement – accélérer ou ralentir – et dans une mesure particulière afin de dévier sa direction. L'existence d'une telle action implique l'existence d'un principe conforme à la cognition dans l'univers physique.

diminuée par la restriction, tombant d'une chute infinie de l'œuvre de Dieu ; Dieu seul est absolu ; tous les autres êtres sont restreints. Il n'y a pas de milieu entre l'absolu et le restreint, comme se le sont imaginés ceux qui ont pensé qu'il y avait une âme du monde après Dieu et avant la restriction du monde. Seul, Dieu est l'âme et l'esprit du monde, dans la mesure où l'âme est considérée comme quelque chose d'absolu, en quoi se trouvent en acte toutes les formes des choses. Mais les philosophes n'étaient pas suffisamment renseignés sur le Verbe divin et le maximum absolu ; c'est pourquoi ils ont considéré que l'esprit, l'âme et la nécessité se trouvaient non restreints dans un développement de la nécessité absolue. »

Les harmonies : un principe encore plus fondamental

A partir de ces considérations, Kepler vint à découvrir que le mouvement non uniforme des planètes n'était pas seulement une apparence mais était le véritable mouvement physique. Ce qui l'a conduit à finalement découvrir que le principe régissant ce mouvement non uniforme était exprimé par le principe de « aires égales, temps égaux », et que les orbites étaient, dans une première approximation, elliptiques (**figure 6**).

Mais puisque l'hypothèse polyédrique de Kepler accréditait seulement les orbites circulaires, cela laissait ouverte la question suivante : quels sont les principes régissant la détermination des excentricités ?

Poursuivant plus loin la méthode du Cusain, Kepler chercha « un principe encore plus fondamental », qui expliquerait pourquoi il y a ces excentricités-là et pas d'autres.

Pour y répondre, Kepler étudia la relation entre les vitesses maximum et minimum des planètes. Il trouva que cette relation correspondait aux harmonies musicales (**figure 7**). Comme il l'a écrit dans l'introduction au Livre IV de l'*Abrégé d'astronomie copernicienne* : *« Dans les mouvements les plus éloignés de deux planètes quelconques, l'Univers a été marqué par le sceau des proportions harmoniques et, en conséquence, afin que ce sceau puisse être en accord avec les mouvements, les excentricités qui incombèrent à chaque planète devaient s'accorder. »*

Les ordonnancements harmoniques de Kepler, une fois encore, exprimaient une nouvelle manifestation de concepts avancés au départ par le Cusain. Kepler trouva que les relations entre les orbites planétaires étaient le reflet d'intervalles harmoniques et que ceux-ci dépendaient, comme les mouvements individuels des planètes, de grandeurs transcendantales. Nicolas de Cues avait anticipé ce résultat dans *La docte ignorance* : *« En musique, de la règle ne nous vient pas la précision. Aucune chose en effet ne concorde avec une autre en poids, en longueur ou en épaisseur ; il n'est pas possible de trouver des proportions harmonieuses entre les différents timbres :celui des flûtes, des cloches, des hommes et de tous les instruments, avec une précision telle qu'il ne puisse pas y en avoir de plus complète [...]. [...] Notons ici que l'harmonie maxima et la plus précise est une proportion [ratio] dans l'égalité ; or, l'homme vivant ne peut pas l'entendre dans sa chair, parce qu'elle attirerait à elle la raison [ratio] de notre âme, qui est toute raison, comme la lumière infinie attire toute lumière ; ainsi notre âme, délivrée des choses sensibles, n'entendrait pas sans un vrai ravissement, avec l'oreille de l'intelligence, l'harmonie des accords suprêmes. On peut contempler ici des choses d'une grande douceur, d'abord au sujet de l'immortalité de notre esprit intellectuel et rationnel, qui porte une raison incorruptible, dans sa nature, raison grâce à laquelle il atteint de lui-même dans la musique une image qui comporte des accords et des discordances ; et, aussi, au sujet de la joie éternelle, dans laquelle sont transportés les bienheureux, une fois purifiés des choses de ce monde. Mais c'est un autre sujet. »*

Ces paradoxes musicaux constitueront les éléments de base pour une élaboration plus complète par Jean-Sébastien Bach, dans le domaine de la composition musicale, avec son système polyphonique bien tempéré.

Kepler développa son hypothèse complète du mouvement des planètes dans *L'harmonie du Monde* (1619). En conclusion de cet ouvrage, Kepler ajouta une annexe intitulée « Epilogue concernant le Soleil par voie de conjecture », qui apporte un résumé poétique de l'évolution de ses idées depuis Pythagore jusqu'à Nicolas de Cues : *« [Elle est faite] à partir de la Musique céleste selon l'auditeur, à partir des Muses auprès du Directeur Apollon ; à partir des six Planètes tournant autour du Soleil et faisant des Harmonies, dans le centre de toutes les courses, immobile en position, pourtant tournant sur lui-même. [...]*

« [...] non seulement la Lumière dans tout le Monde, comme la vie et la chaleur à partir du cœur, comme tout mouvement à partir d'un chef et d'un moteur, mais encore inversement ceux-ci rassemblés dans le Soleil à partir de toute province du Monde, par droit royal, comme le retour d'une Harmonie très désirable, bien plus les apparences de deux mouvements ensemble se réunissant là, sont rassemblées dans une Harmonie, par l'œuvre d'une certaine pensée, [...].

« Et il [Proclus] indique en même temps par ce commencement, ce que les Pythagoriciens auraient conçu sous le mot feu [...] et en même temps il transporte tout son Hymne depuis le corps du Soleil, la lumière, la qualité sensible vers les choses intellectuelles ; et il assigna à son "être nourri de feu" (à l'ouvrier robuste du feu des Stoïciens), à son Dieu de Platon créé, à la première Pensée ou "Intelligence en soi", le siège royal dans le corps du Soleil, confondant en un seul, lui et la Créature par laquelle toutes les choses furent créées. Mais nous Chrétiens, instruits à mieux distinguer ce Discours éternel et incréé qui était "relatif à Dieu" et qui n'est contenu en aucun endroit, qui est fait dans toutes les choses, qui n'est repoussé par aucune, [...].

« [...] nous savons rechercher quelque chose de plus exact au sujet de ce qui reste au-delà de ce siège, et nous procurer les sens ou les raisons naturelles pour scruter ce que l'œil ne voit pas, ce qui n'est pas entendu par les oreilles, et nous estimons superflu ce qui ne parvient pas dans le cœur de l'homme ; en vérité nous vouons au Créateur, à son mérite, la Pensée créée et de quelque grandeur que celle-ci soit ; et nous n'introduisons pas Plutôt avec Aristote et les nations philosophes les Dieux, les Intelligences, ni les innombrables armées des Esprits Planétaires que nous ne proposons pas d'adorer ou d'évoquer par des superstitions magiques en vue

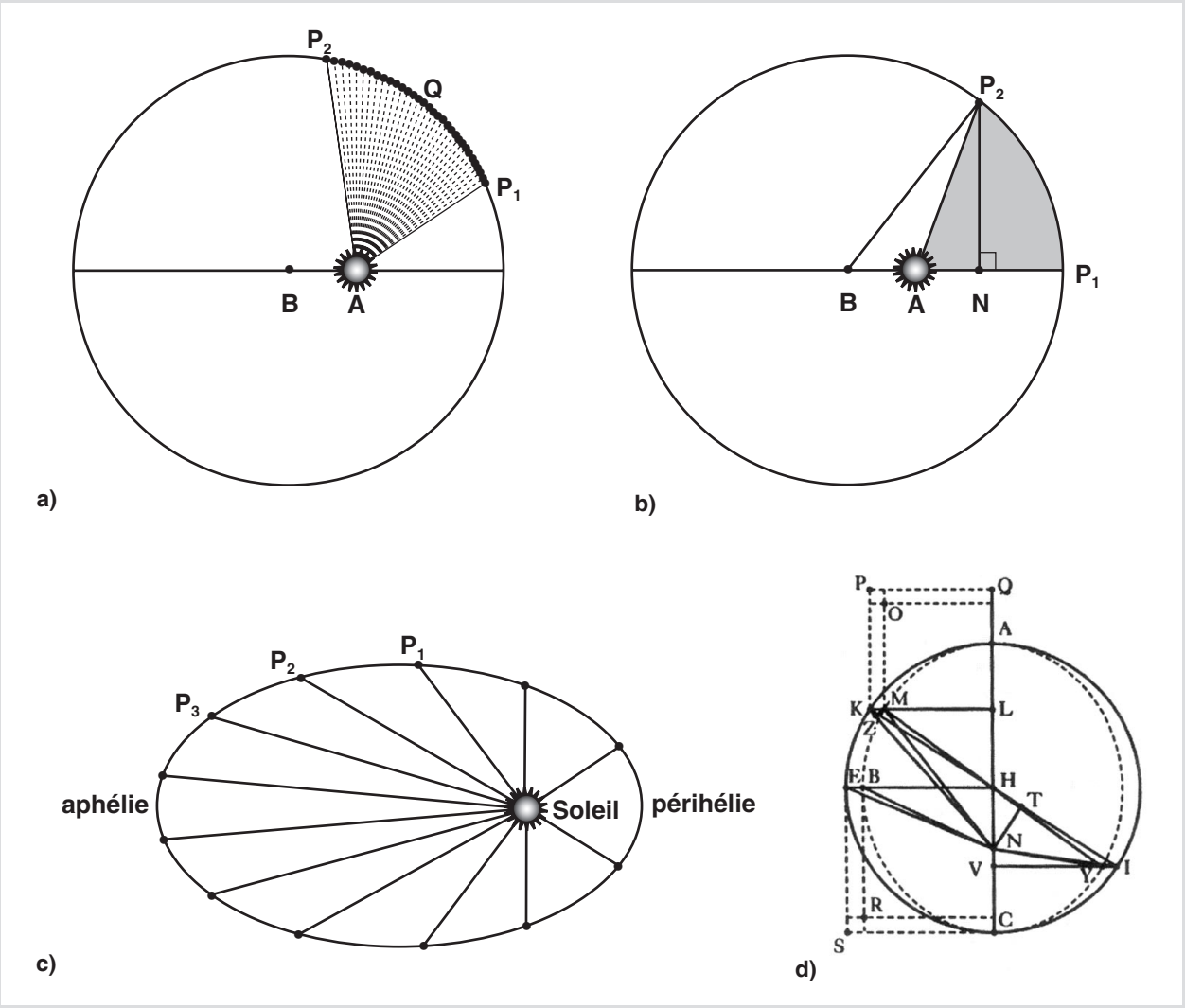


Figure 6. **La révolution accomplie par Kepler fut de faire découler les principes des mouvements planétaires de principes physiques, et non mathématiques. Kepler considérait qu'émanait du Soleil une vertu (pouvoir), dont l'intensité diminuait avec la distance, grâce auquel il entraînait toutes les planètes. Par conséquent, si une planète se déplace selon une orbite dont la distance varie par rapport au Soleil, elle doit physiquement accélérer et ralentir le long de son trajet autour du Soleil.**

a) La planète en P_1 est plus proche du Soleil A qu'en P_2. Donc, si la planète se déplace de P_1 en P_2, elle ralentira toujours. Cela veut dire que des portions égales de la période de la planète ne correspondent pas aux distances égales le long de son trajet orbital. Kepler démontra que ces portions égales correspondaient aux aires égales balayées par une ligne reliant la planète au Soleil.

b) Kepler a mesuré ces aires. L'aire balayée quand la planète se déplace de P_1 en P_2 est représentée par P_1-P_2-A. Elle est mesurée par la portion du cercle P_1-B-P_2 dont on soustrait le triangle P_2-B-A. L'aire de ce triangle est la distance BA multipliée par la hauteur P_2-N. Cependant, la droite P_2-N, comme l'a démontré le Cusain, est incommensurable avec l'arc P_1-P_2. De ce fait, le principe de mouvement planétaire non uniforme dépend de grandeurs que l'on ne peut pas précisément calculer. Ceci donna lieu au fameux « problème de Kepler » : si Kepler avait su où se situait la planète, il aurait pu calculer quelle portion de l'orbite (temps) s'était écoulée. Mais, à cause des relations transcendantales entre la droite et la courbe, il n'aurait pas pu précisément calculer où la planète se serait trouvée, une fois écoulée une quantité égale de temps. Kepler lança un appel aux géomètres futurs pour résoudre ce problème, ce qui incita Leibniz à imaginer le calcul différentiel.

La découverte initiale de Kepler du principe « à aires égales, temps égaux » a été développée avec comme hypothèse que l'orbite était circulaire et que le Soleil se trouvait en un point excentrique. Après avoir comparé ses résultats avec les observations physiques, Kepler trouva qu'il y avait une différence de 8 minutes d'arc. C'est grâce à son génie qu'il considéra cette petite différence comme une question de principe, et non une petite erreur. Il révisa par la suite tous ses travaux, et découvrit que les orbites planétaires étaient des ellipses (c).

d) Croquis de Kepler extrait de *La nouvelle astronomie*. La courbe en pointillés est une ellipse. Comme on peut le voir, cette ellipse est très proche du cercle mais, comme Nicolas de Cues l'avait prévu dans *La docte ignorance*, il n'y a pas de mouvement parfaitement circulaire dans l'Univers.

d'un commerce mutuel [...]

« Que s'il est permis en prolongeant le fil de l'analogie de parcourir les labyrinthes des mystères de la Nature, j'opine que non ineptement quelqu'un argumenterait ainsi, que ce qui est la manière d'être des six orbes pour leur [état] commun, et même le centre de tout le monde, serait la même [manière d'être] "d'une pensée pour la faculté de penser" ; de sorte que ces facultés sont distinguées par Aristote, Platon, Proclus et les autres ; et de nouveau parce qu'il [y aurait] quelque manière d'être des révolutions locales de chaque Planète autour du Soleil selon une giration "immuable" du Soleil dans l'espace qui est au milieu de tout le système ainsi il y aurait encore une manière d'être "inintelligible pour ce qui concerne l'intelligence", des multiples démarches du raisonnement pour la simple compréhension mentale.

« En effet, comme le Soleil roulé sur lui-même meut toutes les Planètes par l'apparence émise par de soi, ainsi encore la pensée, comme l'enseignent les philosophes, se comprenant soi-même, fait naître les raisonnements et toutes les choses en elle-même, expliquant et réglant sa simplicité en eux, fait comprendre toutes les choses. Et à ce point que les mouvements des Planètes autour du Soleil en leur centre et les démarches des raisonnements sont enchaînés et liés entre eux, de sorte que si ce n'est que la Terre, notre domicile n'ait mesuré le cercle des ans, milieu entre les autres orbes, changeant de lieu en lieu, de position en position, jamais le raisonnement humain ne serait parvenu aux très véritables intervalles des Planètes et aux autres choses dépendant d'eux, jamais il n'aurait établi l'Astronomie. »

Ainsi, il est convenable que quiconque souhaitant étudier l'astronomie aujourd'hui devrait commencer par essayer de connaître Nicolas de Cues, dont nous célébrons cette année le 600e anniversaire. ■

Harmonies entre deux planètes *divergentes convergentes*	Mouvements diurnes apparents	Harmonies entre les mouvements de chacune des planètes
$\frac{a}{d}=\frac{1}{3}$, $\frac{b}{c}=\frac{1}{2}$	Aphélie de Saturne 1'46'' a Périhélie 2'15'' b	1'48'' : 2'15'' = 4/5 tierce majeure
$\frac{c}{f}=\frac{1}{3}$, $\frac{d}{e}=\frac{5}{24}$	Aphélie de Jupiter 4'30'' c Périhélie 5'30'' d	4'35'' : 5'30'' = 5/6 tierce mineure
$\frac{e}{h}=\frac{1}{8}$, $\frac{f}{g}=\frac{2}{3}$	Aphélie de Mars 26'14'' e Périhélie 38'1'' f	25'21'' : 38'1'' = 2/3 quinte
$\frac{g}{k}=\frac{3}{5}$, $\frac{h}{i}=\frac{5}{8}$	Aphélie de la Terre 57'3'' g Périhélie 61'18'' h	57'28'' : 61'18'' = 15/16 demi-ton
$\frac{i}{m}=\frac{1}{4}$, $\frac{k}{l}=\frac{3}{5}$	Aphélie de Vénus 94'50'' i Périhélie 97'47'' k	94'50'' : 98'47'' = 24/25 dièse
	Aphélie de Mercure 164'0'' l Périhélie 384'0'' m	164'0'' : 394'0'' = 5/12 octave avec une tierce mineure

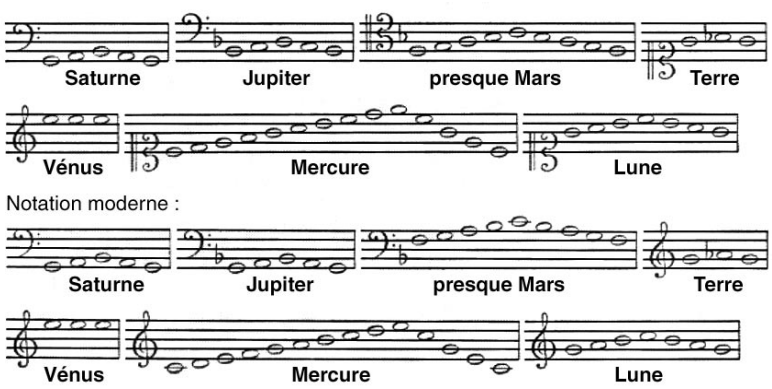


Figure 7. Après avoir découvert que les orbites planétaires étaient excentriques, Kepler chercha à découvrir un « principe plus fondamental » qui en expliquerait la raison. Il mesura la vitesse maximale de chaque planète au plus proche du Soleil (périhélie), et la vitesse minimale de chaque planète au plus loin du Soleil (aphélie), comme s'il observait ces mouvements à partir du Soleil lui-même. Ensuite, en comparant les vitesses des planètes voisines, il trouva que les rapports de ces intervalles correspondaient à ceux que l'homme considère comme harmoniques dans les compositions musicales. Le tableau montre les rapports au périhélie et à l'aphélie. Tirées de *L'harmonie du monde,* on peut voir ci-dessous leurs représentations sous forme d'intervalles musicaux.

Références

1. Eschyle, « Prométhée enchaîné » in *Théâtre complet*, traduction d'Emile Chambry, Garnier Flammarion, 1964.
2. Lyndon LaRouche, *Now, Are You Ready To Learn Economics ?*, Washington DC, EIR News Service, 2000.
3. Jean Kepler, *L'astronomie nouvelle*, traduction de Jean Peyroux, A. Blanchard, 1979.
4. Philon d'Alexandrie, *De opificio mundi*, Editions du Cerf.
5. Platon, *La République*, traduction de Robert Baccou, Garnier Flammarion, 1966.
6. Platon, *Le Timée*, traduction d'Emile Chambry, Garnier Flammarion, 1969.
7. Nicolas de Cusa, *De la docte ignorance*, Ed. de la Maisnie, 1979.
8. Johannes Kepler, *Le secret du monde*, traduction d'Alain Segonds, Gallimard, 1984.
9. Johannes Kepler, *Abrégé d'astronomie copernicienne*, traduction de Jean Peyroux, A. Blanchard, 1988.
10. Johannes Kepler, *L'harmonie du monde*, traduction de Jean Peyroux, A. Blanchard, 1979.