

Johannes Kepler – La ligne de partage des eaux

Tiré de *Les somnambules*, d'A. Koestler



Les statistiques "spatiales" au sommet, Rochebrune, 2024

L'enfance de Kepler

La conception

- ▶ Conçu le 16 mai 1571 à 4 h 37
- ▶ Né le 27 décembre à 2h30
- ▶ Grossesse de 7 mois, 11 jours, 9 h et 55 mn

(selon l'horoscope établi par Kepler lui-même, 1597)

La naissance et l'enfance

- ▶ Né à Weil-der-Stadt, duché de Wurtemberg
- ▶ Enfance épouvantable, famille instable de dégénérés, psychopathes,...
- ▶ Père aventurier, mercenaire, gibier de potence; finit par disparaître en 1588
- ▶ Mère analphabète, "petite, maigre, sinistre et querelleuse"
- ▶ Tante brûlée comme sorcière; sa mère échappera de peu au même sort
- ▶ Contracte la variole à 3 ans, myope, malingre, hypocondriaque

L'enfance de Kepler

La conception

- ▶ Conçu le 16 mai 1571 à 4 h 37
- ▶ Né le 27 décembre à 2h30
- ▶ Grossesse de 7 mois, 11 jours, 9 h et 55 mn

(selon l'horoscope établi par Kepler lui-même, 1597)

La naissance et l'enfance

- ▶ Né à Weil-der-Stadt, duché de Wurtemberg
- ▶ Enfance épouvantable, famille instable de dégénérés, psychopathes,...
- ▶ Père aventurier, mercenaire, gibier de potence; finit par disparaître en 1588
- ▶ Mère analphabète, "petite, maigre, sinistre et querelleuse"
- ▶ Tante brûlée comme sorcière; sa mère échappera de peu au même sort
- ▶ Contracte la variole à 3 ans, myope, malingre, hypocondriaque

Les études – premier poste

- ▶ 13 ans : petit séminaire de d'Adelberg, malgré une éducation primaire chaotique
- ▶ Profite du système éducatif du duché de Wurtemberg (protestant) pour poursuivre ses études au lycée puis à l'université grâce à une bourse
- ▶ 20 ans : diplôme de la faculté des Arts de l'université de Tuebingen ; s'inscrit en théologie
- ▶ Étudiant brillant, difficultés de sociabilisation, peu d'amis, beaucoup d'ennemis
- ▶ 23 ans : nommé *Mathematicus* de l'université (luthérienne) de Styrie, à Graz
- ▶ Enseigne les mathématiques, **l'astrologie**, des commentaires sur Virgile et la rhétorique
- ▶ Fervent adepte du système de Copernic (décédé en 1543), qu'il enseigne librement
- ▶ Publie des Almanachs (prévisions astrologiques) et établit des horoscopes pour des particuliers
- ▶ Croit profondément en l'influence des planètes, mais selon des ressorts inconnus
- ▶ Tient les techniques astrologiques comme des "singeries à sortilège"

Mysterium Cosmographicum (Kepler, 1596)

- ▶ 9 juillet 1595, à 24 ans, dessine une figure au tableau noir. Lui vient une **illumination**: il pense détenir les clés de la création
- ▶ Il y a 6 planètes et 5 solides parfaits dans l'espace à trois dimensions ; **cela ne peut pas être le fruit du hasard**



Mysterium Cosmographicum (Kepler, 1596)

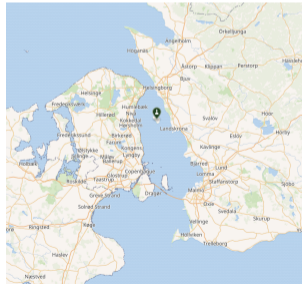
- ▶ *Mysterium* est composé d'une introduction et de deux parties
 1. "Preuves" *a priori* de son système : Dieu crée un monde parfait...
 2. Confronte son système aux données expérimentales tirées de la littérature (essentiellement les grecs, et puis Copernic)
Se heurte évidemment à des désaccords; orbites non circulaires, place de la lune, "centre" du système solaire, données fausses (manipulées par Copernic !)
 3. Étudie le rapport entre distance au soleil et période de révolution. Se pose la question de pourquoi. **Propose une hypothèse** : il existe une force émanant du soleil

- ▶ Dans ce livre, Kepler se pose deux questions, et **propose deux hypothèses**.
 - ▶ La première est fausse, stérile en soi, mais mènera de façon indirecte aux trois lois de Kepler.
 - ▶ La seconde est juste et fertile, et sera résolue par Newton

- ▶ Été 1598, l'université de Graz doit fermer car luthérienne en terre des Habsburg. En 1599, Kepler doit quitter Graz

Tycho Brahé

- ▶ Grand Seigneur Danois, né en 1547 d'une famille illustre proche du trône. Père gouverneur d'Helsingborg, en face d'Elseur
- ▶ Entame une éducation habituelle pour sa condition : philosophie et rhétorique
- ▶ A 14 ans, témoin d'une éclipse partielle — prévue. **Choisit d'étudier l'astronomie**

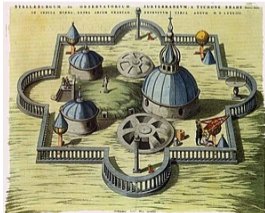


Tycho Brahé

- ▶ De 20 à 26 ans, entame son tour d'Europe et visite les grandes universités de l'époque
- ▶ Perd le bout du nez dans un duel (1566). Porte une prothèse en or et argent.
- ▶ Collectionne et invente des appareils d'observation de plus en plus grands (donc précis) et perfectionnés
- ▶ Invente un concept révolutionnaire : **l'astronomie a besoin de mesures précises et continues**
[Copernic n'a relevé que 27 positions; le reste des données qu'il a utilisées proviennent des Anciens : Hipparque, Ptolémée, etc.]
- ▶ En 1572, apparition d'une nouvelle étoile. Émoi dans la communauté astronomique de l'époque. Tycho Brahé établit que cette étoile est fixe, et n'est donc pas une comète
- ▶ *De Nova Stella* contient la démonstration irréfutable en 27 pages de "Matériels et méthodes" et de "Résultats". **Fin de l'imuabilité du système stellaire**
- ▶ Il prouve de la même façon que la comète de 1577 est à une distance d'au moins 6 fois la distance Terre-Lune : ruine du système antique (les comètes sont des astres sub-lunaires)

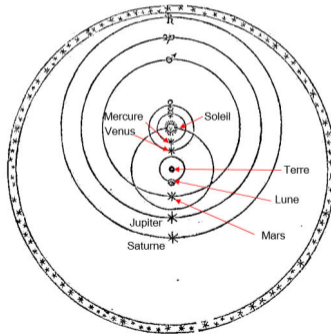
Tycho Brahé

- ▶ En 1576, le roi lui offre une île de 1000 hectares, avec toutes ses dépendances et ses habitants. Y fait construire **Uraniborg**, le premier observatoire du monde occidental avec des instruments uniques (sans lentilles)
- ▶ Il y passe 20 ans à faire des mesures très précises et très régulières d'environ un millier d'étoiles. Par ailleurs, s'y conduit en despote insupportable
- ▶ En 1597, entreprend un nouveau voyage à travers l'Europe
- ▶ En 1599, arrive à Prague, capitale de l'Empire, et est nommé **Mathematicus** de l'empereur, Rodolphe II, avec une rente très élevée (mais rarement payée)



La rencontre

- ▶ Kepler avait envoyé une copie du *Mysterium* à Brahé. Celui-ci avait répondu, poliment. Kepler envie les instruments de Brahé
- ▶ Système de Brahé : la Terre est remise au centre du monde ; les cinq autres planètes tournent autour du soleil, qui tourne autour de la Terre



La rencontre

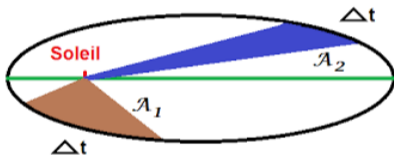
- ▶ 4 février 1600 : première rencontre Kepler (29 ans) – Brahé (53 ans)
- ▶ Relation complexe attraction/répulsion. Chacun a besoin de l'autre, et en a peur;
- ▶ Brahé confie l'étude de Mars à Kepler, mais fait de la rétention de données;
- ▶ 24 octobre 1601 : décès de Tycho Brahé (54 ans)
- ▶ Kepler devient **Mathematicus** impérial de 1601 à 1612 (pour une rente 10 fois plus faible et tout aussi rarement payée)
- ▶ Les instruments de Brahé sont vendus à l'empereur (qui ne les payera jamais), mis sous clés, et seront perdus
- ▶ Voyant cela, Kepler dérobe une grande partie des données de Tycho Brahé à ses héritiers



Empereur Rodolphe II, par Arcimboldo

Les Lois

- ▶ Après 6 ans de travail, publiée en 1609 *Astronomia Nova*, qui contient ses deux premières lois :
 1. Les planètes décrivent des orbites elliptiques, dont le Soleil occupe un des foyers.
 2. Les planètes se déplacent en balayant des aires égales en des temps égaux.



- ▶ Premières lois physiques expérimentales (et non des lois *a priori*)
- ▶ Étape historique de la pensée scientifique : détache l'astronomie de la théologie pour l'unir à la physique
- ▶ *Astronomia Nova* est un ouvrage en 60 chapitres, déroulant tout le cheminement de son travail, avec ses erreurs, ses fausses pistes et ses états d'âme

La démarche

- ▶ État de l'art = système de Ptolémée : les orbites sont des cercles, dont éventuellement les centres décrivent des cercles (épicycles)



- ▶ Objet d'étude de Kepler : Mars, planète particulièrement récalcitrante dans ce système, car orbite très allongée

La démarche

- ▶ Introduit d'emblée trois innovations :
 1. Les orbites des planètes sont des plans : il calcule que l'angle entre les plans de Mars et de la Terre = $1^{\circ}50'$
 2. Prend comme point de référence de ses calculs le Soleil, non la Terre, ni le centre de l'orbite de la Terre (système de Copernic)
 3. Abandonne l'idée d'une vitesse constante (intuition d'une force émanant du Soleil)
- ▶ Recherche du *Punctum equans*, point de l'axe reliant les points de vitesses extrêmes, duquel la vitesse semble constante
- ▶ Utilise 4 points de données. Construit son modèle. Le valide sur 10 points de validation en acceptant une marge de 2'
- ▶ Mais sur deux points remarquables, l'erreur est de 8'. \leftrightarrow Il rejette son modèle !!!
- ▶ Changement radical dans la pensée de Kepler entre ces deux ouvrages. Dans *Mysterium*, les faits doivent se plier à sa théorie; dans *Astronomia*, la théorie doit se plier aux faits. Pour quelle raison ? Besoin d'une plus grande précision dans la navigation, mais aussi car il a introduit une "force physique"

Les lois de Kepler

0. La fausse loi

- ▶ En déplaçant le point d'observation sur Mars, il établit que l'orbite de la Terre est plus rapide près du Soleil et ralentit loin du Soleil.
- ▶ Ce qui semblait unique à Mars semble universel
- ▶ Propose que la vitesse est inversement proportionnelle à la distance

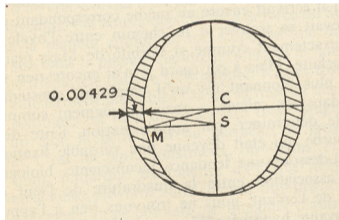
2. La seconde loi

- ▶ Il en déduit que le temps pour parcourir un petit angle est proportionnel à la distance au Soleil
- ▶ Par un argument de calcul intégral (l'aire d'un secteur est la somme de triangles très petits), il parvient ensuite à la seconde loi
- ▶ La seconde Loi est établie à partir d'une erreur sur les prémisses, et d'une erreur sur les calculs, qui par chance se compensent

Les lois de Kepler

1. La première loi

- ▶ Constate que l'orbite ne peut être circulaire, mais ovale : “une charretée de fumier”
- ▶ Tourne pendant deux ans autour de cet ovale. Se lamente, en regrettant que ce ne soit pas une ellipse. Utilise l'ellipse comme approximation de calcul, mais ne franchit pas le pas décisif



- ▶ Après de nombreux essais, finit par établir que l'angle M et la distance S sont en rapport fixe.
- ▶ Rejette cette loi (qui définit une ellipse) pour une “nouvelle” hypothèse : l'orbite est une ellipse. Mets encore un an avant de constater l'équivalence

Harmonices Mundi — La troisième loi

- ▶ Publié en 1618. Recueil sur l'harmonie du monde. Établit des rapports entre tout et n'importe quoi
- ▶ Dans le chapitre *Principales propositions de l'Astronomie nécessaires à l'Investigation des Harmonies Célestes*, la Proposition 8 établit que le carrés du temps de révolution est proportionnel au cube de la distance moyenne. **C'est la troisième loi**
- ▶ Dans *Harmonices Mundi*, la première Loi n'y est citée qu'en passant, la seconde pas du tout (à la place figure la fausse Loi 0) et la troisième au milieu d'un fatras de rapports insignifiants



Autres éléments de la vie de Kepler

- ▶ Epouse en 1613 (42 ans) Susanne Reuttinger; 7 enfants dont 3 meurent tôt
- ▶ EN 1615, sa mère est accusée de sorcellerie (!!)
- ▶ Kepler s'investit dans la défense de sa mère \leftrightarrow 6 ans de procédure (plaidoyer, défense auprès des tribunaux du Württemberg, ...)
- ▶ Déclarée libre de toute charge de sorcellerie en 1621 par le duc de Württemberg
- ▶ Publie en 1627 les **Tables Rudolphines** qui utilisent les observations de Tycho Brahé et ses 3 lois
- ▶ Meurt en 1630 (59 ans) à Regensburg (Ratisbonne)

Pour conclure

Un bel exemple de plusieurs principes qui fondent la démarche scientifique

- ▶ **[Positivism]** Il abandonna ses croyances pour s'en tenir aux faits
- ▶ **[Sérendipité]** Kepler partit découvrir les Indes et trouva l'Amérique; finalement, il sût reconnaître sa découverte
- ▶ **[Collaboration]** Les données de Tycho Brahé ont été décisives
- ▶ **[Persévérance et ténacité]** Son travail s'est déroulé sur près de 20 ans

Dans un contexte historique tout à fait particulier:

- ▶ Sur le partage des eaux, entre mysticisme moyenâgeux et méthodes modernes
- ▶ Avance comme un somnambule. Au plus vite dans ses périodes de sommeil ; défait son travail durant ses périodes de veille
- ▶ Intuition de la gravitation
- ▶ Grand mérite de Newton d'avoir su dégager ces pépites de leur gangue, et d'y donner un sens grâce à la loi de la gravitation universelle