

INDUCTION ET EMPIRISME

B. Morand avec l'aide précieuse de D. Trotoux
(MRSH Caen, ModeSCoS, RIAS, 15/01/2004)

De manière grossière on peut dire que l'induction est un moyen par lequel une « conclusion » générale s'établit à partir de cas particuliers. Ce type de raisonnement qui était déjà connu d'Aristote pose encore aujourd'hui des questions relatives d'une part à sa justification, et d'autre part à sa force probante. Ce questionnement conduit notamment K. Popper à rejeter l'induction comme mode d'inférence scientifique valide. Plutôt que d'examiner les thèses actuellement en présence, l'exposé porte sur la manière dont elles se sont manifestées au XVIème siècle, un moment historique privilégié pour ce sujet. La question qui m'a particulièrement intéressé est de savoir pourquoi les lois de Képler relatives aux orbites des planètes sont qualifiées de lois « empiriques ».

I- RAPIDE TOUR D'HORIZON DE LA QUESTION DANS QUELQUES DISCIPLINES

En Philosophie

Au début des Temps Modernes (XVIème) la question de l'induction resurgit en relation avec une théorie de la connaissance. Francis Bacon (1560-1626) ouvre la boîte de Pandore lorsqu'il rompt avec la tradition scolastique et propose que Dieu a écrit 2 livres, la Bible et le livre de la Nature. L'exploration de ce dernier ouvre la porte à la connaissance par l'expérience. On peut se demander si cette rupture, indispensable à l'époque, ne conduit pas à fausser la question quand elle est aujourd'hui regardée dans les mêmes termes : y a t'il véritablement une expérience de la Nature qui soit différente de celle des livres ? L'objectif de Bacon est cependant de proposer une méthode d'étude de la Nature. Partant d'un énoncé particulier mais infaillible en lui-même, une succession d'énoncés complémentaires, fondés sur des exemples, va permettre de lever progressivement les limitations du contexte de l'énoncé initial, transformant celui-ci en un énoncé plus général (Cf. Ganascia). A ce titre, on peut effectivement le considérer comme le père de l'induction au sens moderne.

Ensuite, cette rupture va mettre au premier plan l'expérience sensible comme moyen de la connaissance. Elle ouvre la voie à un courant de réflexion, majoritairement britannique, fondateur de la tradition « empiriste ». Quelques points de repères. Locke (1632-1704) conteste à Bacon la possibilité d'une connaissance scientifique par l'expérience. Les objets extérieurs ont des « qualités premières » dont nous ne pouvons connaître que les « qualités secondes » : les sensations qu'ils produisent en nous. Par conséquent, le rapport entre ces deux sortes de qualités est en dehors de nos capacités cognitives (d'une certaine manière, le programme de Descartes sera de montrer le contraire). Autrement dit, nous ne pouvons questionner la Nature : elle s'impose à nos esprits. Hume (1711-1776) part du même principe mais en tire une conclusion différente. Sachant que nos idées sont des copies de nos « impressions » (sentiments) on ne peut penser que sur ces impressions. Donc toute connaissance

dérive nécessairement de l'expérience sensible. Mais nos pensées ne peuvent qu'associer ces impressions en imagination et les « causes externes » de celles-ci nous échappent. Hume va être le premier à formuler l'argument de l'absence de fondement logique de l'induction (bien qu'il ne la nomme pas ainsi) :

(1a) Nous avons observé que tous les cygnes sont blancs (cas particuliers)

(2) Donc tous les cygnes à venir seront blancs, ou encore le prochain cygne à venir sera blanc (loi)

Cet argument ne tient pas selon Hume parce qu'il faut lui ajouter un principe, celui de la prémisse supplémentaire : *(1b) l'Uniformité de la Nature (U.N.)*. Autrement dit : les choses continueront d'être comme avant. Mais quelle est la validité de cette prémisse ? Ce ne peut pas être une relation de raison mais bien une question de fait. Elle ne peut donc se justifier que par l'expérience (des faits). Une telle justification ne peut reposer que sur l'argument incomplet de départ. Celui-ci devient, du coup, circulaire. C.Q.F.D. J. Stuart-Mill (1806-1873) assumera le principe U.N. comme un principe métaphysique. On pourrait pourtant opposer à cette métaphysique que la nature est bien plutôt caractérisée par sa variété inépuisable plutôt que par son uniformité.

A l'époque contemporaine, il faudrait bien sûr regarder Kant (qui renouvelle en profondeur le sujet), Russell, Quine, Nicod, Bachelard, Goodman et sans doute d'autres. Popper reprend en fait le contre argument de Hume comme fondement de ses thèses. Il me semble cependant que la question est obscurcie lorsqu'on met la question philosophique de la connaissance sensible avant celle du statut scientifique de l'induction. Il me semble qu'il faut séparer empirisme, connaissance sensible et induction, au moins dans un premier temps.. C'est pourquoi je vais consacrer l'essentiel de l'exposé à la manière dont Képler procédait et non à la rupture ouverte par Bacon (les deux sont d'ailleurs très exactement contemporains et en fait ils procèdent à une rupture très similaire, l'un sur le terrain de la philosophie, l'autre sur le terrain de la science). Avant cela, terminons rapidement notre tour d'horizon.

En logique (cf. Peirce)

Tout commence avec le syllogisme déductif :

Tous les haricots de ce sac sont blancs (prémisse majeure ou règle)

Ces haricots proviennent de ce sac (prémisse mineure ou cas particulier)

Donc, ces haricots sont blancs (conclusion par déduction)

Rappelons que l'argument ne dit rien de la vérité des 2 prémisses. Mais la conclusion est certaine si elles sont vraies. Le problème est que l'on n'apprend rien avec le syllogisme déductif : la conclusion était déjà présente dans les 2 premiers énoncés.

Mais on peut concevoir un autre agencement : (et c'est la forme caractéristique de l'induction)

Ces haricots proviennent de ce sac (cas particulier ou prémisse majeure)

Ces haricots sont blancs (prémisse mineure actuelle)

Donc tous les haricots de ce sac sont blancs (conclusion vraisemblable qui tend à établir une règle).

Ce qui ressort de la comparaison des 2 formes¹. La question est celle du principe qui gouverne le passage prémisses->conclusion. Dans la déduction, il s'agit d'une implication ou emboîtement : la conclusion est contenue dans les prémisses (ça revient à considérer que le principe directeur est le suivant : ce que nous avons cru jusqu'à présent continue d'être cru, en l'absence de raison contraire). Mais dans l'induction, le principe n'est pas le même : jusqu'à quel point la survenance d'un nouvel événement est-elle assimilable à un autre fait connu, les deux participant de la même règle ? Il y a augmentation « potentielle » d'information. Dans la déduction, la conclusion est certaine (si les prémisses sont vraies), alors que dans l'induction la conclusion n'est qu'une « vérité en attente ». Pour augmenter la confiance dans cette conclusion, il faudra faire un montage expérimental, comme tirer une nouvelle poignée de haricots du sac et observer le résultat, puis une autre si tout se passe bien, etc. Il est donc clair que le contre-argument de Hume (et de Popper dans la foulée) repose sur une double confusion. La première est la confusion forme d'inférence/principe directeur de l'inférence, la seconde est de jauger la validité de l'inférence inductive à l'aune de la certitude de la déduction. C.Q.F.D. Etonnant qu'on en soit encore là avec tout ce que les mathématiques nous ont appris en matière de calcul différentiel et de calcul des probabilités.

En mathématiques :

- Le raisonnement par récurrence a quelques affinités avec l'induction (Peano : 1858-1932). Pour démontrer que la somme des N premiers nombres entiers est égale à $N(N+1)/2$, on montre que la propriété est vraie pour $N=1$ (une base particulière), que si elle est vraie pour un nombre N quelconque, elle est également vraie pour son successeur. C'est à dire que la propriété est généralisable à tout nombre entier N . Néanmoins, la nature de cette « preuve », qui n'est pas à proprement parler un théorème puisqu'elle part du cas particulier $N=1$ et non d'un axiome, pose problème. C'est en effet une définition « opérationnelle » mais: que dire de cette somme pour $N=0$ ou N à l'infini ?

- En calcul des probabilités, on a défini la probabilité pour qu'une pièce lancée en l'air tombe sur son côté pile, dont on pense qu'elle est égale à $\frac{1}{2}$: ce serait le rapport du nombre de lancers qui donnent pile (P) au nombre total de lancers (R) quand R tend vers l'infini. Mais comme aucune pièce n'a jamais été lancée un nombre infini de fois, on peut proposer une définition plus exacte au moyen de la loi des grands nombres. Si on suppose une loi de probabilité définie pour la variable aléatoire P , alors en refaisant l'expérience autant de fois que nécessaire, on trouvera une fréquence P/R qui s'approche

¹ Il y aurait une troisième forme qui consiste en une autre inversion, caractéristique de l'abduction ou formation d'hypothèse :

Tous les haricots de ce sac sont blancs (majeure et règle)

Ces haricots sur la table sont blancs (mineure et cas particulier)

Ces haricots proviennent de ce sac (fait et conclusion hypothétique)

de $\frac{1}{2}$ aussi près que l'on voudra. Mais du coup, on fait intervenir la probabilité $\frac{1}{2}$ comme un MODELE qui sert de base pour l'évaluation d'une approximation. Ici se joue la question complexe du rapport statistiques / mathématiques que nous laisserons en l'état pour le moment.

En sciences « expérimentales »

L'induction semble plutôt être considérée comme une méthode (la 3^{ème} variété). La question est celle du rapport entre les observations et la loi, par exemple en élaborant des classifications (naturelles ou non). Elle emploie notamment les statistiques et il faudrait aller voir du côté de la botanique, la biologie, la médecine, la sociologie, la psychologie, la chimie, etc. Ici aussi réapparaît le syndrome U.N., ou si l'on préfère le déterminisme (j'ai oublié Laplace dans ma liste de bons auteurs). On va regarder ce qu'il en est en physique et plus précisément en astronomie.

Les 3 variétés de l'induction (Peirce) :

- **Rudimentaire**, la variété la plus faible : *Toute pièce lancée en l'air retombera à chaque fois du côté pile ou du côté face.* C'est un raisonnement basé sur quelque chose du genre « en l'absence d'exemples du contraire » (et non pas du principe U.N.). Elle est faible, parce que si la conclusion est prise comme indéfinie, elle ne sert pas à grand chose et si elle est prise comme définie, elle peut être mise en défaut à tout moment (la pièce qui retombe sur sa tranche).
- **Quantitative**, la plus forte : fondée sur une énumération finie de cas ou événements indépendants comme dans la définition mathématique ci-dessus. Cette variété qui semble être celle qu'Aristote avait déjà vue conduit à une conclusion certaine, sous un intervalle d'approximation fixé et à condition que l'on puisse énumérer exhaustivement les cas de tests.
- **Qualitative**, la plus utile mais de force intermédiaire, au sens d'une estimation : disposant d'une hypothèse qui permet de prédire virtuellement certains résultats, on mesure la proportion de ceux qui se réalisent. Ceux qui s'avèrent vrais et confirment donc l'hypothèse ne sont alors plus à prendre en compte. Mais que faire des autres ? Ils permettent de réexaminer la manière dont l'hypothèse a été formée. La répétition des tests conduira à corriger les erreurs qui ont conduit à la formuler : l'induction qualitative devient méthode (et l'hypothèse devient modèle). Je pense que c'est dans cette catégorie que rentre ce qui est de fait à l'œuvre chez Képler.

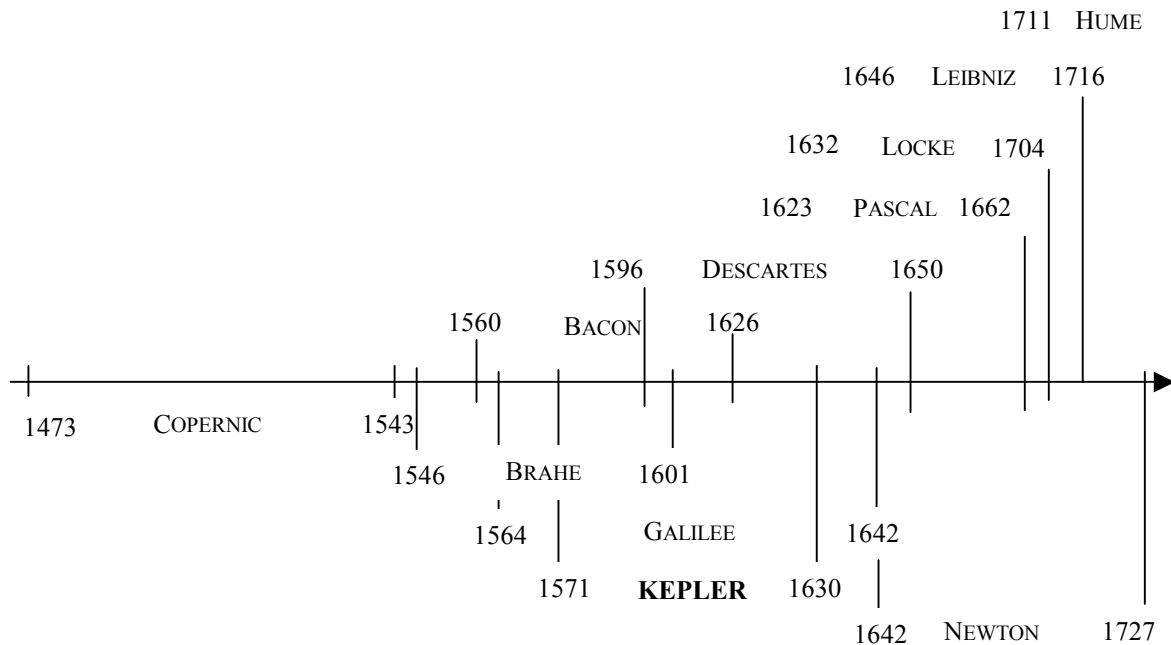
II- EMPIRIQUES LES LOIS DE KEPLER ?

Le contexte historique

- La théorie ptoléméenne ou modèle géocentrique selon lequel les planètes et le soleil tournent autour de la terre. Ils décrivent des orbites circulaires en faisant de petits cercles (épicycles) sur le grand cercle.

- La théorie héliocentrique qui depuis Copernic inverse la proposition. Les planètes tournent autour du soleil selon un cercle dont le soleil est le centre (Galilée).

- Képler est contemporain de Galilée, une époque où le départ entre les deux thèses (géocentrisme / héliocentrisme) n'est pas encore très clair :



Embauche de Képler par Brahé : 1600

Invention de la lunette astronomique par Galilée : 1608

Publication des 2 premières lois de Képler : 1609

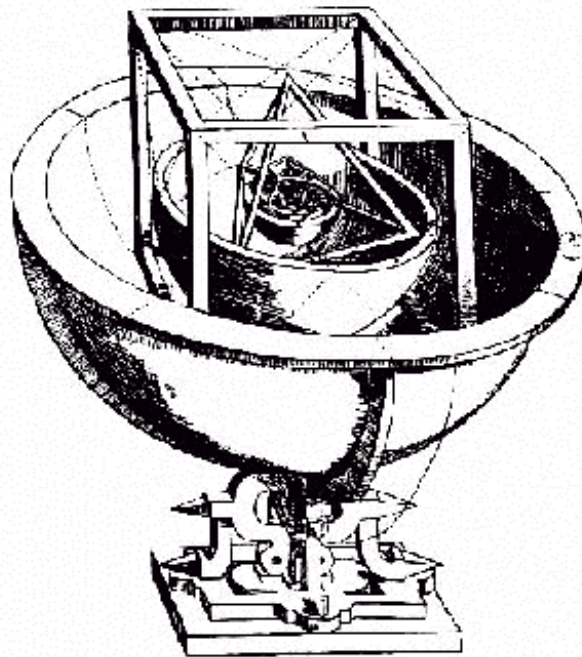
Condamnation papale de Galilée : 1633

Ce que Képler croyait

Il va travailler avec Tycho Brahé, astronome d'origine danoise, qui accepte l'héliocentrisme mais pense que s'il vaut pour toutes les planètes, ce n'est pas le cas pour la terre et la lune (l'argument est celui de la pierre lancée en l'air qui ne devrait pas retomber verticalement si la terre tournait). C'est la vision semble-t-il dominante de l'époque mais Képler tient au contraire pour un modèle de l'orbite circulaire de toutes les planètes et ne croit pas aux épicycles de Ptolémée. Pour expliquer le fait bien connu d'un mouvement plus rapide à l'approche du soleil et d'un mouvement plus lent à distance, il pense à une force magnétique d'origine solaire qui s'exerce dans la direction d'un rayon joignant le centre du soleil à celui de la planète considérée, une force qui décroît avec la distance au soleil. Bien que Tycho et Képler s'accordent sur l'héliocentrisme, ni l'un ni l'autre ne partagent totalement la théorie de Copernic : Tycho ne croit pas au mouvement orbital de la terre (qui forme un second centre) et Képler pense que « *Copernic a essayé d'interpréter Ptolémée plutôt que la nature* ».

Contrairement au modèle statique de Ptolémée, Képler a donc l'idée d'un modèle dynamique, une cause physique, du mouvement des planètes. Mais il conserve l'idée ptoléméenne de l'uniformité de ce mouvement : il y a une harmonie universelle, géométrico-mathématique, qui est l'œuvre du Créateur. Il pense par exemple que l'ensemble des planètes sont disposées selon des polyèdres

réguliers, inscriptibles dans des sphères, elles-mêmes circonscriptibles entre elles. Sa théorie d'une harmonie du système des planètes, qu'il va jusqu'à assimiler à une harmonie musicale (« *Remplissez les cieux avec de l'air et ils produiront une musique vraie et réelle* »), explique probablement le peu de cas que Galilée fait de ses découvertes. Mystique et pythagoricien, Képler a un pied dans l'ancienne astrologie, va mettre l'autre dans ce qui deviendra l'astrophysique et se trouve sur la ligne de partage des eaux entre les deux (mais c'est un trait caractéristique de l'époque). Il pensera jusqu'à la fin que sa vision cosmique de l'Univers est bien plus importante que ses lois sur le mouvement des planètes, une vision qu'il représente dans le système ci-après (la demi-sphère extérieure est supposée être Saturne) :



Ce que Képler ignorait

- la distance Terre-Soleil
- le système de coordonnées cartésiennes
- la loi de la gravitation universelle mais : « *Si 2 pierres étaient placées n'importe où dans l'espace, à proximité l'une de l'autre, et hors d'atteinte des forces d'autres corps, alors elles viendraient ensemble à un point intermédiaire, chacune approchant l'autre en proportion de la masse de l'autre* ». C'est pourquoi il défend la thèse que les marées s'expliquent par la force d'attraction de la lune, contrairement à Galilée qui considère que c'est totalement fantaisiste. Le problème est que Képler ne fera pas la relation avec le mouvement des planètes, focalisé qu'il est sur sa théorie de la force magnétique du soleil.

La « méthode » de Képler

Le travail sur la caractérisation de l'orbite de Mars va se dérouler sur une période de 8 ans (1600-1608), accumulant quantité d'erreurs y compris de calculs, de points de départ que son auteur

savait erronés et de points d'arrivée en forme d'impasses. Pourtant, il parviendra au résultat dont il a décrit en détail le cheminement dans *Astronomia nova* (1609). C'est ce qui en fait le mérite essentiel : quels colloques, quels chercheurs publieraient aujourd'hui, et en toute connaissance de cause, les inepties qui ont précédé l'établissement d'un résultat scientifique ?

Il savait (un résultat de Copernic semble t-il) que Mars réapparaissait en opposition avec le soleil tous les 780 jours terrestres. Pendant ces 780 jours, la terre a fait 2 tours + 50/365. En supposant un mouvement uniforme², de même vitesse angulaire, des 2 planètes autour du soleil, il calcule que Mars met 687 jours à faire un tour sur son orbite (sa période sidérale).

Tycho Brahé qui embauche Képler 1 an avant de mourir avait fait de nombreuses observations astronomiques (à l'œil nu) qui portent sur une durée de 20 ans, en particulier Mars (très intéressant parce qu'observable pratiquement toute l'année). Il confie la détermination de l'orbite de Mars à Képler.

En l'absence de connaissance de la distance Terre-Soleil mais sachant que la période de Mars est de 687 jours, Képler se dit que 2 paires d'observations de Mars depuis la terre séparées par le même délai, sont relatives à la même position de Mars depuis son orbite. Elles permettent donc de fixer un point de cette orbite³. Il trouve dans la masse des relevés effectués par Brahé 5 couples d'observations qui correspondent à la condition de délai :

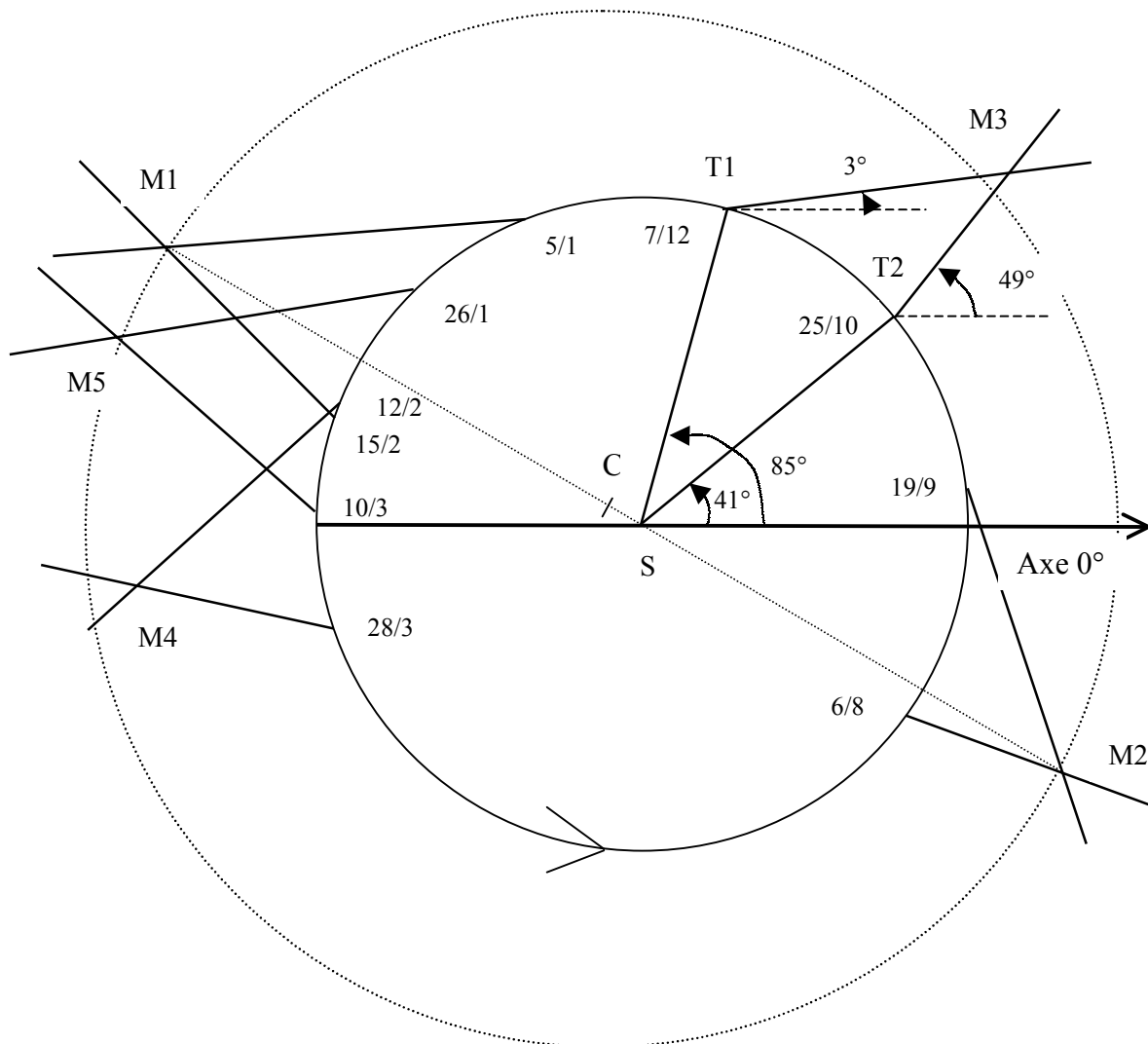
Points	Date de l'observation	Terre Longitude héliocentrique	Mars Longitude géocentrique
M1	17 février 1585	159°23'	135°12'
	5 janvier 1587	115°21'	182°08'
M2	19 septembre 1591	5°47'	284°18'
	6 août 1593	323°26'	346°56'
M3	7 décembre 1593	85°23'	3°04'
	25 octobre 1595	41°42'	49°42'
M4	28 mars 1587	196°50'	168°12'
	12 février 1589	153°42'	218°48'
M5	10 mars 1585	179°41'	131°48'
	26 janvier 1587	136°06'	184°42'

Observations de Mars par Tycho Brahé

Il obtient alors (pour une bonne explication de la construction de la figure, voir :

<http://www.clevislauzon.qc.ca/professeurs/mathematiques/rossa/DOSSIERS%5CKEPLER-A.PDF>

² La supposition de ce mouvement uniforme provient directement du modèle ptoléméen. On sait aujourd'hui que c'est faux : les planètes accélèrent au fur et à mesure qu'elles approchent du soleil et décélèrent au fur et à mesure qu'elles s'en éloignent (bien que la chose était connue depuis Ptolémée, on en rendait compte par un « point équant », distinct du centre de l'orbite, à partir duquel le rayon balaye l'orbite à vitesse constante : un point virtuel à partir duquel le mouvement apparaît comme constant). Donc, dans son détail l'hypothèse est fautive, mais en gros (en moyenne) elle s'avèrera correcte. Dès ce premier calcul, Képler s'appuie éventuellement sans le savoir sur une forme d'induction, celle qui résulte de la loi des grands nombres.



Position de 5 points de l'orbite de Mars (M1,...M5)

Arrêt sur image

Képler croyait dur comme fer aux orbites circulaires. Il prend M1 et M2 comme base pour le diamètre du cercle et constate 2 choses. Le centre C n'est pas le point S et les points M3 et M4 ne sont pas exactement dessus ; pour M5 le cas est moins net (cf. cercle en pointillés de la figure).

Peut-être n'est-ce pas le bon cercle ? Il sait qu'il faut au moins 3 points pour déterminer un cercle unique. Il va donc essayer toutes les combinaisons de triplets de points par lesquels ce cercle pourrait passer (soit $C_5^3 = 10$ cercles). Aucun d'eux ne paraît passer aussi par les 2 autres points. En essayant d'ajuster au mieux un cercle qui passe par les points d'apside et ceux qui se trouvent à 90°, il

³ En faisant cela, il fait l'hypothèse du maintien de la proportionnalité des distances $d(S,T) / d(S,M)$ qu'il formule comme $d(S,T) = 1$ Unité Astronomique. Ce qui nous paraît tout de même un coup de force très peu empirique : $d(S,M)$ se mesure avec $d(S,T)$ comme unité de compte.

constate que la différence maximale des points intermédiaires observés est de 8' avec ce que donnerait ce cercle.

Que concluriez-vous à sa place ?

- l'empiriste obstiné : la mauvaise foi. Sachant que l'orbite de Mars doit être circulaire, il faut mettre en doute les observations elles-mêmes ou bien considérer que nos sens nous trompent. Mais Képler croit à l'importance de l'observation en astronomie pour valider une théorie : « *Par l'étude de l'orbite de Mars, nous devons ou bien pénétrer les secrets de l'astronomie, ou bien rester à jamais dans leur ignorance* ». Il croit aussi en la fiabilité des mesures de Brahé (bien qu'à l'œil nu, il utilisait 4 sextants et 4 observateurs au même moment pour réduire les erreurs de mesure). Une différence de 8' est non seulement intolérable mais doit être considérée comme « *une chance de découvrir enfin la vraie structure des mouvements célestes* ». ⁴

- l'empiriste popperien : la théorie de l'orbite circulaire est falsifiée, un point c'est tout. On n'a plus que deux solutions. 1) Multiplier les observations pour déterminer le plus grand nombre possible de points et tracer « finement » la courbe de l'orbite. Ce que Képler va faire et qui va le conduire à penser à un ovale (mais tout de même Dieu ne serait plus géomètre !). 2) Revenir à Ptolémée et aux épicycles.

- Heureusement Képler n'est pas poppérien : il a des modèles de rechange. En particulier il croit au caractère dynamique du mouvement des planètes, ce qui exclut le modèle de Ptolémée : il n'y a pas de forces qui puisse expliquer des petits cercles sur le grand cercle. Il savait aussi que selon les remarques faites en notes 2 et 3 de bas de page, le calcul de l'orbite de Mars a été fait relativement à celle de la Terre, le lieu d'où les observations sont faites.

Voyage sur Terre

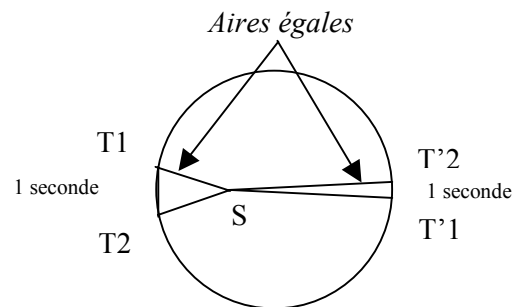
Il faut donc commencer par s'assurer de l'exactitude de l'orbite terrestre. Képler inverse alors la proposition : les données de Brahé permettent de regarder la terre depuis un point fixe qui donne sa position avec un intervalle de 687 jours. Noter que cette inversion est un nouveau coup de force qui ne doit rien à l'empirie : utiliser ce que l'on cherche (l'orbite de Mars) comme mode d'examen du moyen de le trouver. Einstein dira que cette idée, basée sur un principe de triangulation, pour fixer Mars était une véritable idée de génie. Elle va permettre entre autres à Képler de calculer la distance Terre-Soleil en fonction de celle de Mars au Soleil.

Il trouve alors que l'orbite terrestre est bien, elle, circulaire : Ouf ! (on sait aujourd'hui que c'est exact au 1/10000 près). Mais le centre de l'orbite terrestre n'est toujours pas le soleil. Il établit

⁴ « *Mais pour nous qui, par la divine bonté nous a été donné un observateur aussi pertinent que Tycho Brahé, pour nous il est juste que nous devions reconnaître ce cadeau divin et le mettre en service... Par conséquent je conduirai le chemin vers ce but en accord avec mes idées. Parce que si j'avais cru qu'on puisse ignorer ces huit minutes, j'aurais bricolé mon hypothèse en conséquence. Mais comme il n'est pas permis de les ignorer, ces huit minutes indiquent la route vers une complète réforme de l'astronomie : elles sont devenues le matériau de construction d'une grande partie de ce travail...* » (d'après Koestler, p. 322)

enfin que le rapport vitesse maxi / vitesse mini du mouvement est inversement proportionnel à celui des distances. Il n'est pas très content de ce dernier résultat parce qu'il pensait que la force magnétique émanant du soleil devait se comporter comme la lumière et agir proportionnellement au carré de l'inverse des distances.

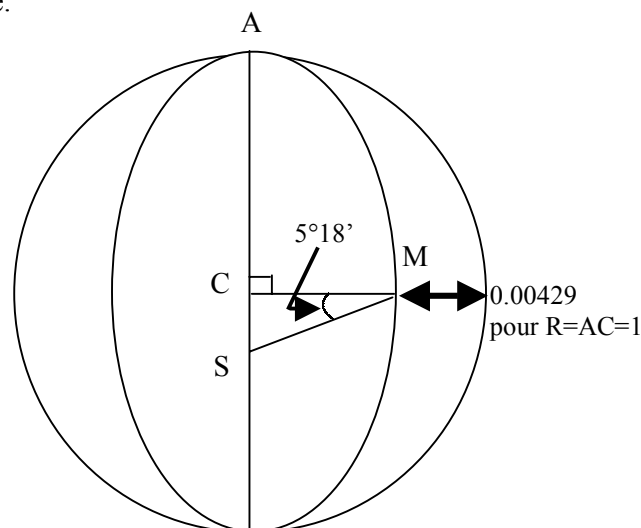
Mais ceci va lui permettre d'établir un autre résultat dont il sera par contre très content parce qu'elle confirme, sinon le mouvement uniforme, du moins une règle du mouvement : le rapport constant vitesse/distance aux deux points extrêmes peut s'interpréter comme le balayage d'une aire constante par unité de temps⁵ (Figures inexactes pour une meilleure lisibilité) :



2^{ème} loi de Képler : Dans leur orbite autour du soleil, les planètes balayent une aire égale par unité de temps. Cette « 2^{ème} loi » a donc été établie avant la 1^{ère} et pour la Terre : il restera à la généraliser.

Retour sur Mars : le cercle et l'oeuf

L'orbite hypothétique de Mars était un ovale, lequel peut s'inscrire dans un cercle pour en mesurer la déviation par rapport au cercle.



⁵ A nouveau, il s'agit d'un résultat basé sur un raisonnement faux : il suppose la proportionnalité de la vitesse à l'inverse de la distance au soleil. Ceci est vrai aux 2 points extrêmes de l'orbite mais faux pour les autres (il lui manquait le concept d'accélération et de vitesse instantanée). Par ailleurs, elle suppose l'assimilation de la somme d'un nombre infini de rayons voisins à une surface. Mais miraculeusement, cette erreur compense celle de l'orbite circulaire de la terre : « Et cependant, par trois étapes incorrectes et leur défense encore plus incorrecte, Képler tomba sur la loi correcte. C'est peut être la performance de somnambule la plus surprenante de l'histoire de la science » (Koestler, p. 328)

Képler mesure cette déviation pour un point privilégié M de Mars lorsque la planète se trouve à angle droit avec l'axe des aphélie de centre C du cercle. Il trouve $AC/CM = 1.00429$ qui est le coefficient de déviation :

Par hasard⁶, il mesure l'angle SMC qui, dans la position de M dans la figure est le plus grand possible, et trouve $5^{\circ}18'$. Ce qui veut dire que MS/MC égale exactement 1.00429 (c'est l'inverse du cosinus de l'angle, un rapport que Képler appelait sécante) :

« Je me sentis comme si je m'éveillais après avoir dormi »

Il pense tenir un secret de Mars et vérifie que cette égalité des 2 rapports est bien maintenu en tout point de l'orbite. Mais il ne comprend pas encore qu'il est devant une ellipse (alors même qu'il lui soit arrivé quelquefois de penser que son ovale pouvait en être une !). Laisant de côté son égalité providentielle qu'il ne s'explique pas, il essaie alors une autre hypothèse, celle de l'ellipse justement, en repartant de zéro sur les observations. C'est seulement à ce moment qu'il s'aperçoit que les deux hypothèses sont en fait la même⁷.

D'où la 1^{ère} loi : *les planètes se déplacent selon des orbites elliptiques avec le soleil comme l'un des foyers.*

Képler fait son auto-analyse ainsi :

« Pourquoi devrais-je mâcher mes mots ? La vérité de la Nature, que j'avais rejetée et chassée dehors, revint furtivement par la porte de derrière, se déguisant elle-même pour être acceptée. C'est-à-dire que je laissai l'équation originale de côté, et tombai sur les ellipses, en croyant que c'était une hypothèse quasiment différente, alors que les deux, comme je vais le montrer au chapitre suivant sont identiques... Je pensais et cherchais, jusqu'à en devenir quasiment fou, une raison pour laquelle la planète aurait préféré une orbite elliptique à la mienne. Ah, quel écervelé j'ai été ! » (d'après Koestler, p. 333)

Pour être complet il découvrira plus tard une 3^{ème} loi : *« Le carré du temps de parcours de l'orbite est proportionnel au cube de la distance moyenne au soleil »* (qui rend discutable sa théorie de la force magnétique du soleil).

⁶ *« Je me demandais quand et comment une lunule aussi petite (0,00429) pouvait être venue à l'existence. Pendant que cette pensée me tournait dans la tête, alors que je considérais encore et encore que mon triomphe apparent sur Mars avait été vain, je tombai entièrement par hasard sur la sécante de l'angle $5^{\circ}18'$ qui est la mesure de la plus grande équation optique... »* (Koestler, p. 332)

⁷ En effet, la fameuse équation optique est bien une propriété de l'ellipse : si on prend un point S' symétrique de S par rapport à C (le 2^{ème} foyer), qu'entre S et S' on tende une ficelle de longueur L passant par M qui sert de point de traçage de la courbe, on a : $SM + S'M = L$
Sur l'axe, on a : $SA + S'A = (SC + CA) + (CA - CS')$
Or, pour une ellipse $SC = S'C$ et l'égalité précédente devient $SA + S'A = 2 CA$, soit $L = SM + S'M = 2AC$.
Dans la position particulière de M de la figure précédente, on a en plus $SM = S'M = L/2$ et donc $SM = AC = R$ et donc la raison d'être de l'égalité providentielle $MS/MC = 1,00429 = R/MC$.

III CONCLUSIONS : UNE HIRONDELLE PEUT-ELLE FAIRE LE PRINTEMPS ?

L'empirisme de la loi

Je n'ai pas trouvé d'où provient cette qualification mais je soupçonne Stuart-Mill d'y être pour quelque chose (il donne une définition de la notion de « loi empirique » et considère que Képler a fait des « descriptions de faits »). Aujourd'hui, on retrouve sous ce label l'expression de règles entre des variables représentatives de phénomènes qui peuvent être liées par des paramètres dont la valeur numérique est constante. Quelques exemples :

- Loi de Moore : *La puissance des micro-processeurs double tous les 18 mois.*
- Loi de Zipf : *si on classe les N mots d'un texte par fréquences décroissantes d'apparition, leur rang obéit à la formule suivante : Fréquence d'un mot de rang N = (Fréquence du mot de rang 1) / N.*
- Loi de Murphy : *si le pire peut arriver, alors il arrivera (on choisit toujours la plus mauvaise file d'attente aux caisses d'un magasin).*
- Dans un écosystème : *la multiplication par 10 de la surface d'un habitat peut permettre le doublement du nombre d'espèces qu'il peut héberger, etc.*

Une autre caractéristique semble être qu'il s'agit de régularités dont on n'a pas l'explication (cf. la première variété « rudimentaire » d'induction). Mais, s'il n'y a certes pas d'explication des lois de Képler (y en a-t'il davantage de celles qui sont présumées plus scientifiques, celles de Newton, voire celles d'Einstein ?), elles ne paraissent pas rentrer dans cette première catégorie.

Un peu de chance n'est pas inutile mais on peut la provoquer

Bien sûr, l'orbite quasi circulaire de la Terre a bien aidé Képler. Nombre de ses erreurs se sont compensées. Et en plus il aurait quasiment volé ses données à Brahé (à sa mort, elles devaient être propriété de sa famille, ce avec quoi Képler ne se serait pas gêné). Cependant, s'il n'a pas manqué de chance, il faut mettre à son crédit sa ténacité, d'autant plus que ses pairs et amis de l'époque ne considéraient pas son travail comme vraiment digne d'intérêt.

L'observation dans la démarche de Képler

- A partir d'observations il établit des règles relatives au mouvement des planètes. Mais il ne s'agit pas de n'importe quelles observations : il choisit Mars (l'orbite observable de plus grande excentricité) et il en prélève certaines plus particulières (ce dont Tycho Brahé n'avait pas eu l'idée) : un protocole expérimental avant la lettre ?
- Il procède par approximations successives : cercle -> ovale -> ellipse et réutilise d'autres observations en conséquence. L'observation fournit donc moins des données « brutes » que des faits dont on a pensé qu'ils devraient se produire si.... Il faudrait donc distinguer le caractère immédiat de la perception, un certain type d'expérience « sensible », et le caractère intermédié de l'observation, un

autre type d'expérience, raisonnée parce qu'elle se connecte avec d'autres expériences possibles. Peirce ajouterait d'ailleurs un 3^{ème} type entre les deux, l'expérience directe et qui fonctionne en opposition simple. C'est celle de Képler constatant à plusieurs reprises que ses cercles ne passent pas par tous les points de l'orbite. (Notons du coup que ces trois types sont indifférents eu égard à la question du caractère interne ou externe des objets de l'expérience). L'image du somnambule proposée par Koestler est donc contestable : s'il est vrai que Képler marche endormi, il est toutefois bien éveillé lorsqu'il refuse de tolérer les 8' d'écart.

Les idées préconçues dans la démarche de Képler

- Il est clair qu'elles ont joué un rôle essentiel, depuis l'idée des orbites circulaires, l'idée de force magnétique solaire, jusqu'à la reprise de principes auxquels on ne s'attendrait pas (l'équant de Ptolémée par exemple)
- Aujourd'hui, on appellerait cela des modèles. Ils fonctionnent comme intermédiaires entre l'observation et la règle. Ils sont au moins approximatifs et le plus souvent faux mais, par un dispositif étrange et sous certaines conditions (auto-corrections), ils permettent de trouver les règles.
- On ne part jamais de rien : des idées préconçues bien sûr, mais aussi de l'état de la question dans le domaine (les « théories »). Ce qui pose le problème de l'articulation entre modèle, observation, théorie ; celle-ci paraît bien être temporellement marquée par « l'état des choses » à un moment donné (une articulation dynamique)
- Dans ce parcours de la science, il y a des phases d'imagination : cf note 6. Que Peirce appelait du joli mot de « musement » et qui n'est pas sans rapport avec l'abduction, la manière dont se forment des hypothèses. Ainsi Képler rate une belle abduction lorsqu'il ne voit pas que la coïncidence de l'égalité numérique de la mesure angulaire et de l'excentricité pourrait s'expliquer par l'ellipse.

L'induction n'est pas indépendante de ses deux comparses

Elle a besoin d'hypothèses, de modèles et elle a aussi recours à la déduction (ce qui devrait nécessairement se produire si...). Tout le problème de la méthode de la science se joue donc dans la nature de la relation entre abduction, déduction, et induction, chacune apportant aux deux autres ce qui lui manque, dans un procès dont l'induction paraît bien proposer une dynamique.

Retour sur la philosophie, ce à quoi au bout du compte on revient toujours.

Il me semble qu'après ce parcours, il devient plus facile de rediscuter du statut de la connaissance sensible et des thèses de l'empirisme, qu'il soit dit logique ou non. Il devient plus facile de rediscuter des qualités premières et des qualités secondes, un sujet dont les trois catégories de l'expérience qui ont été mentionnées plus haut transforment radicalement la manière de poser le problème.

Éléments de bibliographie

Michael Fowler, *More Kepler*,

<http://physics.hallym.ac.kr/education/Virginia/109N/lectures/morekepl.html>

André Ross, *Johannes Kepler*,

<http://www.clevislauzon.qc.ca/professeurs/mathematiques/rossa/DOSSIERS%5CKEPLER-A.PDF>

Observatoire de Paris, *Johannes Kepler : son histoire, le travail et les lois*,

http://media4.obspm.fr/demo/uel/chapitre1/souschapitre1/section1/page3/section1_1_1_3_OBSERVER.html

Jean-Gabriel Ganascia, *Logique et induction : un vieux débat*,

http://www-poleia.lip6.fr/~ganascia/enseignement/DEA_IARFA/Apprentissage/LogiqueInduction.PDF

Pour la Science, *Kepler, le musicien du ciel*, Aout-Novembre 2001, n°8

Jean-Pierre Verdet, *Une histoire de l'astronomie*, Points Sciences, Seuil 1990

Arthur Koestler, *Les somnambules*, Calmann-Levy, 1960 (réédité en Livre de Poche mais épuisé)

Et bien sûr :

