

## II. SCIENCES PHILOSOPHIQUES ET SOCIOLOGIQUES

---

### Philosophie de la connaissance

M. Jules VUILLEMIN, professeur

Le cours du lundi a porté sur la notion de signe. J'y ai développé les thèmes esquissés dans l'article : « Caractère et fonctions des signes » (voir *Annuaire du Collège de France 1977-1978*, p. 442).

Le séminaire du mardi a prolongé le cours de l'an dernier sur « Astronomie et métaphysique d'Eudoxe à Képler ».

J'ai moi-même analysé le livre d'O. NEUGEBAUER, *A history of ancient mathematical astronomy*, in three Parts, Springer, Berlin-Heidelberg, New York, 1975. Cet ouvrage important comporte, en particulier, un exposé de l'astronomie babylonienne, sorte de science arithmétique sans hypothèse théorique, véritable science selon les critères positivistes d'Auguste COMTE. J'ai, à ce propos, rédigé des « Remarques sur quelques ressemblances entre l'astronomie babylonienne et la physique stoïcienne », article qui n'est d'ailleurs pas encore prêt pour une publication.

Vers la fin du séminaire, j'ai d'autre part traité de l'analogie copernicienne dans la philosophie de Kant et tenté de montrer que, dès qu'on rend cette analogie précise, la solution que Kant apporte au problème de la connaissance cesse d'être unique. Cet exposé est repris dans un article publié dans la revue *Manuscrito* de l'Université de Campinas (Brésil).

J. V.

Voici les résumés des exposés faits au cours du séminaire.

## I. LA THEORIE PTOLEMAIQUE ET L'ASTRONOMIE ARABE

(Henri HUGONNARD-ROCHE)

La théorie astronomique de Ptolémée n'a pas cessé de susciter des critiques chez les astronomes arabes. Mais ces critiques ne se fondent pas sur de nouvelles observations et elles ne touchent pas les paramètres calculés par Ptolémée. Elles dérivent de considérations portant sur le désaccord entre les schémas géométriques élaborés dans l'*Almageste* pour rendre compte des mouvements planétaires d'une part, et les principes physiques et cosmologiques tirés d'Aristote d'autre part. En fait, les astronomes arabes (et, au premier rang d'entre eux, ceux de l'école de Maragha : Nasir al-Din al-Tusi et Qutb al-Din al-Shirazi, ainsi que Ibn al-Shatir de Damas) cherchent à préserver les résultats atteints par Ptolémée tout en purgeant ses modèles géométriques de leur défaut principal : l'équant y viole, en effet, le principe, qui remonte à Platon, selon lequel tout mouvement céleste doit être circulaire et uniforme ou composé exclusivement de mouvements circulaires et uniformes. Les astronomes arabes s'efforcent donc de construire des modèles géométriques qui ne comportent que des vitesses angulaires uniformes et qui produisent, pour les planètes, les mêmes positions en longitude, aux mêmes moments, que les modèles ptoléméens. Leurs innovations se réduisent ainsi, pour l'essentiel, au travail mathématique d'approximation de la courbe résultant du schéma ptoléméen, pour une planète donnée, par une autre courbe produite par un schéma nouveau ne comportant que des cercles mus de vitesses angulaires uniformes. L'avantage de ces nouveaux modèles n'est pas astronomique, mais physique : pour chacune des planètes, le centre des mouvements se confond avec le centre des vitesses. Le centre de l'ensemble des modèles planétaires reste la terre, mais il suffit de transférer ce centre au soleil pour faire apparaître entre les théories planétaires arabes et la théorie copernicienne des similitudes remarquables que l'on peut exprimer en termes d'addition des rayons vecteurs des cercles astronomiques (compte tenu de la commutativité de l'addition des vecteurs) : de façon générale, on peut dire que Copernic, comme Ibn al-Shatir et les astronomes de Maragha, remplace l'équant par des vecteurs dont la somme des grandeurs scalaires est égale à l'excentricité de l'équant.

Dans ces critiques anti-ptoléméennes, c'est au seul principe du mouvement circulaire uniforme que se réduit, à peu près, toute la physique. Plus exigeants, certains arabes d'Occident ont rejeté les cercles excentriques et épicycles eux-mêmes comme de pures fictions mathématiques. D'une astronomie qui se contente de sauver les apparences, Averroès n'est pas satisfait

et il exige que la science des mouvements célestes tire ses principes de la physique. Cette critique aboutit à l'astronomie homocentrique d'al-Bitruji, la seule qui représente une véritable tentative pour harmoniser l'astronomie de Ptolémée et la physique d'Aristote. Al-Bitruji, lui aussi, conserve les paramètres de Ptolémée, mais il construit à partir d'eux des schémas géométriques sphériques tous centrés sur la terre et animés de mouvements circulaires uniformes. Mais, à la différence des modèles élaborés par Ibn al-Shatir et les astronomes de Maragha, le système d'al-Bitruji ne donne qu'une image qualitative des mouvements célestes et il ne permet pas la construction de tables astronomiques.

En conclusion, les astronomes arabes ne cherchent en général qu'à « sauver Ptolémée », c'est-à-dire à reproduire ses résultats à l'aide de schémas géométriques différents qui satisfont au réquisit du mouvement circulaire uniforme. Lorsque les exigences physiques sont plus fortes, avec al-Bitruji, l'astronomie échoue à sauver les phénomènes. La physique aristotélicienne est donc décidément incompatible avec l'astronomie ptoléméenne, mais celle-ci a pour elle l'avantage de permettre le calcul et la prédiction, et son seul défaut réside dans le caractère *ad hoc* de ses constructions qui ne forment pas un système unifié et simple.

## II. L'ASTRONOMIE ET LA PHILOSOPHIE A L'UNIVERSITE DE CRACOVIE AU XV<sup>e</sup> SIECLE

(P. CZARTORYSKI, Académie polonaise des sciences, Varsovie)

*Cadre historique* : L'Université de Cracovie a été fondée en 1364 et réformée en 1400 ; l'enseignement à la Faculté des Arts libéraux porte sur les lettres (grammaire, rhétorique, poétique, etc.), la philosophie (commentaires aux diverses œuvres d'Aristote) et les sciences exactes (mathématiques, optique, astronomie). Chaque semestre, les cours de philosophie et de lettres sont tirés au sort parmi les maîtres ; il n'y a donc point de spécialisation. Mais, grâce à une chaire d'astronomie, fondée vers 1406 par Jean Stobner, et à une chaire d'astrologie, fondée par Martin Rex en 1454, la spécialisation est possible dans le domaine des sciences exactes. Environ 200 manuscrits de contenu astronomique et environ 300 manuscrits contenant des commentaires sur les œuvres d'Aristote conservés jusqu'à nos jours attestent l'intense activité de l'université de Cracovie.

*Philosophie* : Dans la période 1410-1460, l'interprétation d'Aristote dans l'esprit du nominaliste parisien Jean Buridan (mort vers 1358) domine. L'influence de ce maître est due à une migration des disciples de Buridan de Paris à Prague vers 1360 et ensuite, à cause de la crise hussite, à une migration des maîtres de Prague à Cracovie. Benoît Hesse a composé à Cra-

covie, vers 1430, le commentaire le plus important sur la *Physique* d'Aristote. Après 1460, le Buridanisme (appelé aussi « *via modernorum* ») cède la place à une interprétation plus traditionnelle, appelée « *via antiquorum* » et maintenue dans la tradition de saint Thomas d'Aquin et Albert le Grand ; elle est représentée par les commentaires de Jean Versor de Cologne.

Les points essentiels de la « physique nouvelle » de Buridan sont les suivants :

*Théorie de l'impetus.* D'après Aristote, chaque mouvement tend vers le « *locus naturalis* » de l'objet donné ; des facteurs violents et contraires à la nature peuvent changer sa direction pour un temps limité. D'après Buridan, l'« *impetus* » donné par le « jeteur » (par exemple la main qui jette une pierre) est une force motrice permanente, qui continuerait à l'infini, si elle n'était pas contrariée par le poids de l'objet (la gravité) et par la résistance de l'air.

*Mouvement de rotation.* Il suit le même principe : les corps célestes entraînés par un « *impetus de rotation* », analogue à l'« *impetus linéaire* », une fois mis en mouvement ne s'arrêtent pas, car ils ne rencontrent pas de résistance et n'ont pas, comme les objets terrestres, à retrouver un « *locus naturalis* ».

*Rotation de la terre.* Buridan affirme qu'il est aussi probable que la terre tourne autour de son axe, ou que les étoiles tournent autour de la terre, puisque dans les deux cas, les apparences célestes sont les mêmes. Buridan lui-même choisit l'immobilité de la terre, en affirmant que c'est un choix arbitraire qu'aucun argument ne peut prouver.

Enfin, dans leurs raisonnements, les buridanistes n'utilisaient *pas de mathématique* ; pour trancher les questions, ils choisissaient les solutions les plus « probables » (notion de vraisemblance plutôt que de probabilité statistique au sens moderne), ou bien ils invoquaient « l'expérience », en l'opposant au raisonnement syllogistique.

*L'astronomie.* Un grand nombre d'instruments astronomiques, dont nous avons des descriptions exactes, servaient, semble-t-il, plutôt pour des démonstrations didactiques que pour des observations directes ; les tables astronomiques avaient le même usage. Il semble que Copernic ait été le premier, ou un des premiers, à construire ses instruments d'après les descriptions de Ptolémée et à s'en servir pour observer le ciel. Il est essentiel de savoir que l'*Almageste* de Ptolémée, bien que traduit en latin au XIII<sup>e</sup> siècle, était peu connu directement ; le géocentrisme était enseigné par l'intermédiaire d'un manuel simplifié : le *De sphaera* de Jean de Sacrobosco mort à Paris vers 1256). L'*Almageste* a été introduit à Cracovie après 1460 grâce aux

rapports noués entre Martin Bylica de Olkusz (propriétaire d'instruments célèbres, conservés au musée de l'université de Cracovie) et Jean Regiomontanus (mort en 1476), auteur de l'*Epitome de l'Almageste*. En effet, Regiomontanus avait publié une de ses œuvres maîtresses dirigée contre les « anciennes théories » sous forme d'un dialogue avec Bylica (1464) ; en 1467, ils avaient travaillé ensemble à calculer des tables trigonométriques, publiées ensuite par Regiomontanus. (On notera à ce propos la suite de travaux trigonométriques : Regiomontanus-Copernic-Rheticus et W. Otho, élève de Rheticus). Vers la fin du xv<sup>e</sup> siècle, Albert de Brudzevo, maître de Copernic, présente dans son *Commentariolum* un exposé d'astronomie ptoléméen.

*Conclusion.* La « vie » de l'*Almageste* », contrairement à l'opinion courante, a été assez brève ; elle va de Régimontanus, qui l'a « restauré » à Copernic, qui l'a « aboli ». Cependant l'influence de Ptolémée s'est exercée bien au-delà de Copernic. En étudiant les philosophes de Cracovie, on serait tenté d'attribuer l'origine des idées coperniciennes au buridanisme ; on retrouverait une erreur semblable chez ceux qui ont voulu trouver la source de Copernic dans le néo-platonisme italien. Bien sûr l'intérêt de l'école de Cracovie pour les observations est attesté par l'acquisition d'instruments astronomiques, bien sûr Copernic a fait un certain nombre d'observations, mais c'est plutôt dans la solide formation mathématique reçue à Cracovie qu'il faut chercher l'origine de son attitude nouvelle.

### III. COPERNIC critique d'ARISTOTE

( *De revolutionibus*, I, 7-8)

(M.P. LERNER, C.N.R.S., Paris)

C'est au chapitre 5 du livre I du *De revolutionibus orbium coelestium* que Copernic, arguant de la sphéricité de la terre, postule que le mouvement circulaire doit lui appartenir comme une conséquence de sa forme.

L'hypothèse de la rotation propre de la terre (seul mouvement envisagé ici) avait été examinée et rejetée par Aristote (*Traité du ciel*, II, 14), puis par Ptolémée (*Almageste*, I, 7) au nom de ses conséquences physiques supposées absurdes.

Copernic expose d'abord, au chapitre 7, les arguments de ces auteurs en faveur d'une terre immobile située au centre du monde. Il mentionne les principales raisons d'Aristote qui rendent la mobilité de la terre inconcevable, et fait énoncer à Ptolémée les conséquences physiques contraires à l'expérience qui rendent ce mouvement impossible.

L'examen, au chapitre 8, des arguments de Ptolémée (pour un part controuvés) ne constitue pas une réfutation. Copernic se borne à renverser

les raisons de l'astronome grec en postulant que si la terre tourne sur elle-même en 24 heures (ce qui est à démontrer), alors les phénomènes supposés découler de sa rotation ne seraient pas observés.

En revanche, bien qu'elle ne soit pas plus démonstrative que la précédente, la critique des principes d'Aristote a une toute autre portée. En effet, si la terre est mobile, les fondements même de la physique aristotélicienne sont remis en cause.

Cela est vrai tout d'abord pour la classification des mouvements établie par Aristote, que Copernic considère comme un pur acte de raison.

L'auteur du *De revolutionibus* conteste également la classification aristotélicienne des éléments, mettant en doute l'existence de l'élément feu placé par Aristote au-dessus de la région de l'air.

Enfin, en faisant se mouvoir la terre et en l'expulsant du centre du monde, Copernic rejette la définition du lourd et du léger comme qualités absolues, ainsi que la division du monde en deux régions hétérogènes, l'une sublunaire, l'autre supralunaire.

Toutes ces conséquences « physiques » de la cosmologie copernicienne sont formulées tantôt explicitement, tantôt implicitement. Elles ne sont pas rassemblées en un corps de doctrine cohérent, mais constituent seulement les éléments épars d'une critique de la physique aristotélicienne opérée à partir des propres catégories d'Aristote.

Simple jeu sans conséquence, à la limite du paradoxe ? Il semble que tel a été le sentiment des premiers lecteurs de Copernic si l'on en juge par les traités d'astronomie publiés dans les années qui ont suivi la parution du *De revolutionibus*. Il faudra un certain temps avant que la portée véritable de ces analyses apparaisse, savoir le renversement de la traditionnelle dépendance de l'astronomie vis-à-vis de la philosophie naturelle. Copernic pose comme vraie l'hypothèse héliocentrique, et montre qu'elle ne s'accorde pas avec la physique d'Aristote. Mais il ne va pas au-delà de ce constat, laissant délibérément aux « physiologues » le soin de trouver la nouvelle physique conforme à la nouvelle cosmologie. C'est la tâche qu'entreprendra Galilée en sachant exploiter et mettre en forme rigoureusement démonstrative les éléments puisés dans le livre premier du *De revolutionibus*.

#### *Bibliographie*

*De revolutionibus orbium coelestium in Nicolai Copernici opera omnia*, T. 2, Varsovie, Cracovie, 1975.

Traduction française par LERNER (M.P.), SEGONDS (A.), VERDET (J.P.), in Nicolas Copernic, *Œuvres complètes*, II, Paris-Varsovie (à paraître).

M. CLAGETT a traduit et commenté les chapitres 7 et 8 du livre premier du *De Revolutionibus* dans son ouvrage *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wisconsin, 1959), p. 610-614. Voir aussi *ibid*, p. 583-589.

Parmi les travaux récents intéressant notre sujet, voir surtout :

M. CLAVELIN, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris, 1968, p. 19-74 et 187-284.

On peut également consulter l'étude de P. MORAUX, « Copernic et Aristote » in *Platon et Aristote à la Renaissance* (XVI<sup>e</sup> colloque international de Tours), Paris 1976, p. 225-238,

#### IV. LA REVOLUTION COPERNICIENNE

(J.P. VERDET, observatoire de Paris)

Dans son apparente simplicité — en fait, il ne s'agit que de permuter dans la machinerie du monde la place de la terre et du soleil — le bouleversement copernicien est l'un des plus déconcertants de l'histoire des sciences.

— Etonnante d'abord la minceur de l'œuvre astronomique de Copernic : le *Commentariolus* (avant 1514), une seule lettre scientifique connue (1524), le *De Revolutionibus* (1543).

— Etonnantes aussi les circonstances de l'éclosion de l'œuvre de Copernic. Sur le front de l'astronomie et des sciences connexes, rien ne bouge. En particulier, aucun progrès dans les observations ne justifie l'abandon du système ptoléméen et les tables alphonsines, qui en découlent, pouvaient continuer leur bonhomme de chemin, moyennant quelques coups de pouce périodiques. D'ailleurs Tycho Brahé, qui fera gagner un facteur 10 à la précision des observations, ne sera pas copernicien, puis la découverte par Kepler de l'ellipticité des orbites rendra caduque l'astronomie pratique de Ptolémée et de Copernic.

Pourtant, il faut bien admettre qu'avec la divulgation du *De Revolutionibus*, un mouvement s'amorce qui bouleversera complètement l'astronomie et qui débouchera sur l'œuvre de Newton. Galilée et Kepler en sont les meilleurs garants. L'absence quasi-totale de documents nous interdit d'affirmer les raisons du choix de Copernic. On peut tout de même retrouver deux points fondamentaux éclairant ses convictions.

— dans le système de Copernic, malgré des comportements en apparence différents, les planètes inférieures et supérieures ont le même statut cosmologique ;

— dans le système de Copernic, distances et périodes de révolution sont liés simplement.

Voilà pour ce qui est des motivations probables du choix de l'héliocentrisme. Pour ce qui est du contenu « révolutionnaire » du système copernicien, deux points forts apparaissent.

— l'introduction du circuit annuel de la terre autour du soleil permet de nouvelles combinaisons de mouvements. Possibilité nouvelle que Kepler utilisera pour découvrir l'orbite elliptique de Mars ;

— avec Copernic, on assiste à une « inversion » des rapports de la physique et de la cosmologie. La cosmologie de Ptolémée est entièrement fondée sur la physique d'Aristote. Copernic par sa cosmologie détruit la physique d'Aristote sans pour autant en créer une nouvelle. Dès ce moment tout physicien copernicien doit choisir : ou il reste copernicien et il doit construire une nouvelle physique, ou il abandonne la cosmologie copernicienne et peut conserver la physique d'Aristote. C'est sur une telle alternative que s'ouvre le dialogue des deux grands systèmes du monde de Galilée.

Lois de la chute des corps de Galilée, lois du mouvement des planètes de Kepler et lois de la force centrifuge de Huygens, tous coperniciens convaincus, amèneront la grande synthèse de Newton : véritable naissance de l'astronomie moderne.

#### *Bibliographie*

*Galilée, dialogues et lettres choisies*, traduction de P.H. MICHEL, Paris, 1966.

*La révolution astronomique*, A. KOYRÉ, Paris, 1961.

*La philosophie naturelle de Galilée*, M. CLAVELIN, Paris, 1968.

*Des révolutions des orbés célestes*, Traduction A. KOYRÉ (livre I), Paris, 1970.

#### V. COPERNIC MAUVAIS COPERNICIEN ?

(J.P. VERDET, observatoire de Paris)

En deux passages importants de son traité astronomique, Copernic est incapable d'utiliser les avantages de son héliocentrisme :

- le passage consacré à la théorie des rétrogradations,
- le passage consacré à la théorie des latitudes.



Dans l'astronomie ptoléméenne, c'est le premier épicycle qui devait rendre compte des rétrogradations planétaires (ainsi que des variations de distances entre la terre et la planète). Le théorème de base de la théorie ptoléméenne des rétrogradations était dû à Apollonius. En voici la formulation moderne (cf. fig. 1).

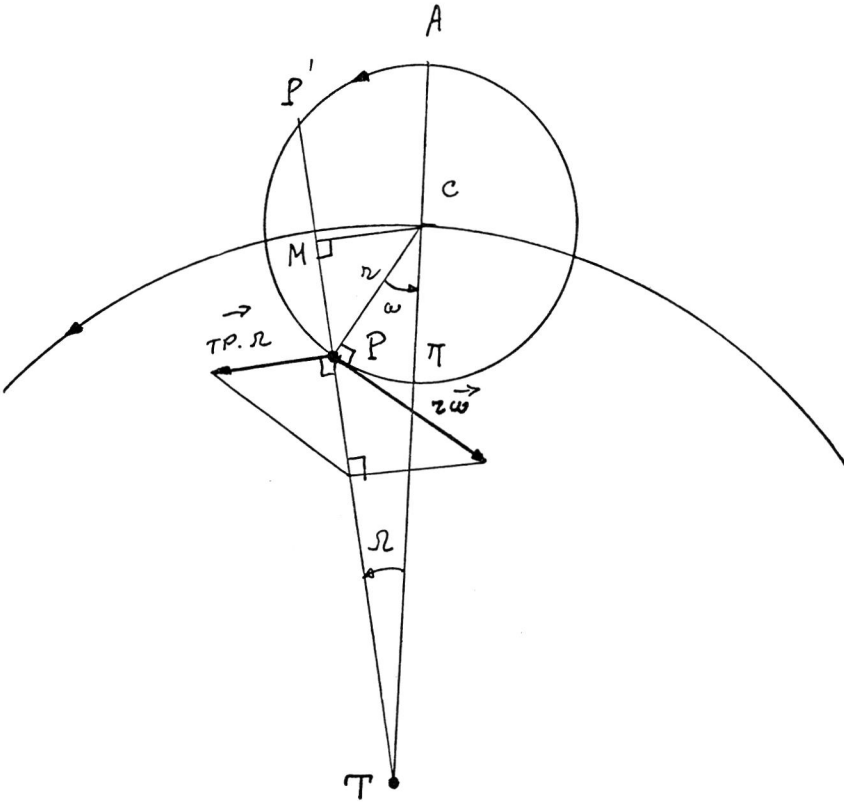


FIGURE 1

Soient  $\omega$ , la vitesse angulaire de la planète sur l'épicycle de rayon  $r$ ,  $\Omega$ , la vitesse angulaire du centre  $C$  sur le déferent de rayon  $R$ .

Si, à un instant donné, on fixe  $C$  sur le déferent, alors  $P$  aura une vitesse linéaire  $\vec{v}$ .

$$\vec{v} = r \cdot \omega$$

Si, au contraire, on fixe P sur l'épicycle, alors P aura une vitesse linéaire  $\vec{V}$ .

$$\vec{V} = TP \cdot \Omega$$

Pour que le point P, vue de T, soit stationnaire, il faut, il suffit que le parallélogramme de composition des vitesses  $\vec{v}$  et  $\vec{V}$  se referme sur la droite TPP'. Si M est le milieu de la corde PP', on a alors :

$$\frac{\vec{v}}{r} = \frac{\vec{V}}{PM} \text{ ou } \frac{r\omega}{r} = \frac{TP \cdot r}{PM}$$

soit $\frac{\omega}{r} = \frac{TP}{PM}$
---

relation donnant les moments des stations qui encadrent la rétrogration de la planète.

*Remarques.* Si Apollonius n'a pas démontré son théorème comme nous venons de le faire, ce n'est pas parce qu'il ne pouvait pas l'obtenir par un raisonnement de ce type (la composition des vitesses apparaît dans la mécanique de Héron d'Alexandrie, postérieur il est vrai à Apollonius, mais, d'après Waerden, le parallélogramme des vitesses n'était pas inconnu des Grecs au temps d'Apollonius) mais parce qu'il cherche plus que le lieu, ou l'instant, de vitesse apparente nulle : il veut montrer qu'avant cet instant le mouvement est direct et qu'après il est rétrograde.

Ptolémée ne se contente pas de recopier les démonstrations d'Apollonius, il généralise le théorème d'Apollonius au cas d'un déférent excentrique, sans cela il n'aurait été capable que de trouver les points stationnaires en tenant seulement compte de la première inégalité des mouvements liée au premier épicycle (c'est-à-dire en fait au mouvement de la terre). Ensuite il passe à quelques applications numériques et enfin dresse des tables des stations pour les différentes planètes.

Pour résumer : Ptolémée n'a pas pu déduire une théorie des rétrogradations qui découle de sa théorie des longitudes. Il lui a fallu recourir à une théorie géométrique ancienne et extérieure à l'astronomie. Cependant cette théorie géométrique était parfaitement applicable au système géocentrique (et donc à un observateur fixe au centre des mouvements) et Ptolémée a su la compléter avec beaucoup d'habileté et en tirer des tables utilisables dans le cadre de sa théorie planétaire.

Alors que Ptolémée consacre sept longs chapitres du livre XII de l'Almageste à ce problème, Copernic n'y consacre que deux très courts chapitres

de son livre V. Ce qui pourrait laisser croire que, tirant bénéfice de son héliocentrisme, qui éclaire singulièrement le problème des rétrogradations, Copernic donne une théorie nouvelle et simple tirée directement de sa théorie des longitudes. Il n'en est rien. Copernic reprend les lemmes et le théorème d'Apollonius et tente de les appliquer au cas d'un observateur mobile. Il est intéressant de noter à ce sujet qu'il débouche alors sur le système de Tycho Brahé. Puis au moment de passer à la généralisation magistralement construite par Ptolémée, la démonstration de Copernic tourne court et le dernier chapitre du livre V se termine par le paragraphe suivant :

« Néanmoins, puisque le mouvement *variable* de la planète selon le lieu d'observation entraîne une difficulté considérable et un doute au sujet des stations, et puisque le théorème d'Apollonius ne nous libère en rien, je me demande si l'on ne ferait pas mieux de rechercher simplement les stations à partir de la position la plus proche (de la planète par rapport à la terre), tout comme nous recherchons la conjonction d'une planète acronyque en partant des valeurs connues de leurs mouvements par rapport à la ligne du mouvement moyen du soleil et en les combinant. Mais nous laisserons chacun, s'il le veut, examiner cette question. »

Pour résumer : Copernic, pas plus que Ptolémée, n'a pu construire une théorie des stations et rétrogradations qui dépende directement de celle des longitudes. Le revirement marqué par le paragraphe final cité est certainement dû à l'intervention du jeune Rheticus. Il a donc été trop tardif pour être suivi d'une application pratique. C'est ce qui ressort de la confrontation de l'édition originale du *De revolutionibus*, du manuscrit autographe et du passage équivalent dans la *Narratio prima* de Rheticus. Ce passage de Rheticus est intéressant parce qu'il met en évidence la véritable barrière à une utilisation correcte concrète de l'héliocentrisme dans ce cas particulier : l'absence des concepts cinématiques essentiels, concept de vitesse mal défini, concept d'accélération totalement absent.

#### BIBLIOGRAPHIE

*De revolutionibus*, livre V, chapitres 35 et 36 (traduction M.P. LERNER, A. SEGONDS et J.P. VERDET, à paraître).

*Narratio prima*, dans *Introductions à l'astronomie de Copernic*, H. HUGONARD-ROCHE, E. ROSEN et J.P. VERDET, Paris, 1975, p. 157-158 et note p. 212-214.

*Science Awakening*, B.L. VAN DEN WAERDEN, volume I, Leyden, 1975, p. 237-240.

*A survey of the Almagest*, O. PEDERSEN, 1974, p. 329-351.

## VI. LES LOIS DE KEPLER

(J.C. PECKER, professeur au Collège de France)

Vues par un astronome contemporain, les lois de Képler se déduisent sans difficulté des lois de l'attraction newtonienne, — et la réciproque est vraie.

Képler ignorait, lui, les lois de la gravitation. Mais la force de ses travaux était quand même de présupposer une dynamique, et de considérer que les planètes et le Soleil étaient des points matériels, dont le mouvement était commandé par des lois physiques.

L'idée de considérer le Soleil comme le moteur donnait à notre étoile un rôle de créateur d'une force centrale : ce seul fait suffit, actuellement, à démontrer le caractère plan de la trajectoire et la loi des aires. Képler avait en effet eu l'intuition de la loi des aires, intuition donc très logique... Cette loi, découverte la première, lui permet de construire, à partir des observations, les orbites héliocentriques : pour ce faire Képler utilisait les observations des oppositions de Mars. La planète avait alors la même longitude, se projetait sur l'écliptique au même point que si elle était vue du Soleil. Un emploi remarquable de la géométrie euclidienne, et la qualité des observations de Tycho permirent à Képler (qui cherchait une orbite circulaire, excentrée, dont l'équant ne serait pas nécessairement — hypothèses vicaria — symétrique du Soleil par rapport au centre du cercle-orbite, contrairement à la construction ptolémaïque) de tracer, point par point, l'orbite de Mars, dans son plan. Ce ne pouvait être un cercle ; la mesure de la « lunule », et des remarques fortuites faites sur des constructions euclidiennes, l'amènent à l'ellipse, décrite par son équation en coordonnées polaires. C'est la « première loi » ; l'équation même implique que le centre des aires (Soleil) soit le foyer de l'ellipse : c'est une conséquence du caractère central des forces exercée par le grand luminaire.

Cela pouvait donc être trouvé, malgré l'erreur de Képler, qui consistait à admettre  $F = k/r$  et  $v = KF$  (pour la force  $F$  agissant sur la planète à la distance  $r$ , et la vitesse de cette planète sur l'orbite).

Il n'est pas exclu qu'une combinaison de cette loi, et de la décroissance en  $1/r^2$  du flot lumineux (connue de Képler), ait mené, quinze années plus tard, à la découverte de la troisième loi :  $T = A a^{3/2}$  (où la constante  $A$  est la même pour toutes les planètes). La plupart des auteurs penchent pour un tâtonnement ; Képler lui-même parle plutôt d'une illumination.

## VII. L'IDEE D'HARMONIE CHEZ KEPLER

(Fernando GIL, Hautes Etudes)

Dans l'*Harmonice Mundi* s'expriment et coexistent des projets scientifiques différents qui ne se recoupent qu'en partie. Indépendamment de la mise en cause de la pensée harmonique par la physique mathématique, on constate dans l'œuvre de Képler une transformation très sensible de l'idée d'harmonie. Cela est tout d'abord rendu possible par la refonte, à laquelle procède Képler, de la théorie gréco-médiévale et renaissance de l'harmonie, à la fois dans le sens d'une mathématisation très poussée, et de la dépendance de l'harmonie à l'égard de l'*experientia*. Par là, la théorie harmonique, sans pour autant devenir une pure construction mathématique, s'avèrera une « forme » plutôt qu'une somme de connaissances relatives à des objets particuliers. Dans ces termes, elle pourra, d'une part, accueillir des préoccupations étrangères à la tradition musicale et astronomique, et, d'autre part, constituer elle-même un motif pour des recherches originales. Et, effectivement, l'harmonie képlerienne est un point de départ pour des travaux et des découvertes (en matière de constructibilité des polygones réguliers, de la théorie des polyèdres réguliers et semi-réguliers, ou de la théorie des consonances musicales). Et elle représente aussi le lieu de l'articulation de certains projets, ou intentions, scientifiques, pour lesquels Képler ne disposait cependant pas d'instruments conceptuels appropriés. Notamment : une étude mathématique des formes naturelles (encore en rapport étroit avec l'harmonie au sens strict), et, sous couvert d'« astrologie » et à partir d'une théorie, explicitement développée, de la connaissance des harmonies, l'étude de la vie, des relations et des activités humaines, de l'organisation sociale et de l'Etat. L'harmonie képlerienne consisterait ainsi dans un système universel, s'appliquant à l'homme comme à la nature, de relations *significatives*, qui par ailleurs représente peut-être un effort de rationalisation de la sémiotique « sauvage » caractéristique d'un versant de la Renaissance.

## VII. REVOLUTION COPERNICIENNE ET PHILOSOPHIE KANTIENNE

(J. VUILLEMIN)

La notion ptolémaïque d'apparence est réfractaire à l'analyse. L'astronomie copernicienne, en revanche, permet de distinguer entre apparence illusoire et apparence vraie (qui serait vue du centre immobile du Soleil).

La révolution copernicienne fournit à la philosophie kantienne son analogie ; il faut distinguer l'apparence (*Schein*) et le phénomène (*Erscheinung*) ou apparence vraie. L'analogie réelle est :

$$\frac{\text{centre de perception des apparences}}{\text{centre de perception des phénomènes}} = \frac{\text{formes de l'intuition}}{\text{principe de la possibilité de l'expérience}}$$

On s'interroge sur le caractère obligé et unique de l'analogie kantienne, qui fait dépendre l'illusion métaphysique regardant l'inconditionné de la distinction entre apparence et phénomène.

Une autre analogie serait possible si, comme on le suggère, cette dépendance n'est pas démontrée.

#### PUBLICATIONS

— « L'analogie mathématique de la philosophie critique », Manuscrito, vol. II, n° 1, São Paulo, 1978, p. 79-88.

— « Kant hoje », *Ciência e Filosofia*, n° 1, São Paulo, 1979, p. 141-159.

— « L'argument dominateur », *Revue de métaphysique et de morale*, n° 2, 1979, p. 225-257.

— Articles : « Concept », « Etre », « Existence », « Forme », « Idée », « Idéologie », *Enciclopedia Einaudi*, t. I-t. VI.

— « La raison au regard de l'instauration et du développement scientifiques », in *La Rationalité aujourd'hui*, ed. Th. Geraets, Ed. de l'Université d'Ottawa, Ottawa, 1979, p. 67-84.

#### MISSIONS

— Conférence au Séminaire sur les fondements des sciences de Strasbourg.

— Conférences aux Universités de Gênes, Bologne, Padoue (mars 1979).

— Participation au colloque de Dubvronic (mars-avril 1979).

— Conférence à la réunion en l'honneur de L.W. BECK à l'Université de Rochester (12-14 avril 1979).

— Conférence à l'Université d'Aix-en-Provence.

— Co-organisateur et participant du colloque franco-allemand de Porquerolles (septembre 1979).