

5ème cours

La réalisation finale du rêve: la synthèse du ciel et de terre

Le miracle de capturer la nature avec les mathématiques finalement se concrétise : c'est un anglais qui le réalise: Isaac Newton.

Newton



Isaac Newton, 1643-1727

Newton est probablement le plus grand scientifique de tous les temps. Les lois fondamentales de la mécanique utilisées aujourd'hui encore par de nombreux ingénieurs et scientifiques ont été découvertes par lui. La structure de base de la science théorique et expérimentale est la sienne. Encore plus, c'est lui qui a découvert que les lois physiques dans le Ciel et sur la Terre sont les mêmes. Newton a uni le Ciel et la Terre. L'influence de cette découverte sur la civilisation humaine entière a été immense.

Suivons sa démonstration plus qu'étonnante, qui nous amène à l'unité du Ciel et de la Terre :

Les informations de Newton sont:

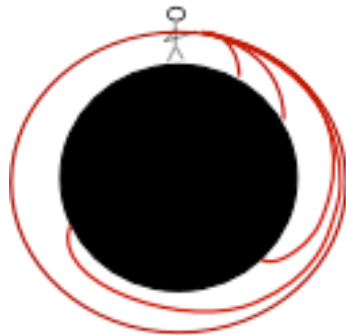
- 3ème loi Kepler: $T^2/R^3 = \text{constante}$ (avant Newton elle a été confirmée par Huygens être valable aussi pour les satellites de Jupiter)
- La découverte de Galilée que les choses tombent avec une accélération constante de valeur : $g \sim 10 \text{ m/s}^2$
- La mesure de Eratosthène du rayon de la terre : $R = 6370 \text{ Km}$
- La mesure d'Hipparque de la distance de la Lune : $r = 60 R$
- La période lune : $T = 1 \text{ mois}$ (plus précisément : 29,7 jours)

Pour résumer :

Kepler:	$T^2/R^3 = \text{constante}$
Galilée:	$g = 10 \text{ m/s}^2$
Eratosthène	$R = 6370 \text{ Km}$
Hipparque	$r = 60 R$
Période lune	$T = 29,7 \text{ jours}$

Avec ces simples données, Newton fait un miracle. Voyons comment.

Il y a un dessin remarquable dans un des livres de Galilée: un objet lancé à une vitesse de plus en plus grande, retournerait au même point, après un tour de la Terre.



Imaginez alors qu'il y ait une deuxième « petite » lune, qui est en orbite autour de la terre, juste au dessus des montagnes. Quel serait sa période $T_{\text{petite lune}}$?

Grâce à la loi de Kepler, on peut faire un calcul et le savoir, parce que le rapport T^2/R^3 pour cette petite lune devrait être le même que celui de la Lune, que nous connaissons. On obtient:

$$(T_{\text{petite lune}})^2 / 1^3 = (1 \text{ mois})^2 / 60^3$$

ça donne :

$$T_{\text{petite lune}} = 5000 \text{ s}$$

Quelle serait l'accélération de cette petite lune ?

(L'accélération d'un mouvement circulaire, que Newton sait calculer est $a = (2\pi)^2 R / T^2$)

Avec $T = T_{\text{petite lune}} = 5000 \text{ s}$, et $R = \text{rayon de la Terre: } 6370 \text{ Km}$, on trouve :

$$a \sim 10 \text{ m/s}^2$$

Et ça s'est exactement l'accélération de la gravité mesurée dans les expériences de Galilée !!!

L'accélération qui tient la lune sur son orbite est LA MEME des choses qui tombent sur la Terre !

Que veut dire cette « coïncidence » incroyable ? Suivons Newton :

Supposez plusieurs lunes qui tournent autour de la terre, comme dans le système de Jupiter ou de Saturne ; les périodes de ces lunes (par l'argument de l'induction) observeraient la même loi que Kepler a trouvé pour les planètes. Si la plus bas de ces lunes était petite, et était ainsi près de la terre, presque touchant les dessus des plus hautes montagnes, la force centripète serait égale aux poids de tous les corps terrestres qui devraient être trouvés sur les dessus de ces montagnes, comme le calcul précédent a montré. Par conséquent si la même petite lune est abandonnée par sa force centrifuge qui la porte, elle descendrait à la terre; et cela avec la même vitesse que les corps lourds tombent réellement avec sur les dessus de ces montagnes mêmes.

Ces deux forces, c'est-à-dire, la pesanteur des corps lourds, et les forces centripètes des lunes, les deux vers le centre de la terre, sont semblables et égales entre elles-mêmes, et donc, sont une et même cause. Et donc la force qui maintient la lune sur son orbite est la force que nous appelons généralement gravité.

Newton, Principia, Scolium Prop IV, Theorem IV. Livre III.

La force qui fait tomber les objets et la force qui garde les planètes et les satellites sur leurs orbites sont les mêmes. Newton appelle cette force "gravitation universelle", et, sur la base de la troisième loi de Kepler arrive à écrire la loi qui la gouverne:

$$F = GMm/r^2.$$

Newton met tout ensemble, et construit une image du monde nouvelle:

- ce qui compte est l'accélération (non la vitesse) – Galilée.
- une force cause une accélération : $F = ma$

- la force de gravité est la même qui fait tomber les choses et tourner les astres : $F = G Mm/R^2$
(par symétrie)

Donc: les lois du mouvement sont les mêmes sur la terre et dans le ciel ! et on les a trouvés !

Toute la solution du problème posé depuis 2000 ans !

$$F = ma$$

$$F = G Mm/R^2$$

En mettant ensemble la "mécanique céleste" de Kepler et la "mécanique terrestre" de Galilée, Isaac Newton trouve la loi fondamentale du mouvement de *tous* les corps: $F=ma$.

Si on part de ces deux équations, on obtient les paraboles de Galilée et les ellipses de Kepler. Beaucoup plus que cela: sa théorie donne aussi toutes les corrections aux ellipses, due à l'interaction gravitationnelle entre planètes.

La théorie de Newton est la base de tout autre développement en mécanique (corps rigides, fluides...) Ces lois, en effet, règlent le mouvement de toutes les choses qui tombent, de la lune des planètes, de satellites, de galaxies ...

Le « œ » de Newton est un livre extraordinaire: pratiquement pas d'erreurs. Il permet de faire des "prédictions" sur *toutes* les choses en mouvement.

Il ne faut que trouver les équations des autres forces.

(Le programme pour les trouver ne s'achève que dans les siècles suivants: Force électromagnétique: Maxwell et Faraday XIX siècle, Forces nucléaires XX siècle.)

Le système théorique de Newton se révèle d'une efficacité immense. Il est encore à la base d'une très grande partie de la science moderne et de ses applications.

Après l'immense succès du Newtonianisme, et dans les siècles qui suivent, la méthode scientifique empirique - rationaliste - mathématique devient de plus en plus, et pour plus et plus des peuples, une référence idéal pour la recherche de la connaissance.

Pour terminer :

Qu'est ce que la science?

- abandon de préjugés faux
- ouverture aux idées nouvelles
- certitude limitée
- changement, évolution, dialogue, doute
- la science est une vision du monde en évolution
- rationalité, empirisme, mathématiques.
- existence d'un ordre mathématique des choses.
- courage de changer d'idée.
- ne croire qu'aux évidences.
- douter des idées reçues...

Quoi d'autre ?

Résumé 5

1) En mettant ensemble la "mécanique céleste" de Kepler et la "mécanique terrestre" de Galilée, Isaac Newton trouve la loi fondamentale du mouvement de *tous* les corps: $F=ma$.

2) Il découvre que la force qui fait tomber les objets et la force qui garde les planètes et les satellites sur leurs orbites sont exactement les mêmes. Il appelle cette force la "gravitation universelle", et, sur la base de la troisième loi de Kepler, arrive à écrire la loi qui la gouverne: $F=GMm/r^2$.

3) Le calcul qui l'amène à cette conclusion est la comparaison de l'accélération de la lune avec l'accélération mesurée par Galilée, via la troisième loi de Kepler. Tous ces ingrédients sont des conséquences directes de la découverte de Copernic; et donc des conséquences indirectes du succès de l'ancienne astronomie Grecque et Alexandrine.

4) Le système théorique de Newton se révèle d'une efficacité immense. Il est encore à la base d'une très grande partie de la science moderne enseignée à l'Université, et de ses applications.

5) Après l'immense succès du Newtonianisme, et dans les siècles qui suivent, la méthode scientifique empirique - rationaliste - mathématique devient de plus en plus, et pour plus et plus des peuples, une référence idéale pour la recherche de la connaissance. C'est un héritage majeur que l'ancienne civilisation grecque et l'Europe moderne apportent à la civilisation planétaire qui est en train de se construire.

6) La mécanique de Newton est considérée pendant trois siècles comme une théorie de base complète et finale du monde physique. Ce ne sont que sa forme mathématique et la liste des forces connues qui sont améliorées. Mais au cours du XX siècle, les limites de la théorie de Newton sont découvertes, et deux théories plus générales et plus efficaces sont développées: la Relativité Générale d'Einstein, et la mécanique quantique de Heisenberg, Dirac et Schrödinger.

7) Les développements du XX siècle montrent que la recherche de la connaissance est toujours ouverte et que la méthode *critique*, qui vise à remettre toujours en discussion toute certitude acquise, est encore la forme la plus efficace d'éviter des erreurs et de chercher la connaissance. La route continue.

Questions :

- 1) **Au Moyen Âge la plus part des savants pensaient que la terre**
 - a) était plate,
 - b) était une sphère,
 - c) était en mouvement.

- 2) **Au temps de Colomb tout le monde pensait que la terre est plate. Colomb a prouvé que la terre est ronde en arrivant en Amérique.**
 - a) Vrai.
 - b) Faux.
 - c) Vraie la première phrase, fausse la deuxième.

- 3) **Pendant le Moyen Âge, la science**
 - a) a avancé lentement, et presque uniquement dans les pays de l'Islam,
 - b) était perdue dans les pays du moyen orient, mais a continué à fleurir en Europe,
 - c) était perdue en occident mais très florissante en orient,
 - d) était pratiquée seulement par les religieux.

- 4) **Les astronomes arabes**
 - a) ne connaissaient pas l'astronomie grecque,
 - b) la connaissaient, mais ne la comprenaient pas,
 - c) la comprenaient bien, et ont cherché de l'améliorer,
 - d) ils ont fait des progrès majeurs en astronomie.

- 5) **Les textes de l'ancien savoir grec sont arrivés en Europe principalement depuis le monde Arabe**
 - a) Vrai.
 - b) Faux : ils ont surtout été retrouvés dans les anciennes bibliothèques européennes.
 - c) Faux: ils n'avaient jamais été oubliés.

- 6) **Le mérite majeur de Copernic est de**
 - a) avoir libéré le système de Ptolémée de l'équant,
 - b) avoir montré que c'est possible de changer radicalement l'image du monde.
 - c) avoir compris que les orbites des planètes ne sont pas des cercles.

7) Est-ce que pour Ptolémée le Soleil est au centre de l'Univers ?

- a) oui,
- b) non,
- c) on ne sait pas.

8) Est-ce que pour Copernic le Soleil est au centre de l'Univers ?

- a) oui,
- b) no,
- c) on ne sait pas.

9) Est-ce que le Soleil est au centre de l'Univers ?

- a) oui,
- b) non,
- c) on ne sait pas.

10) Tenant compte des vos réponses aux questions 38) et 39), est-ce que la théorie de Copernic sur le Soleil est de la bonne science?

- a) Non, parce qu'elle est fausse.
- b) Oui, parce qu'elle est vraie.
- c) Oui. Copernic a compris quelque chose d'important sur le monde. Ensuite, nous avons appris encore plus.

11) Le système de Copernic, à la différence du système de Ptolémée permet d'évaluer le rayon de l'orbite des planètes,

- a) parce que certains épicycles et certains déférents du système de Ptolémée doivent avoir la même dimension que le rayon de l'orbite de la Terre.
- b) parce que la planète parcourt des aires égales dans des temps égaux.
- c) parce que ce résultat suit de la loi de Newton
- d) parce que la qualité des observations a beaucoup été améliorée au temps de Copernic.

12) Imaginez l'existence d'une autre planète ("Vulcan") toujours à côté du Soleil, comme Mercure et Venus. Imaginez que les données de Ptolémée soient: déferrent 60, épicycle 6. Quel serait le rayon de son orbite, dans le modèle de Copernic?

- a) 10 fois le rayon de l'orbite de la Terre.
- b) 1/10 fois le rayon de l'orbite de la Terre.
- c) 6 fois le rayon de l'orbite de la Terre
- d) 1/6 fois le rayon de l'orbite de la Terre.

13) Avec les mêmes données pour "Vulcan" que la question précédente, quelle doit être la période de Vulcan ? (Kepler!) (Utilisez $32 \times 32 \sim 1000$)

- a) ~ 11 jours
- b) ~ 32 jours.
- c) ~ 60 jours
- d) ~ 320 jours.

14) Le monde pour Ptolémée est beaucoup plus grand que pour Copernic.

- a) Vrai.
- b) Faux ; la dimension est la même.
- c) C'est le contraire.

15) Par rapport à Copernic, Kepler comprend que

- a) Jupiter a des satellites
- b) le soleil est au centre du système solaire
- c) les orbites ne sont pas des cercles ou des cercles sur des cercles

16) Comment est Kepler arrivé à comprendre ce qu'il a compris des mouvements des planètes ?

- a) grâce aux équations de Newton
- b) grâce aux expériences de Galilée
- c) grâce à une étude très précise des observations sur la position des planètes dans le ciel.

17) Pourquoi les résultats de Kepler sont importants ?

- a) Parce qu'ils ont ouvert la voie à la théorie de Newton,
- b) parce qu'ils ont montré qu'une étude très précise des données nous amène à comprendre des choses fondamentales,
- c) parce qu'en modifiant le projet très ancien de l'astronomie (« décrire les mouvements des planètes sur la base de cercles ») ils ont montré que la science peut avancer en changeant ses propres règles du jeu,
- d) pour toutes ces raisons.

18) Galilée est le premier

- a) à observer les satellites de Jupiter
- b) à faire des véritables expériences scientifiques
- c) à écrire des lois mathématiques qui décrivent le mouvement des corps terrestres
- d) à faire des véritables observations scientifiques
- e) a, b, c et d
- f) a, b et c

19) La loi de Galilée de la chute des corps est $h = \frac{1}{2} g t^2$. Ici la valeur de g est

- a) inconnue ;
- b) à peu près 10 mètres par seconde – carré ;
- c) à peu près 300 mille Kilomètres par seconde ;
- d) fonction de la masse du corps qui tombe, parce que plus un corps est massif, plus il tombe vite.

20) La théorie de Newton

- a) est étudiée seulement pour des raisons historiques ;
- b) a été très importante, mais aujourd'hui nous ne l'utilisons plus, parce que des théories plus précises ont été découvertes ;
- c) est encore à la base d'une très grande partie des applications de la science ;
- d) est aujourd'hui la meilleure théorie pour décrire le mouvement de tous les corps.

21) Qu'est ce que la « gravitation universelle » ?

- a) La découverte que les choses tombent
- b) La découverte que les choses tombent et les planètes suivent des orbites
- c) La découverte de la raison ultime pour laquelle les choses tombent
- d) La découverte que les mêmes équations décrivent le corps qui tombent et les orbites des planètes

22) La relation historique entre Galilée Newton et Kepler est

- a) Newton est arrivé à combiner les théories de Galilée et de Kepler dans un cadre général unique.
- b) Avec des expériences, Galilée a montré que les théories de Newton étaient correctes.
- c) Kepler a combiné la mécanique terrestre de Galilée et les observations de Newton pour comprendre que les planètes ne suivent pas de cercles, mais des ellipses.
- d) Kepler a déduit la loi des mouvements des planètes des équations de Newton.

23) La relation logique entre les résultats de Galilée, Newton et Kepler est

- a) La loi de la chute des corps de Galilée suit les équations de Newton.
- b) Les trajectoires elliptiques des planètes de Kepler suivent les équations de Newton.
- c) (a) et (b) sont vraies.
- d) Ni (a) ni (b) sont vraies.

24) Quelle est la différence entre "observation de la nature" et "expérience" ?

- a) Une expérience est une observation avec des instruments.
- b) Une expérience se passe dans un laboratoire, une observation à l'extérieur.
- c) Dans une observation, on observe passivement, une expérience est une situation spéciale construite artificiellement pour interroger la nature.

25) Lequel des critères suivants est un bon critère pour voir si une théorie est « scientifique » ?

- a) En principe, on peut faire une expérience qui prouve que la théorie est fausse.
- b) Par définition, une théorie est toujours vraie.
- c) Des scientifiques y croient.

26) Les prédictions d'une théorie scientifique peuvent être très utiles. Mais les prédictions d'une théorie scientifique ont un autre rôle fondamental en science, même avant leur utilité pratique. Le quel ?

- a) Rendre célèbre celui qui a fait la prédiction.
- b) Tester la théorie.
- c) Appliquer la théorie dehors de son domaine de validité.

27) Typiquement, des théories scientifiques sont remplacées car :

- a) les scientifiques qui les défendent meurent,
- b) elles deviennent démodées,
- c) elles demandent des maths très compliquées,
- d) elles ne sont pas capables d'expliquer des nouvelles observations ou expériences.

28) Les quelles des activités suivantes sont propres à la science ?

- a) Discussion et doute.
- b) Observations et expériences.
- c) Compréhension et interprétation du monde.
- d) Toutes les précédentes.
- e) b et c.

29) Les quelles des activités suivantes ne sont pas propres à la (bonne) science ?

- a) Evolution des modèles.
- b) Scepticisme par rapport à la vérité absolue.
- c) Recherche de régularités dans la nature.
- d) Confiance absolue dans l'enseignement des maîtres.

30) Une caractéristique essentielle de la pensée scientifique est :

- a) trouver des vérités certaines,
- b) remettre sans cesse en discussion toutes les vérités acquises,
- c) utiliser des maths compliquées,
- d) avoir comme objectif central des applications technologiques.

31) Les théories scientifiques d'aujourd'hui sont crédibles parce que:

- a) elles sont tout à fait correctes,
- b) elles ont été testées complètement,
- c) elles sont rationnelles, donc correctes.
- d) elles peuvent ne pas être totalement correctes, mais représentent la meilleure compréhension des phénomènes que nous avons trouvée jusqu'à aujourd'hui.

Questions générales:

1. Résumez en deux ou trois pages le parcours intellectuel des idées, des observations et des développements théoriques, qui ont amené à la science moderne. Lesquelles vous semblent les idées clés, et les passages les plus importants?
2. Pourquoi la science s'est développée dans le monde grec et européen, et non pas dans d'autres civilisations, comme par exemple en Chine, Inde, ou le monde Arabe, civilisations qui ont pourtant développé et passé au reste du monde des avancées sociales, technologiques et mathématiques majeures? Est ce que la domination Européenne sur l'entière planète, qui s'est établie le long des trois derniers siècles (et qui est en train de terminer), peut être une *cause*, ou bien une *conséquence*, ou bien un *phénomène avec les mêmes causes*, du développement de la science en Europe?
3. Le développement scientifique, rapide dans la période Grecque, a fortement ralenti pour presque mille ans. Dans cette période, la confiance dans l'approche rationnelle à la connaissance avait été abandonnée, beaucoup des connaissances anciennes étaient perdues, la bibliothèque d'Alexandrie, custode du savoir ancien, a brûlé. Est ce que vous pensez qu'un phénomène analogue pourrait se produire aujourd'hui? Y a-t-il des signes d'une diminution de la confiance de la société dans la science? Y a-t-il des risques de retour à l'irrationalisme ?