

Johannes KEPLER (1571 - 1630)

2. L'"Astronomie nouvelle"

L'année 1600 représente une coupure dans la vie et dans l'oeuvre de Kepler. Avant 1600, années de formation déjà prometteuses : après 1600, la maturité et les grandes découvertes. En 1600, des circonstances humainement malheureuses qui seront scientifiquement favorables.

Persécutions

===== Le 17 février 1600, Giordano Bruno est excommunié et brûlé vif à Rome, après 16 années de captivité pour avoir proclamé que l'Univers est infini et que les orbites des planètes sont centrées sur le Soleil.

Jusqu'en 1596, Tycho Brahé a bénéficié de la protection et des subsides du roi Frédéric de Danemark. Le successeur de ce dernier, Christian IV, est moins tolérant et moins généreux. Tycho doit quitter Uraniborg en 1597 et en juin 1599, il se réfugie à Prague où l'empereur Rodolphe II le nomme mathématicien impérial aux appointements fabuleux de 3000 florins (Kepler en gagnait 200 à Graz) et lui prête le château de Benatek, à 35 km de Prague pour poursuivre ses observations

En 1598, Kepler qui a déjà échangé une correspondance avec Tycho, doit quitter Graz où les Protestants ne sont plus tolérés. Le 4 février 1600, invité par Tycho, il arrive à Benatek. Voir le récit de son séjour et des relations difficiles entre Kepler et Tycho dans "Les Somnambules" par A.Koestler. Le conflit entre les deux hommes était inévitable, deux tempéraments différents, l'un de théoricien, l'autre d'observateur et des conceptions opposées : Kepler, copernicien convaincu, ne pouvait accepter la solution adoptée par Tycho (orbites de la Lune et du Soleil centrées sur la Terre, orbites des planètes centrées sur le Soleil).

Mais Tycho meurt d'une indigestion le 13 octobre 1601. Kepler est nommé Mathématicien Impérial. Surtout, il dispose des observations recueillies par Tycho pendant toute sa vie. La grande recherche va commencer.

[Si nous avons insisté sur ces circonstances extérieures à la science, ce n'est pas pour justifier a posteriori les persécutions religieuses ou les restrictions de crédit

pour la recherche. Mais pour souligner que la grande "révolution astronomique" s'est produite dans un climat social et politique de crise et que le rapprochement avec la Relativité et quanta dans la période des deux guerres mondiales nous paraît s'imposer.]

Le plan de l'orbite de Mars

===== Le problème qui intéresse Kepler est celui de l'orbite de Mars. La théorie élaborée par Tycho Brahe et Longomontanus, basée sur les mesures effectuées lors de dix oppositions de la planète fournissait la longitude de Mars à 2' près mais échouait pour les latitudes. Kepler reprend cette théorie et montre qu'en rapportant les mesures au Soleil vrai (et non au centre de l'orbite terrestre comme le faisait Copernic) :

- 1) le plan de l'orbite de Mars est incliné de $1^{\circ}50'$ sur le plan de l'écliptique ;
- 2) ce plan passe par le Soleil vrai ;
- 3) cette inclinaison est constante.

Si cette inclinaison avait paru variable à Tycho c'est que le plan était supposé passer par le centre de l'orbite terrestre. Kepler met donc en évidence un des avantages de l'héliocentrisme.

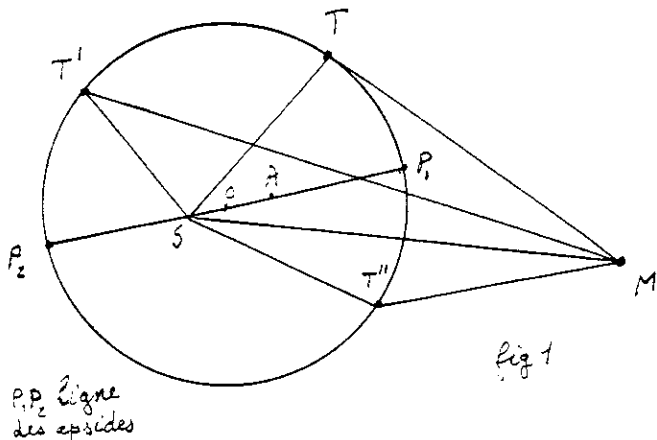
Dans le même travail, toujours préoccupé par le mouvement de la planète, Kepler reprend, sous le nom d'hypothèse suppléante, l'idée du point équant inventée par Ptolémée. En plaçant ce point équant A symétrique du Soleil par rapport au centre de l'orbite, le rayon vecteur AM du point équant à la planète tourne presque uniformément. Calculs longs et pénibles (15 pages in-folio), mais que le lecteur ne se plaigne pas si cela lui paraît fastidieux ; lui, Kepler, a du refaire soixante dix fois le même travail avant de parvenir à un résultat presque satisfaisant.

L'orbite de la Terre

===== L'hypothèse suppléante fournit à Kepler un instrument de travail pour reprendre à la base la théorie de Mars. Ce qui devait commencer par la révision de l'orbite de la Terre.

Pour cela, Kepler range les observations de Mars effectuées par Tycho en classes : dans une même classe, les mesures faites à 687 jours d'intervalle (la période de Mars autour du Soleil). Ces mesures correspondent donc à une

même position de Mars. Autrement dit, pour ces observations, le segment Soleil-Mars peut y être considéré comme une base fixe. Kepler connaît le rapport ST/SM des distances au Soleil de la Terre et de Mars. Les mesures de Tycho lui fournissent les angles STM (différence des longitudes du Soleil et de Mars). Il peut, à partir de cette base SM construire par points l'orbite circulaire de la Terre (fig 1).



"Je vais chercher dans les journaux d'observation de Tycho Brahe trois ou n'importe quel nombre d'observations pour lesquelles la planète se trouvait au même endroit de son excentrique, et à partir de là, au moyen de la loi des triangles (la trigonométrie), déterminer les distances au point équatorial d'un nombre égal de points de l'épicycle ou de

l'orbite de la Terre. Et comme le cercle se détermine par trois points, je vais déterminer à partir de chaque classe trois de ces observations la position du cercle et de ses apsides que j'ai provisoirement admis comme connus, ainsi que l'excentricité par rapport au point équatorial. S'il y avait encore une quatrième observation, elle pourrait servir de moyen de contrôle." (Astronomia Nova, chap XXIV ; cité par Koyré p. 182 qui ajoute : les observations choisies par Kepler sont celles du 15900305, 15920121, 15931208, 15951015).

Résultat important pour Kepler : l'hypothèse suppléante se trouve vérifiée pour l'orbite de la Terre (aux erreurs d'observation près). De plus l'excentricité de l'orbite terrestre est corrigée : 0,018 au lieu de 0,55840 donnée par Tycho. Enfin et surtout, la méthode imaginée par Kepler pourra être reprise en utilisant les positions de la Terre pour préciser l'orbite de Mars.

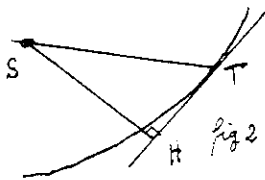
La loi du mouvement

=====
 Cependant Kepler s'intéresse d'abord au mouvement de la Terre sur l'orbite circulaire précisée comme il vient d'être dit. Sur l'action animatrice, Kepler fait l'hypothèse suivante : l'action animatrice s'exerce tangentiellement à la trajectoire et elle est inversement

proportionnelle à la distance du soleil à la terre de même que la vitesse de celle-ci sur son orbite.

La première hypothèse s'explique : pour Kepler, pas de mouvement sans moteur ; celui-ci c'est le soleil qui tourne sur lui-même et entraîne de ce fait les planètes sur leurs orbites. Par conséquent, action tangentielle. Celle-ci est inversement proportionnelle à la distance par analogie avec la lumière se propageant dans un plan : "la vertu motrice du soleil et la lumière s'accordent entièrement dans tous leurs attributs".

Pour la vitesse, Kepler n'a pas la notion de vitesse instantanée mais de vitesse moyenne durant un petit intervalle de temps. Nous savons que la vitesse de la planète sur son orbite n'est pas inversement proportionnelle à la



distance au Soleil mais inversement proportionnelle à la distance du Soleil à la tangente à l'orbite (fig 2). Mais Kepler vérifie son hypothèse lorsque SH et ST sont confondues, lors des passages de la Terre au périhélie et à l'aphélie.

Kepler entreprend alors de calculer l'aire balayée par le rayon vecteur ST : "Comme je me rendais compte que, sur l'excentrique, il y avait une infinité de points, et donc une infinité de distances, il me vint à l'esprit que la surface de l'excentrique les comprenait toutes. Car je me souviens que, jadis, Archimède, lorsqu'il cherchait le rapport de la circonférence au diamètre, avait de la même façon, découpé le cercle en une infinité de triangles." (Astr.Nova, chap XL) A ceci près, ajouterons-nous, que pour Archimède il s'agissait de rapport de longueurs et que Kepler se propose d'ajouter des longueurs pour calculer une aire.

Pourtant le résultat est correct. C'est la loi des aires : le rayon vecteur ST balaie des aires proportionnellement aux temps de parcours. La loi que l'on énonce généralement en second et qui fut, en réalité découverte la première.

Etablie, disons tant bien que mal, pour une orbite terrestre circulaire dès 1603, la loi des aires ne se

vérifiera complètement que pour les orbites elliptiques.

L'ellipse

=====
Kepler reprend alors l'étude de l'orbite de Mars en lui appliquant la loi des aires (ce qui est vrai pour la Terre l'est pour les planètes, à ses yeux). Il réunit cette fois dans une même classe les observations de Mars faites à 365 jours d'intervalle : le rayon vecteur ST sert alors de base pour construire l'orbite de Mars. Sa recherche est très laborieuse car la construction d'une orbite circulaire lui paraît finalement impossible. Alors, un ovale ? Mais lequel ? Kepler bon mathématicien essaye l'ellipse. Il vérifie enfin que la loi des aires s'y applique parfaitement.

Pourquoi fut-ce si laborieux ? Rendons-nous compte que Kepler devait rompre ici avec une longue tradition, celle des mouvements circulaires uniformes. C'est pourquoi, dans le chapitre LIX de Astronomia Nova, il lie les deux lois, celle des mouvements elliptiques et celle des aires. Malheureusement son exposé touffu est particulièrement confus. Mathématiquement, il ne disposait pas de l'analyse infinitésimale pour justifier la loi des aires. Par contre, astronomiquement, pour découvrir l'ellipticité de l'orbite de Mars, il a bénéficié de la relativement grande excentricité de celle-ci 0,09 et du fait que la précision des mesures de Tycho était assez grande pour révéler l'ellipse et pas trop grande pour que les effets des perturbations (celles dues à Jupiter en particulier) soient imperceptibles.

Astronomia Nova

=====
L'Astronomie Nouvelle paraît en avril 1609.

Une étape considérable dans l'histoire de l'astronomie et de la mécanique céleste. Nous l'avons déjà dit : Kepler, imbu des traditions et les respectant sait aussi passer outre devant l'épreuve des faits d'observation. Kepler, savant moderne, découvre la loi des aires sur le mouvement de la Terre mais il le généralise aussitôt pour toutes les planètes, ce qui lui fait découvrir la loi des ellipses.

"Pour dire les choses en un mot, ce n'est qu'avec Kepler que l'astronomie atteint le concept moderne d'orbite comme trajectoire résultant du jeu des forces qui s'exerce sur un astre."(G.Simon, p390)

K.Mizar

[la fin de ce feuillet dans le Cahier 12]