

Errants et errances

Notes pour tenter de comprendre l'histoire
de la découverte de l'attraction universelle

"Qui peut expliquer ce qu'est
l'essence de l'attraction ou
de la pesanteur ?"
Charles Darwin (Origine des espèces)

Toujours la même idée. Apprendre à relire les textes anciens, non avec nos lunettes modernes, mais avec les yeux des contemporains. Retrouver, autant que nous le pouvons, la naïveté des vrais chercheurs qui ignoraient - fallait-il qu'ils soient bornés -, ce que leurs successeurs ont découvert. Marcher avec eux, buter sur les mêmes obstacles, reconnaître avec eux les limites de leur horizon. Bref, à bonne école, apprendre à se poser de bonnes questions.

Il y a des errants

===== Dès que les hommes prirent la bonne habitude d'observer le ciel, d'y chercher "ce qui demeure" (les savants d'aujourd'hui disent les invariants) et ce qui se reproduit régulièrement dans ce qui change (des lois de transformation, une autre forme d'invariants), ils distinguèrent les astres fixes, les étoiles, qui dessinent les constellations aux formes invariables et sept objets exceptionnels, les astres errants. Parmi eux, le Soleil et la Lune, exceptions parmi les exceptions : ils ont un diamètre apparent visible à l'oeil nu. Cinq autres astres plus mystérieux, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne dont l'errance, suivie nuit après nuit, se situe comme celle des deux premiers dans une zone bien limitée, le zodiaque ; et ceci avec un mouvement compliqué de rétrogradations...

L'humanité a donc le spectacle d'un ciel permanent, celui des constellations aux figures poétiques et, d'autre part, la configuration changeante des errants. Changeante, variée, comme l'est la collection des destinées humaines. Ainsi naquit l'idée, j'imagine, de rapprocher la date de naissance d'un individu et la configuration des errants au même moment. On sait quel fut le succès des considérations astrologiques quand rien dans la connaissance des errants ne permettait d'infirmer leurs fondements. Les prétentions scientifiques de l'astrologie sont donc aujourd'hui réduites à néant mais il faut reconnaître que pour nos lointains ancêtres il était plus facile de croire à l'influence des astres qu'à celle de gènes microscopiques et insoupçonnables.

Attribuer aux mouvements des errants un rôle dans nos destinées était donc faux, c'était pourtant une bonne idée dans la mesure où elle conduisait à s'interroger sur ces mouvements. Les observer d'abord. Se poser ensuite la bonne question :

Ces errants, comment errent-ils ?

===== Pour y répondre, d'abord observer. Observer de façon de plus en plus fine : on repère la position des errants par rapport aux fixes en notant les dates. De jour en jour, de nuit en nuit, on trace des trajectoires sur les primitives cartes du ciel qui peu à peu se précisent à leur tour. Pour Hipparque, il y a plus de deux mille ans, les mesures sont assez précises pour qu'il découvre la précession des équinoxes, un décalage de 50" par an du point vernal sur l'équateur céleste.

A la fin du premier siècle de notre ère, un savant comme Ptolémée peut concevoir un système qui permet, comme on le dira encore quinze siècles plus tard, de "sauver les phénomènes". Cela signifie décrire les phénomènes : voilà ce qui se passe. Une description qui permet des prévisions, en particulier celle des éclipses.

La description est fondée sur des mesures c'est à dire un bon repérage. Dans le système de Ptolémée, la Terre qui est sphérique est au centre d'une sphère céleste, la sphère des fixes, animée comme un solide d'un mouvement de rotation qui explique l'alternance du jour et de la nuit. Et pour les errants ? Pour le Soleil et pour la Lune, pas trop de difficultés : il suffit de les placer sur des sphères concentriques aux précédentes (à peu de choses près) et de leur attribuer un mouvement de rotation propre. Pour les autres errants, les rétrogradations observées exigent des compositions plus compliquées de plusieurs mouvements de rotation (déférents et épicycles). C'est très ingénieux, mais cela reste une pure description, le pourquoi de ces mouvements est une question qui n'est pas posée.

Avec Copernic (1543), il y a changement dans le repère fixe, c'est le Soleil et non plus la Terre. Mais le principe de la description reste le même, un système de sphères emboîtées les unes dans les autres, les orbes. Il y a même, chez Copernic, une curieuse survivance géocentrique : le centre du système n'est pas le centre du Soleil mais le centre de l'orbite terrestre et, depuis Hipparque, on sait qu'il faut excentrer l'orbite apparente du Soleil donc excentrer, dans le système de Copernic, l'orbite terrestre. [Kepler, dès 1595, dans son Mystère Cosmographique, corrige cet archaïsme ; il montre que les plans des orbites planétaires passent par le centre du Soleil ; pour lui et à partir de lui, l'héliocentrisme est un fait acquis.]

Le système de Copernic est d'autant plus compliqué dans son détail que, pour "sauver les phénomènes" et en particulier pour rendre compte des rétrogradations des cinq planètes, il s'estreint à composer un ensemble de rotations uniformes. Il faut essayer de comprendre ce prix exceptionnel attribué à la rotation uniforme. **Pour Copernic comme pour tous ses prédécesseurs et beaucoup de ses successeurs, la rotation uniforme est un mouvement naturel.** Le mouvement rectiligne n'existe que là où se développe un effort contraignant ; pour mouvoir une barque en ligne droite, il faut ramer. Au contraire, les sphères célestes tournent toutes seules. Il n'y a pas à imaginer de causes spéciales pour les mouvements des planètes : enchâssées sur des sphères solides, les orbes, elles sont entraînées "naturellement" par la rotation de ces sphères. Bref, Copernic, tout comme Ptolémée, donne un modèle purement cinématique du système solaire.

Mais qu'est-ce qui fait donc errer les errants ?

===== Kepler va commencer à se poser la question. Pour lui, la gravité est une tendance, celle d'un grave, d'un corps lourd, à se rapprocher du centre de la Terre : tendance de la partie à se rapprocher du tout.

C'est "une relation corporelle réciproque entre les corps parents pour l'union ou la conjonction, de sorte que la Terre tire à soi la pierre beaucoup plus que la pierre désire la Terre." (préface de Astronomia Nova, 1609)

Cette action s'étend jusqu'à la Lune : "Si la Lune et la Terre n'étaient pas retenues par une force animée ou par quelque autre équivalente qu'il plaît sur leur circuit, la Terre monterait vers la Lune de la cinquante quatrième partie de l'intervalle, la Lune descendrait vers la Terre de cinquante trois parties de l'intervalle environ et elles se joindraient là, étant posé cependant que la substance de l'une et de l'autre est d'une même densité."

Ce texte appelle plusieurs remarques :

1°) Sur la force animée qui retient la Lune sur son orbite, Kepler s'expliquera plus loin. Notons cependant que pour lui, le cas de la Lune est particulier, il la suppose de même substance que la Terre. Il n'étendra pas cette "tendance" à se rapprocher, à se rejoindre qui unifierait gravité à la surface de la Terre et gravitation des planètes, il ne l'étendra pas au delà de l'orbite de la Lune.

2°) Mais alors pourquoi diviser l'intervalle Terre-Lune en 54 parties ? Puisque Kepler suppose égales les densités moyennes des deux astres, il fallait diviser l'intervalle en 49 ou 50 parties si j'en crois ma calculette qui sait élever au cube le rapport des rayons. Disons que Kepler sous-estime alors le rayon de la Lune (de quelques 50 km) ce qui n'est pas terrible. Malheureusement, l'hypothèse des densités égales est grossièrement fautive : densité terrestre 5,52 et densité lunaire 3,34, ce que Kepler ne pouvait savoir. Aujourd'hui, nous connaissons le rapport des masses, c'est même un nombre facile à retenir 0,0123. Il en résulte que le centre des masses du système Terre-Lune vers lequel Kepler imaginait que les deux astres tendraient à se rejoindre (sans l'effet contrariant de la "force animée") se trouve environ à la 82 ème partie de l'intervalle soit à 4 680 km du centre de la Terre.

[En passant, retenons ce résultat lourd (si j'ose ainsi m'exprimer) de conséquences. Newton nous montrera que c'est ce point qui décrit une orbite keplerienne autour du Soleil, le centre de la Terre et le centre de la Lune décrivant des orbites kepleriennes autour de ce centre des masses. Comme on le dit souvent, la Terre et la Lune : une sorte de planète double. Pensez que les observations astronomiques et les mesures sont rapportées au centre de la Terre ; il en résulte de multiples inégalités. Parmi elles, la plus évidente est sans doute la variation de l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux équinoxes de printemps successifs (ou "année des saisons").

En tout cas, on est invité à ne pas confondre ce centre des masses du système Terre-Lune avec le "point neutre" où les attractions

respectives de la Terre et de la Lune s'équilibrent. Nous en reparlerons plus loin car, évidemment, pour Kepler l'existence de ce point neutre ne se posait pas.]

Que proposait-il donc pour expliquer le mouvement des errants, lui qui empêchait les planètes de tourner en rond ? Il revient sur cette "force animée", constatant qu'avec les orbites elliptiques la solutions des orbes entraînant est condamnée et "la condition des Intelligences et des âmes motrices deviendra très dure tandis qu'elles sont obligées de veiller sur des choses si nombreuses qu'elles transportent chaque planète selon les deux mouvements unis." (Astronomia Nova, préface)

Les deux mouvements unis, entendez par là que la planète doit suivre une orbite elliptique (première loi), tout en observant la loi des aires (deuxième loi). Ce qui exige à chaque instant variation de la vitesse en grandeur et direction. Variation à chaque instant, il y a là le germe de l'analyse infinitésimale, sinon le germe, la promesse. Sans doute, vous représentez-vous la vitesse comme un vecteur et la variation de ce vecteur ne vous paraît guère plus difficile à imaginer sur une trajectoire elliptique ou circulaire. Mais il se peut que la simplicité du symbolisme vectoriel vous masque la véritable difficulté : d'un point du cercle à un autre, même variation instantanée, tous les points du cercle se valent, tous les points d'un cercle sont des "sommets" ce qui n'est pas le cas sur une ellipse (voir l'encadré 1).

Kepler a conscience des difficultés ; il propose néanmoins une solution :

"C'est pourquoi une induction étant faite à partir de toutes les planètes, il est démontré par anticipation dans la troisième partie [de Astronomia Nova], puisqu'il n'y a aucune orbe solide comme le démontra Brahé à partir des trajectoires des comètes, que le corps du Soleil est donc la source de vertu qui fait tourner toutes les planètes. J'ai défini encore un tel mode, que le Soleil restant certes en son lieu, il soit pourtant tourné en rond comme une roue de potier, qu'il émette en vérité hors de soi dans l'étendue du monde, une apparence immatérielle de son corps, analogue à l'apparence immatérielle de sa lumière, laquelle apparence selon la rotation du corps solaire est elle-même tournée également à l'instar d'un rapide tourbillon par toute l'étendue du monde ; et elle transporte en même temps avec soi, en rond, les corps des planètes par un enlèvement soutenu ou modéré, selon qu'elle est plus dense ou plus rare, qu'elle se sera écoulée par sa propre loi."

L'image de la roue de potier n'est pas seulement belle. Elle est raisonnable dans le cadre des idées de Kepler. Mais, d'abord, remarquons que c'est seulement quatre ans après la publication de Astronomia Nova que Galilée, à partir de l'observation des taches solaires, confirme le fait, la rotation propre du Soleil. Quant à l'aspect mécanique de l'explication de Kepler, il faut savoir que pour lui l'inertie n'est pas la propriété qui maintient en mouvement rectiligne et uniforme un corps isolé animé d'une certaine vitesse, c'est au contraire une sorte de résistance qu'il faut vaincre pour qu'un mouvement se produise. La persistance d'un mouvement implique donc l'action d'un moteur et, pour Kepler, la vitesse est proportionnelle à l'action de cette force. Or, une

analyse erronée l'a amené à affirmer que la vitesse d'une planète est inversement proportionnelle à sa distance au Soleil (voir encadré 1). Ce qui l'amène très logiquement à déduire que l'action du Soleil est inversement proportionnelle à la distance aux planètes. Il admet d'ailleurs que cette "espèce motrice" ne se propage que dans le plan de l'écliptique : pourquoi irait-elle se perdre dans les espaces où il n'y a rien à mouvoir ? Enfin Kepler ajoute l'hypothèse de forces magnétiques émanant du Soleil et qui s'ajoutent à l'action du tourbillon aplati : ces actions magnétiques d'attraction ou de répulsion expliquent l'ellipticité des orbites, sans elles le tourbillon provoqué par le tour de potier solaire ne donnerait que des orbites circulaires.

Le jugement de Bouillaud

=====
Gardons-nous de juger les idées de Kepler du haut de nos connaissances actuelles. Intéressons-nous plutôt à l'influence qu'elles ont pu avoir sur ses contemporains. "L'espèce motrice" qui émane du Soleil, conjuguée avec des forces magnétiques, ce n'est pas encore l'attraction à distance, c'est pourtant déjà une notion qui cherche à expliquer les mouvements des errants par une action à distance. C'était une nouveauté. Comment a-t-elle été reçue ?

Selon Koyré (Etudes newtoniennes, p17), le philosophe anglais Francis Bacon (1561-1626) aurait été séduit par les idées de Kepler et, allant plus loin que lui, aurait conçu la notion d'attraction. Mais selon la notice Bacon de l'Encyclopaedia Britannica, le philosophe aurait ignoré l'Astronomia Nova. J'ai trop peu fréquenté Bacon pour dire qui a raison.

Dans son Astronomia Philolaica qui parut à Paris en 1645, Ismaël Bouillaud (voir encadré 2) fait ressortir l'invéraisemblance du tourbillon aplati de l'espèce motrice. A son avis, cette action qui émane du Soleil ne peut que se propager de la même façon dans tout l'espace. Donc, comme la lumière, elle devrait varier en fonction inverse du carré de la distance. Conclusion : il rejette l'espèce motrice de Kepler. Mais il ne propose rien à la place. L'argument de Bouillaud selon lequel l'espèce motrice devrait se propager de façon isotrope ne me paraît pas convaincant : le tour du potier éclabousse plus dans le plan perpendiculaire à l'axe que dans la direction de cet axe. Et l'on est bien curieux aujourd'hui de ce que nous apprendront les sondes qui iront explorer les pôles du Soleil.

Mais pour en revenir aux idées de Kepler, disons qu'elles ne soulevèrent pas un enthousiasme universel. Elles participent pourtant à cette grande fermentation des idées qui marquent ce XVII^{ème} siècle, ce grand siècle scientifique. Le problème de la stabilité du système solaire qui est au coeur des préoccupations des astronomes de ce temps va trouver une première solution par la conjonction des réflexions d'un Italien, disciple de Galilée et d'un jeune étudiant Anglais privé d'Université par la grande peste des années 1665-1666. Providentielle peste !

(à suivre)

K.Mizar

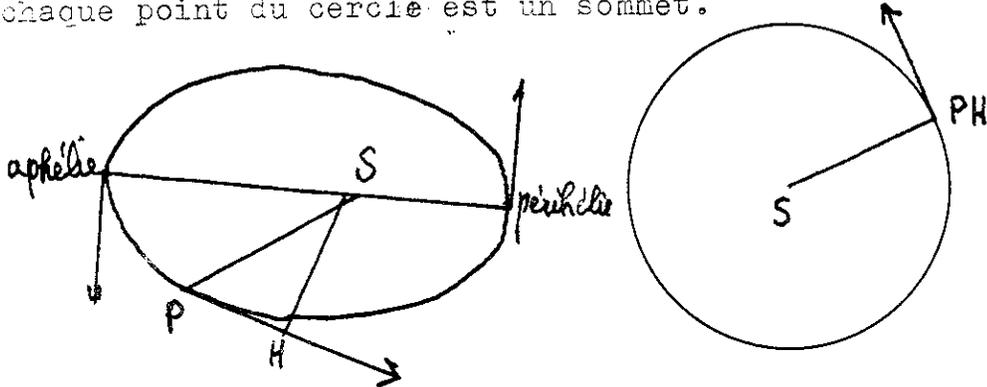
FASCICULES DE FORMATION CONTINUE DES MAITRES EN ASTRONOMIE

Le fascicule n°IV "Naissance, vie et mort des étoiles" est paru; il peut être obtenu auprès de L. Gouguenheim, Université Paris-Sud Centre d'Orsay, Labo d'Astronomie Bat.426 91405 ORSAY CEDEX (prix 25 f CCP L. Gouguenheim 20 936 80 V Paris). Les 3 autres fascicules sont toujours disponibles (n°I:l'observation des astres(20f); n°II:les mouvements des astres (25f) et n°III:la lumière messagère des astres (25f)).

encadré 1

Comme nous le verrons, l'attraction newtonienne entraîne, entre autres conséquences, que la norme de la vitesse de la planète est inversement proportionnelle à la distance du Soleil à la tangente à l'orbite de la planète (SH sur la figure) et non à la distance du Soleil à la planète (SP) comme le croyait Kepler.

Kepler a confondu SP et SH en vérifiant cette loi dans les cas particuliers où P et H sont confondus, lorsque la planète est au périhélie ou à l'aphélie. Avec une orbite circulaire, P et H sont confondus en tout point P du cercle, chaque point du cercle est un sommet.



encadré 2

Ismaël Bouillaud (1605-1694) est donc l'auteur d'une Astronomia Philolaica dans laquelle il tenta de remplacer la loi des aires par une construction bien plus compliquée qu'il nous paraît donc inutile d'explicitier. On lui doit la première évaluation de la période de variation d'éclat de Mira Ceti dont la variabilité avait été découverte par Fabricius ; il donnait 333 jours pour cette période qui, selon les données actuelles varie entre 320 et 340.

Bouillaud a consacré maintes observations à la libration de la Lune. On dit aussi qu'il fut un des premiers à recourir à la dilatation du mercure pour repérer les températures.