

4em cours

La science de l'empire romain et du moyen age européen

La science de l'empire romain et du moyen age européen n'existe pratiquement pas. Très peu est ajouté aux connaissances grecques, et une grande partie de ce qui avait été acquis est oublié, ou bien n'est plus compris.

Une idée qui n'est pas oubliée est le fait que la terre est sphérique.

(L'idée qu'on entend souvent, et qui est même enseignée à l'école, que durant le moyen age on pensait que la terre est plate, est une idée fautive. Par exemple, nous pouvons lire dans Saint Thomas :

... Ad secundum dicendum quod diversa ratio cognoscibilis diversitatem scientiarum inducit. Eandem enim conclusionem demonstrat astrologus et naturalis, puta quod **terra est rotunda**, [Sancti Thomae de Aquino, Summa Theologiae, Prima pars, Quaestio 1, Proemium, Articulus 1].

... les astronomes et les physiciens arrivent aux mêmes conclusions, par exemple que la terre est ronde, avec des instruments différents : les mathématiques pour les astronomes, l'étude des choses matérielles pour les physiciens...

A l'école on enseigne aussi des choses fausses ! Méfiez vous de l'école !)

Les astronomes arabes

Les sciences arabes naissent à Bagdad avec le calife Al-Mansour (754-775) qui reçut une délégation Indienne en 773 qui a amené un livre, aussitôt traduit. Un chapitre concernait la trigonométrie, avec une table de sinus à 25 entrées. L'Almageste de Ptolémée sera ensuite traduit 5 fois.

Principaux astronomes dans l'Islam du Moyen Age :

- **al Battâni** Albatagnus (877-929) (al Raqq sur l'Euphrate)

« Le Ptolémée arabe » utilise la notion de sinus et établit la formule fondamentale de la trigonométrie sphérique.

- Ecole de **Maragha** (Iranian Azerbaijan) : Nsir al-Din as **Tusi** (1201, 1274)

Etudie l'Almageste et cherche de améliorer les détails de la construction de Ptolémée.

- Ibn as Shatir (1304 -1375) (Damasque)

Cherche de corriger des erreurs dans l'Almageste, qui regardent le mouvement de la Lune.

La disparition totale de la science autour de la Méditerranée est illustré par le fait que la fonctions trigonométrique utilisée par les astronomes Alexandrines (la « corde ») est remplacé par le sinus, qui est pratiquement la même chose, mais avec une dénomination qui viens ... de l'Inde :

- *Corde* en Grec, traduit en *jya* en Hindou.
- Les Arabe utilisent le mot *jiba* qui ne veut rien dire en Arabe: c'est seulement un translittération du mot Hindi qui a le même son que le mot Hindi *jya* .
- Après un peut de temps, dans les écrits Arabe, le mot *jiba* devienne *jaib* qui a une signification: veut dire "plie".
- Les Européennes traduit les textes anciennes de l'Arabe en Latin, et traduisent *jaib* avec *sinus*, qui veux dire pli en latin.

Cette petite histoire montre que la trigonométrie était perdue dans le Ouest, et y est retournée après être passée par l'Inde !

La lente sortie du Moyen age européen, grâce au monde Arabe

Les civilisations s'enrichissent quand elles se mélangent, non pas quand elles se renferment.

Premières ouvertures : Frédéric II (1194 – 1250) empereur.

Frédéric II est un mécène des sciences. Il lisait neuf langues. Il fait preuve tout au long de son règne d'une large ouverture d'esprit et d'un avant-gardisme indiscutable. On notera tout d'abord son attitude au cours des croisades où il s'intéresse à la culture arabe et reconnaisse sa grandeur et son raffinement. Il tenta notamment de concilier les deux partis (croisés et jihad) afin d'instaurer une paix durable et une cohabitation pacifique. En 1229, Frédéric signe un traité d'alliance avec al-Kamil, sultan du Caire, qui avait vaincu la cinquième croisade, en échange de la promesse de recouvrer la souveraineté sur Jérusalem, Nazareth et Bethléem. Frédéric entre en roi dans Jérusalem. Comme le pape Grégoire IX condamnait ce traité, Frédéric est excommunié (deux fois). Le pape Grégoire IX alla même jusqu'à l'appeler l'Antéchrist.

Frédéric II échange des savants et des livres avec le sultan al-Kamil.

12 et 13 siècle. : Aristote est traduit de l'arabe. Traduction de l'Almageste en Latin (de l'arabe).

Les humaniste du XIV et XV siècle.

Au cours des XIV et XV siècles, des intellectuels (les « humanistes ») développent une passion pour l'antiquité, et cherchent de récupérer les arts et les sciences anciennes. Le rêve est de faire repartir le grand savoir ancien. Une activité importante des humanistes est efforts de redécouvrir les textes anciennes. L'Almageste est a nouveau étudié, bien compris et expliqué. La chute de Constantinople en 1453, qui signe la fin de l'ancien empire romain a un effet indirect sur l'Europe : l'arrivé des savants et des livres de Constantinople en Europe.

Et finalement, après mille ans de presque immobilité, une explosion étonnante: Copernic.



Copernic



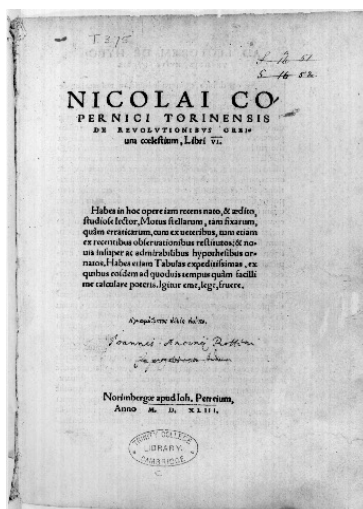
Copernic (Pologne, 1480-1543)

La grande découverte de Copernic est le fait que la Terre tourne sur elle même, et tourne autour du Soleil. On appelle cette idée le « modèle héliocentrique ».

Copernic arrive a cette idée en étudiant à fond Ptolémée. Copernic étudie à Cracovie, ensuite aux universités italiennes de Bologne, Rome, Padoue and Ferrara. Etude le Grec, médecine, mathématiques, lois. Tôt, il a son idée, and travaille toute sa vie sur cette idée. Il travail en isolation. Il est un personnage un peu médiéval, précis, renfermé dans ses recherches. Un chercheur un peu fou, fermé dans sa petite tour dans un perdu pays du nord.

Son seul livre, le "De Revolutionibus", ou il développe son grande idée, est publié en 1543, au moment ou il meurt.

Que veut dire le mot "révolution?" L'expression "révolution" vient du titre du livre de Copernic, l'un des plus grands révolutionnaires de l'histoire de la science.



Voilà la page du livre où l'image du monde avec le Soleil au centre apparaisse pour a première fois:



Observez la Terre (avec sa Lune) qui

orbite autour du Soleil.

Comment à Copernic compris ça ? Son intuition est que la structure déférente-épicycle représente simplement le mouvement de l'observateur. Mais la démonstration est dans les détails. La clé est en effet dans les données qui sont dans le livre de Ptolémée (Almageste, XI, 3) :

Planète	Cycles de anomalie	Révolutions	Années	Rayon déferrent	Rayon épicycle
Mercurie	145	46	46	60	22 1/2
Venus	5	8	8	60	43 1/6

<i>Soleil</i>	1	1	1	60	
<i>Mars</i>	37	42	79	60	39 1/2
<i>Jupiter</i>	65	6	71	60	11 1/2
<i>Saturne</i>	57	2	59	60	6 1/2

Explication :

Pour Mercure, par exemple, tous les 46 ans, on voit la planète Mercure faire 46 rotations autour de la Terre, avec 145 cycles de mouvement rétrograde. C'est à dire, tous les 46 ans, on voit le déferrent de la planète Mercure fait 46 tours, tandis que son épicycle fait 145 tours. Le rayon de l'épicycle (en prenant le rayon du déferrent égal à 1) est déterminé par l'amplitude du mouvement rétrograde.

Observations :

1 : Venus et Mercure sont toujours proches du Soleil. Donc leurs déferrent sont toujours alignés avec le soleil, donc le nombre de révolutions est le même que le nombre d'années.

2 : Pour Mars, Jupiter et Saturne, c'est un tout petit plus compliqué. Dans ce cas, observe que les années sont toujours égales à la somme des nombres de révolutions et des nombres des cycles d'anomalie. Pourquoi ?

Copernic re-interprète tout ça dans le modèle héliocentrique.

Mais attention !! Cela donne de suite aussi des informations nouvelles très importantes.

1. D'abord le rayons des orbites des planètes peut être déduit par cette table. Pour Venus et Mercure, tout simplement, c'est le rayon de l'épicycle, si le rayon du déferrent est le rayon de l'orbite de la Terre.

Pour les planètes externes, c'est le contraire : le rapport entre le rayon du déferrent et le rayon de l'épicycle est le rapport entre le rayon de l'orbite de la planète et le rayon de l'orbite de la Terre. Donc par exemple pour Saturne on a :

$$6 \frac{1}{2} / 60 = R_{\text{terre}} / R_{\text{saturne}}$$

En prenant $R_{\text{terre}} = 60$, on a $6 \frac{1}{2} / 60 = 60 / R_{\text{saturne}}$, or $R_{\text{saturne}} = 10\,750$.

Donc on trouve :

Planète	Rayon orbite
<i>Mercur</i>	22,50

<i>Venus</i>	43,16
<i>Terre</i>	60
<i>Mars</i>	91,14
<i>Jupiter</i>	313,04
<i>Saturne</i>	553,84

Mais plus que cela ! On a aussi les périodes des orbites!

Pour les Planètes externes est facile : le nombre de révolutions autour de la terre est le même que le nombre de révolution autour du Soleil (parce que ces planètes tournent autour du Soleil *et* de la Terre.) Donc, Mars, par exemple, fait 42 révolutions en 79 ans. Donc sa période est $79/42$ ans = 687 jours. Le même calcul est valable pour Jupiter et Saturne.

Pour Mercure, c'est plus difficile. En 46 ans son épicycle fait 145 tours, donc il passe à côté de la Terre 145 fois. Combien de tours du Soleil a fait Mercure dans cette période ?

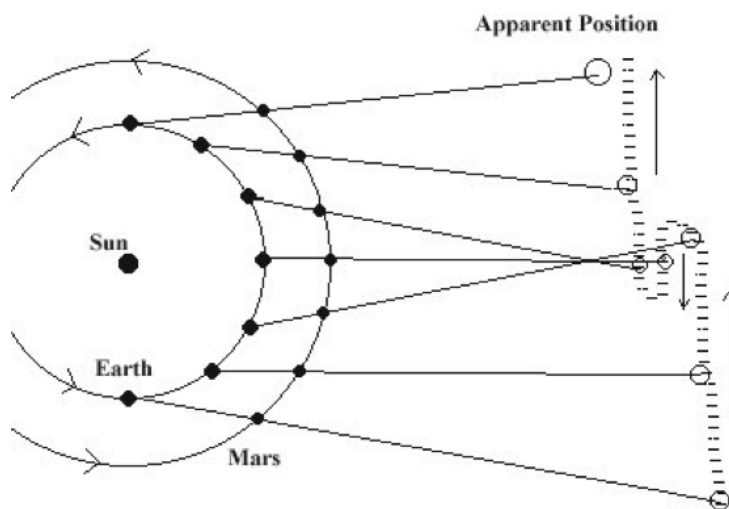
Pensez à deux voitures sur un circuit. Combien de tours a fait la deuxième voiture (Mercure) si elle a dépassé la première (Terre) N_1 fois, tandis que la première a fait N_2 tours ? La réponse est clairement $N=N_1+N_2$. Comme Mercure est plus vite que la Terre, donc, il fait $145+46$ tours autour du Soleil, durant les 46 ans. Donc sa période est $46/(145+46)$ ans = 88 jours. Même pour Venus.

Tous ensemble :

Planète	Rayon orbite (unité arbitraire)	Période (jours)
<i>Mercury</i>	22,50	88
<i>Venus</i>	43,16	225
<i>Terre</i>	60	365,25
<i>Mars</i>	91,14	687
<i>Jupiter</i>	313,04	4 345
<i>Saturne</i>	553,84	10 750

On gagne:

- simplicité: élimination des épicycles !!
- explication de l'alignement
- obtient les *dimensions* des orbites (parce que il faut fixer toutes les échelles) (confirmé par les phases de venus par Galilée, après 70 ans)
- ces dimensions son en accord qualitative avec las période. (anticipation III lois de Kepler)
- explication cinématique simple du mouvement rétrograde des planètes; explication d'une simplicité étonnante de la complexité des mouvements des planètes.
- un système avec moins de paramètres, plus de simplicité, plus de choses expliqué.



Copernic reconstruit entièrement le système de Ptolémée sur cette base.

Le monde change encore une fois, d'une façon très drastique, comme au temps de Anaximandre. Maintenant, la Terre n'est plus le centre de l'Univers, et elle bouge.

Les conséquences de la révolution Copernicienne : Galilée et Kepler

La découverte de Copernic déclenche un grande débat savant en Europe. Est ce que la Terre *vraiment* est en mouvement? Deux écoles opposées s'opposent.

Les arguments *contre* Copernic étaient plusieurs:

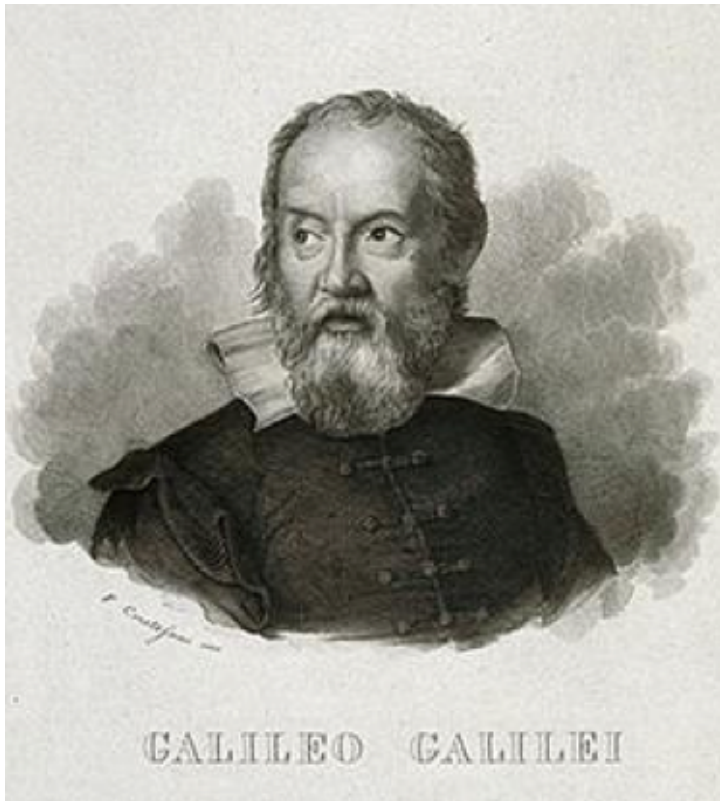
- Le système de Copernic ne fonction pas mieux que celui de Ptolémée. Pourquoi accepter une hypothèse absurde, comme l'idée que la terre bouge, pour ne rien vraiment gagner en capacité de prédire ?
- Si la terre bouge si vite (30Km/s autour du soleil), pourquoi nous ne nous apercevons pas?

Et finalement l'argument le plus fort:

- La physique est contre cette hypothèse, parce le Ciel est différent que la Terre: dans le ciel, les choses bougent en cercles. Sur la Terre, les choses bougent en ligne droite, en haut et en bas.

Tout cela change avec Galilée.

Galilée



Galileo Galilei. Pisa 1564 – 1642

Galilée est considéré le fondateur de la science moderne. Il donne plusieurs contributions majeurs à idée même de science.

Il a une personnalité flamboyante, polémique, politique. Il écrit de Pamphlets violents. Il se bagarre avec tout le monde, même avec l'église, qui, pour commencer, était complètement avec lui et derrière lui.

Galilée est très convaincu du système Copernicienne, et le défende très fortement. L'un de ses livres est le "Dialogo sui massimi sistemi" (Dialogue des grands systèmes). Les grand systèmes sont celui de Ptolémée et celui de Copernic. Galilée explique en détail le système de Copernic, et présente tous les arguments en faveur.

Ses plus grandes contributions sont plusieurs :

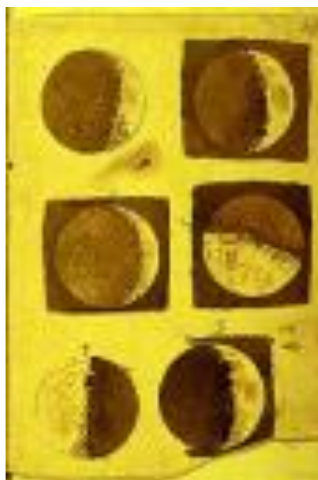


Telescope de Galilé

1. Utilise un **télescope**, qui vient d'être construit par des artisans du nord de l'Europe, pour étudier le ciel. De suite il fait une série d'observations étonnantes:

- Les satellites de Jupiter
- Les montagnes de la lune ...
- Les phases de Venus

Toutes ces observations confirme indirectement le système de Copernic. Par exemple une étrange anomalie du système de Copernic était le fait que la Terre, et seulement la Terre avait une Lune. Les Satellites de Jupiter indiquent que la Lune est un satellite come des autres, et non pas une anomalie dans le système, ou bien une spécialité de la Terre.



Page des notes de Galilée avec dessins de la lune (avec ses montagnes) vue par le telescope.

2. Il comprend que par rapport à un référentiel qui se déplace d'un mouvement droit et uniforme, tout se passe comme dans un référentiel qui n'est pas en mouvement.

Donc, le mouvement de la Terre n'est pas en contradiction avec nos observations (c'est la réponse à Ptolémée, et à ses arguments contre l'idée que la Terre bouge.). Aujourd'hui on appelle cette idée la "relativité galiléenne".

3. En ayant pris au sérieux le système de Copernic, Galilée en tire des conséquences qui vont avoir une influence immense sur l'humanité.

Le raisonnement de Galilée est le suivant.

- Dans le ciel il y a des régularités.
- Les astres suivent des lois mathématiques exactes et simples
- La terre est un astre comme les autres
- Donc il doit y avoir des régularités sur la terre aussi !

Donc le grand programme de Pythagore et Platon, décrire la Nature avec des lois mathématiques, doit bien s'appliquer à la Terre aussi !

Galilée est fortement influencé par Platon. Il cherche des régularités ! Il cherche la "vérité cachée derrière les choses". Vu le succès de l'astronomie, il sait que des lois existent en ciel. Et vu le succès du Copernicanisme, confirmé par ses observations célestes, il devient convaincu que, au fond, Platon doit avoir raison.

Donc : *il cherche les lois exactes et mathématiques, qui gouvernent le mouvement des corps.*

Et il les trouve!

Pour Aristote, les corps lourds, avant tous, tombent. Galilée se demande *comment* tombent-ils. Avec quelle loi mathématique exacte. Il la cherche.

Là, il a une série d'intuitions géniales:

- Ne pas se contenter de regarder, mais faire des observations dans lesquelles, on va créer exactement la situation qu'on veut étudier : Galilée invente *les expériences scientifiques*.

C'est le dernier élément manquant à la liste des instruments de la science moderne.

Il comprend aussi qu'il faut étudier des situations "idéales", en faisant abstraction de tout phénomène complémentaire:

Quand les choses tombent, elles sont ralenties par l'air. Il est intéressé à la chute des corps "quand il n'y a pas l'air". Non pas parce que cela nous intéresse en soit, mais pour briser un problème complexe en éléments plus simples.

Autre idée: il considère une situation simplifiée : Au lieu de faire tomber les objets libres, il les fais rouler le long d'un "plan incliné" :



le Plan incliné de Galilée

Il construit ainsi le premier "laboratoire scientifique" de l'histoire, et étudie la chute des corps.

L'étonnante découverte des la première lois (mathématique) de nature sur terre

Galilée fait rouler des boules le long d'un plan incliné.

Il découvre que

- Si la longueur parcourue dans un temps T est L , alors:

la longueur dans le deuxième T est $3L$,

la longueur dans troisième temps T est $5L$,

la longueur dans quatrième temps T est $7L$.

c'est à dire si je prenne un pendule qui va fait un clic tout le seconde, et je marque le positions ou est la boule, à chaque clic, j'obtient:

I - I - - - I - - - - I - - - - - I - - - - - I - - - - - I - - - - -

1 3 5 7 9 11

La chose surprenante est que cela reste vraie:

- quel que soit le matériel de la boule,
- quel que soit le pois et la dimension la boule,
- quel que soit l'inclination du plan,

Donc, ça doit être vrais même dans le limite dans le quel le plan est verticale !

Donc, celle si est une *lois universelle de la chute de tous le corps* !

Galilée l'appelle "la lois de nombre impaires"

Galilée est étonné. Il écrit que il n'y a pas plus grande bonheur qu'à avoir vue pour la première fois la clarté mathématique cachée derrière les apparences !

Observez: tout le monde aurait pu faire cet expérience, n'importe quand. Mais personne n'avait vraiment pris au sérieux l'idée Pythagoriques/platonique qu'il y a des régularité mathématique derrière les tous le phénomènes.

Il faut ensuite comprendre ce qu'il y a derrière cette "lois des nombres impaires". Galilée y met deux ans. Nous on ira plus vite:

D'abord observez que

1

$$1+3 = 4$$

$$1+3+5 = 9$$

$$1+3+5+7 = 16$$

$$1+3+5+7+11 = 25$$

Les carré parfaites!

Donc dans un temps T, L=1

dans un temps 2T L = 4

dans un temps 3T L = 9

dans un temps 2T L = 16

...

c'est à dire: "les distances vont comme le carré des temps" !

donc

$$x = c t^2$$

donc la vitesse est proportionnelle au temps:

$$v = dx/dt = 2c t$$

et donc l'accélération est constante

$$a = dv/dt = 2c$$

deuxième observation. la constante c est la même pour chaque boule et chaque dimension et poids. Elle est moitié de l'accélération. Elle change avec l'inclinaison, dans la manière suivante, mais dans la limite où le plan est vertical, elle devienne

$$a = 9,8 \text{ m/s}^2 \sim 10 \text{ m/s}^2$$

celle-ci est une constante "universelle" qui détermine la chute de tous les corps. Elle ne dépend ni du poids ni de la dimension de la balle, ni de rien.

observez:

- approximations : Galilée néglige la friction avec l'air, ne regarde pas la vraie chute, mais une chute "retardée par le plan incliné", et considère la limite.

- construction de situations artificielles : le plan incliné.

- interrogation de la nature : expérience, et non pas simple observation.

- platonisme : il sait déjà qu'il doit y avoir une loi, et il la cherche.

- vitesse et accélération : il comprend que la clé de tout est l'accélération. Personne avant Galilée n'avait mis l'accent sur l'*accélération*.

L'importance de ce résultat est énorme: *il y a des lois mathématiques qui gouvernent le mouvement de tous les corps*. Ciel: cercles, terre: accélération vers le bas constante ! deux lois différentes, mais des lois partout.

La loi:

$$x = c t^2$$

est la première loi scientifique trouvée, valable pour des objets sur la Terre.

La confrontation avec l'église.

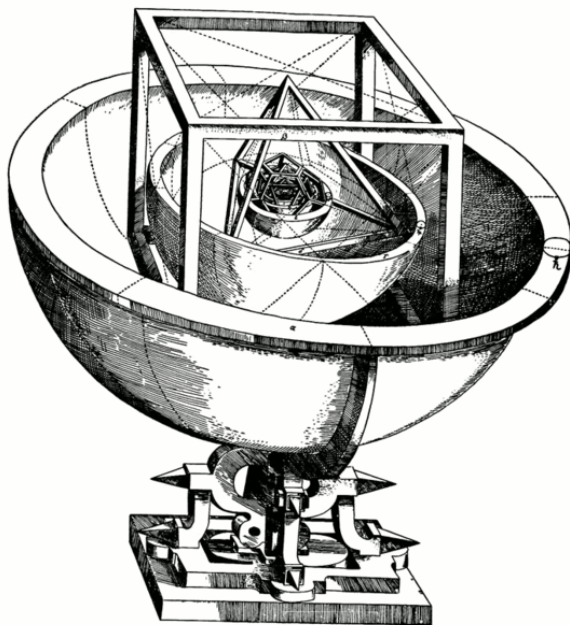
Galilée se trouve en difficulté avec l'église catholique, qui commence à s'opposer au copernicanisme. Il subit plusieurs procès pour ses livres, et à la fin, il se sauve en abjurant sa théorie, c'est-à-dire avec une démission publique où il rejette ses propres idées. (La tradition veut qu'il jure, mais juste après il dit "e pur si muove", qui veut dire, "quand même elle bouge". Elle est la Terre, bien sûr). Cette confrontation entre Galilée et l'église devient le symbole d'une lutte entre la religion et la science comme systèmes d'explications du monde.

Kepler

Johannes Kepler : Weil-der-Stadt (Baden-Württemberg, Allemagne) (1571 1630)

Tandis que Galilée découvre les lois exactes du mouvements des corps sur la Terre, Kepler découvre celles des corps dans le ciel.

Kepler travail à la court de Prague. Il suivie d'abord une avec une idée farfelue: les diamètres des orbites sont déterminés par les solides platoniques l'un dans l'autre. Mais le problème posé est intéressant : comment sont déterminées les orbites des planètes ?



I

Image du modèle (faux) du système solaire de Kepler, dans son *Mysterium Cosmographicum* (1596).

À la mort de Tycho Brahé en 1601, Kepler est désigné comme mathématicien impérial à la cour de Rodolphe II, de Habsbourg Empereur du Saint Empire et roi de Bohême et de Hongrie : A nouveau, après deux milles ans des Ptolémées, les princes soutien la recherche scientifique ! (Mais il ne faut pas exagérer dans l'admiration de ses princes : le devoir primaire de Kepler' etait de fournir des *prédictions astrologiques* à l'empereur.... Vous pensez que s'est stupide ? Même des président d'état d'aujourd'hui ont des astrologues ! La stupidité est très dure a mourir !)

Comment passer d'une mère sorcière à un fils grand scientifique.

La mère de Kepler, Catherine — qu'il qualifie même de « petite, maigre, sinistre et querelleuse » — fut élevée par une tante qui finit sur le bûcher pour sorcellerie. En 1615, selle même, alors âgée de 68 ans, est accusée de sorcellerie. Kepler, persuadé de son innocence, va passer six années à assurer sa défense auprès des tribunaux et écrire de nombreux plaidoyers. Elle passe quand même une année enfermée dans la tour de Güglingen

aux frais de Kepler, ayant échappé de peu à la torture. Finalement, défendu par son fils elle, est acquittée le 28 septembre 1621. Affaiblie par ces dures années de procès et d'emprisonnement, elle meurt six mois plus tard.

Kepler raconte dans un compte (le *Somnium*, le rêve), que la mère l'accompagne dans le système des planètes et lui explique les sentiers des planètes, en volant sur une ballée. Sa mère était dévouée apparemment à un culte solaire, et dans le rêve lui explique que « le Soleil est la cause des mouvements des planètes ».

La science de Kepler

- Fois dans l'existence des lois exactes.
- Grande intuition: le Soleil doit être la clé de tout: Le soleil doit exercer une "force" sur les planètes.

Pas crucial: oublier les cercles !! Ce e sont pas les cercles qui sont importants ! c'est la trajectoire de la planète, qu'elle qu'elle soit.

Pour arriver là, c'est un parcours long :

- Premier modèle Copernicien révisé (toujours des cercles), en utilisant les données de Tycho Braille, riche danois fou qui avait construit le premier grand observatoire "moderne" et avait recueilli nombreuse observations beaucoup plus précises que le passe. Pour la première fois le monde moderne recommence à faire des observations précises, à la hauteur des observation des grecques anciens.

Kepler refait le système de Ptolémée (avec les même principes), mais beaucoup plus précis. Il écrits des nouvelles tables astronomiques avec la position des planètes, beaucoup meilleur que les anciennes ou celles de Copernic. Il devient célèbre comme astronome.

- **MAIS**: pour la planète Mars les prédictions du modèle ne collent pas exactement avec les observations : 8 minutes d'arc qui manquent. 8 minutes d'arc est très peut ! Une petite fraction du rayon apparent de la Lune.

Il cherche pour des années de refaire mieux le système, mais il n'y arrive pas. Puis, il a l'intuition complète: *les trajectoires sont des ellipses*. Et de la il trouve trois lois des quelles le mouvement des planètes suivent parfaitement:

- trois lois très simples qui gouvernent toutes les planètes:
- Première loi : Les trajectoires des planètes sont des ellipses
- Deuxième loi : La vitesse est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance du Soleil.

Mais peut être la loi plus importante du point de vue historique c'est la troisième loi:

Pour la comprendre, il faut reconsidérer Ptolémée. Les rayons des orbites des planètes ne sont pas déterminées dans le modèle de Ptolémée. Seulement le rapport entre l'excentrique et l'épicycle est déterminé, parce que le modèle est invariant d'échelle.

Avec Copernic, tous les épicycles qui correspondent au mouvement apparent de la Terre sont de la même longueur, donc il faut "agrandir les orbites des planètes extérieures", pour le mettre à la bonne échelle. Donc, on y déduit la dimension des orbites des planètes. Et comme Ptolémée avait déjà leurs périodes, on a les données périodes/rayons.

Planète	Rayon orbite (unité arbitraire)	Période (jours)
<i>Mercur</i> e	22,50	88
<i>Venus</i>	43,16	225
<i>Terre</i>	60	365,25
<i>Mars</i>	91,14	687
<i>Jupiter</i>	313,04	4 345
<i>Saturne</i>	553,84	10 750

Avec cela, Kepler observe que :

Tonifiante loi : Les temps et les rayons sont en proportion cube/carré: $R^3/T^2 = \text{constante}$: même constant pour toutes les planètes. (la lune n'est pas une planète)

Planète	Rayon orbite R (unité arbitraire)	Période T (jours)	R^3/T^2
<i>Mercur</i> e	22,50	88	1,5
<i>Venus</i>	43,16	225	1,6
<i>Terre</i>	60	365,25	1,6
<i>Mars</i>	91,14	687	1,6
<i>Jupiter</i>	313,04	4 345	1,6
<i>Saturne</i>	553,84	10 750	1,5

Avec les deux grand résultats de Kepler et Galilée, Newton va résoudre le puzzle des lois du mouvement. Ce sera le prochain, et dernier course.

Résumé 4

- Après mille ans de progrès très lent de la connaissance scientifique, à la sortie du Moyen âge Européen, un groupe d'intellectuels cherche de reconstruire le savoir ancien perdu. Les anciens textes grecs sont traduits de l'Arabe en Latin. On étudie Aristote. On recommence à discuter la Science.
- Copernic reprend l'Almageste, et re-interprète le système épicycle-déférent comme la description des mouvements apparents par rapport au mouvement de la Terre. Cela aura des conséquences immenses pour l'humanité entière.
- Galilée (Galileo Galilei) comprend *que si la Terre est une planète comme les autres, alors il doit y avoir des lois mathématiques aussi sur la Terre*, pas seulement en ciel. Il les cherche, et il trouve la loi avec laquelle les corps tombent: l'espace est proportionnel aux carrés des temps: $x=1/2 g t^2$, où : $g=9,8 \text{ m/s}^2$.
- Les contributions de Galilée sont nombreuses et majeures:
 - Utilise le télescope pour regarder le ciel et découvre phénomènes jamais observés, qui confirment l'idée de Copernic: satellites de Jupiter, phases de Venus, montagnes de la Lune.
 - Commence la science expérimentale: construire des situations simples et contrôlées, pour faire des mesures précises, et en déduire de résultats de validité générale.
 - Comprend que *l'accélération* est la clé pour comprendre la dynamique, et qu'un corps en mouvement reste en mouvement s'il n'y a pas des forces à l'arrêter.
- Kepler améliore le système de Copernic. Il abandonne l'idée que les mouvements doivent être expliqués par des compositions de cercles. Il comprend que les trajectoires des planètes sont des ellipses (Loi 1). Et que la vitesse est telle que l'aire parcourue est constante (Loi 2).
- Le système de Copernic, à différence du système de Ptolémée permet d'évaluer le rayon de l'orbite des planètes, parce que les épicycles apparents doivent être de la même dimension que le rayon de l'orbite de la Terre. Grâce à ça, Kepler observe qu'il y a une relation entre rayons et périodes: les cubes des rayons sont proportionnels aux carrés des périodes: $T^2/R^3 =$ même pour toutes les planètes (vrais aussi pour les satellites de Jupiter) (Loi 3).

Devoir:

1. En utilisant la 3^{ème} loi de Kepler, calculer la *vitesse* à laquelle se déplacerait une « petite lune », en orbite autour de la Terre *juste au-dessous des montagnes*, c'est-à-dire, avec un rayon orbital égal au rayon de la Terre. (Rappelez vous que de la dimension angulaire de la Lune que vous avez mesuré, et de la comparaison de la Lune avec l'ombre de la Terre durant une éclipse, nous avons évalué, suivant Hipparque, la distance de la lune à 60 fois le rayon de la Terre.) Si vous êtes capables, calculez aussi *l'accélération* de cette lune sur cette orbite basse.

2. Le résultat des expériences de Galilée est qu'une boule a une accélération constante. Cette accélération est de plus en plus faible quand l'inclination est mineure. Il a aussi vérifié que si la boule monte un plan incliné, elle décélère, et sa décélération est de plus en plus faible si l'inclination est mineure. De là, il en tire qu'en plan, s'il n'y avait pas de frottement une boule continuerait sans jamais s'arrêter (contrairement à ce que tout le monde avait pensé depuis des siècles). Quel est le raisonnement de Galilée ? Comment arrive-t-il à cette conclusion ?