

Astronomie *Québec*

De retour...



Sept ans...

...ou presque ; ça faisait presque sept ans que n'était pas paru *Astronomie-Québec*. Eh ! que le temps passe vite ! J'ai arrêté en janvier 2016, par manque de motivation et d'inspiration ; la passion était morte. Mais ceux qui me connaissent savent que je ne suis pas du genre à rester silencieux très longtemps. Oh ! j'ai publié çà et là, des petits articles ou des œuvres plus considérables — notamment, une traduction française, la première depuis plus de 200 ans, de *l'Almageste* de Ptolémée, originalement publié vers l'an

150 —, mais pas de magazine *Astronomie-Québec* comme tel. Et ça me manquait ; je disais d'ailleurs souvent aux gens qu'«un jour, je recommencerai». Eh ! bien, ce jour est arrivé.

Le retour vers la Lune y est probablement pour quelque chose — la fusée Artemis I vient de s'envoler vers la Lune. Cette mission n'est pas habitée, mais une prochaine (Artemis 3, présentement prévue pour 2025) devra mettre un humain (et, pour la première fois, enfin une femme !) sur notre satellite naturel —, mais c'est surtout un commentaire récent qu'on m'a fait, suite à une présentation. «Depuis que tu as arrêté, il n'y a rien de publié ; personne ne s'en occupe ?», suivi d'un mouvement de tête désapprouvateur. Je ne nommerai pas ici la personne qui m'a dit ça — j'ose espérer qu'elle se reconnaisse —, mais je tiens à la remercier vivement.

Grâce à cette personne, *Astronomie-Québec* vient de renaître...

Pierre Paquette
Éditeur, *Astronomie-Québec*

Couverture : Image de la Terre vue d'au-delà de la Lune (aperçue en bas à droite), par les astronautes d'Apollo 17, la dernière mission habitée à avoir visité la Lune, en 1972. Plus de cinquante ans plus tard, la NASA amorce enfin un retour vers la Lune avec *Artemis*.

Vos articles sont les bienvenus...
Envoyez-les à pierre@astronomie.quebec

Astronomie-Québec (ISSN 1929-4301) est publié quatre fois l'an au format PDF et disponible gratuitement au <https://astronomie.quebec>

Un magazine nommé Astronomie-Québec fut publié de 1991 à 2001 par Les Éditions Astronomiques. Le présent magazine a été fondé en juin 2012 par Pierre Paquette, avec l'aimable autorisation des anciens directeurs des Éditions Astronomiques pour utiliser le nom.

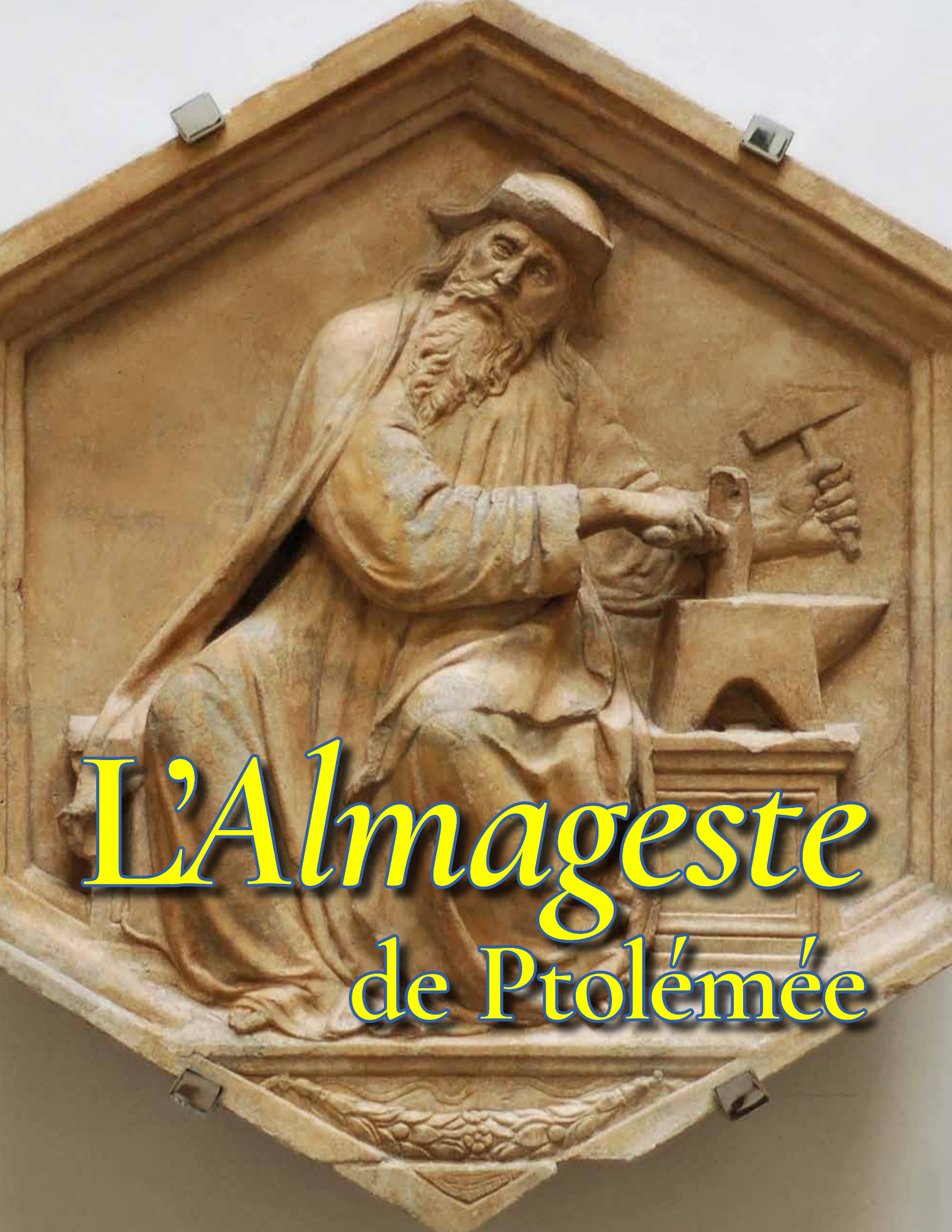
Les opinions publiées dans Astronomie-Québec n'engagent que leurs auteurs et ne sont pas nécessairement celles de l'éditeur.

© 2022 Astronomie-Québec. Reproduction interdite

Dépôt légal : Bibliothèque et archives nationales du Québec <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2110203>



Retour vers la Lune. Lancement de la fusée Artemis 1 de la NASA, dans la nuit du 15 au 16 novembre 2022. À son bord, deux mannequins, mais les missions habitées viendront en 2024 et 2025. Crédit : NASA.



L'Almageste
de Ptolémée

Dépoussiérer un monument

L'*Almageste* : non, ce n'est pas une localité du Saguenay–Lac-Saint-Jean ; c'est plutôt un traité écrit vers l'an 150 de notre ère par un astronome grec, Claude Ptolémée. Pendant environ 1 400 ans, ce fut la référence en astronomie, malgré des critiques de plus en plus nombreuses. En avril 2022, je me suis attelé à la tâche de le traduire en français. Je vous convie ici à un court survol de l'œuvre et de ma démarche.

Préambule

L'étude du ciel a débuté en Mésopotamie — essentiellement, l'Irak moderne — il y a environ 4 000 ans. C'est là qu'on trouve d'abord les Sumériens, inventeurs de l'écriture et des mathématiques, mais bientôt assimilés (apparemment, sans effusion de sang) par les Assyriens, dénomination qui regroupe les Akkadiens et les Babyloniens.

Ces derniers transmettent bientôt leur savoir aux autres populations : on retrouve des éléments d'astronomie babylonienne aussi loin qu'en Inde et en Grèce modernes. Mais la Grèce à cette époque ne se limitait pas à son territoire d'aujourd'hui : ce peuple avait installé des colonies et des postes commerciaux tout autour

de la Méditerranée. Ainsi, plusieurs philosophes «grecs» vivaient ailleurs : par exemple, Archimède (*eurêka* !) vivait en Sicile (Italie moderne), Pythagore est né à Samos (une île appartenant à la Grèce moderne, mais très près des côtes turques) et est décédé dans le sud de l'Italie moderne, et Claude Ptolémée vivait à Alexandrie, en Égypte moderne.

De surcroît, «Claude» est un prénom romain : en effet, l'Empire romain s'étendait alors tout autour de la Méditerranée, et notre vedette était donc un citoyen romain, mais d'origine grecque («Ptolémée» est un nom typiquement grec), vivant en Égypte.

Avant Ptolémée, plusieurs astronomes babyloniens et grecs ont tenté d'expliquer les mouvements de cinq points lumineux dans le ciel : les planètes, un mot qui nous vient du grec *πλανήτης ἀστήρ*, *planêtês astêr*, «astre vagabond».

Premier modèle

Le premier modèle digne de ce nom a été conçu par Eudoxe de Cnide (Turquie moderne) vers 370 AËC. Platon lui aurait demandé d'expliquer les errances des planètes par des mouvements circulaires uniformes. On avait d'abord cru que celles-ci se déplaçaient sur des sphères

cristallines concentriques à la Terre, mais cela n'expliquait pas le mouvement rétrograde — l'apparent retour en arrière des planètes à certaines phases de leur trajectoire autour du ciel. Eudoxe conçut un système dans lequel une sphère inclinée permettait un tel mouvement.

L'observation attentive du ciel souleva bientôt un autre problème : les planètes semblaient plus brillantes pendant leur phase rétrograde. Les Grecs avaient compris que cela signifiait qu'elles étaient alors plus proches de la Terre — mais si elles se déplaçaient sur des sphères concentriques à la Terre, leur distance n'aurait jamais changé ! Ce problème fut résolu par Hipparque (v. 190–v. 120 AËC), qui proposa que les planètes se déplacent sur des petites sphères, les épicycles, elles-mêmes soutenues par des grandes sphères, les déférents, concentriques à la Terre.

Encore une fois, l'observation attentive vient jeter un pavé dans la mare, puisque les boucles rétrogrades prédites par le modèle étaient toutes de taille égale et uniformément espacées, tandis que cela n'est pas du tout le cas en réalité, comme en témoigne l'illustration ci-contre.

On supposa ensuite que la Terre n'était pas au centre du déférent,

Page précédente : Panneau en marbre, campanile de Florence. Luca della Robbia (1399–1482), entre 1437 et 1439. Image © Marie-Lan Nguyen / Wikimedia Commons / CC-BY 2.5.

mais on se buta encore à un problème, puisque cela permettait d'expliquer soit l'espacement des boucles rétrogrades, mais pas leur taille ; ou leur taille, mais pas leur espacement. À en croire Pliny l'Ancien et son *Histoire naturelle* (77 ÈC), le modèle expliquant l'espacement était préféré.

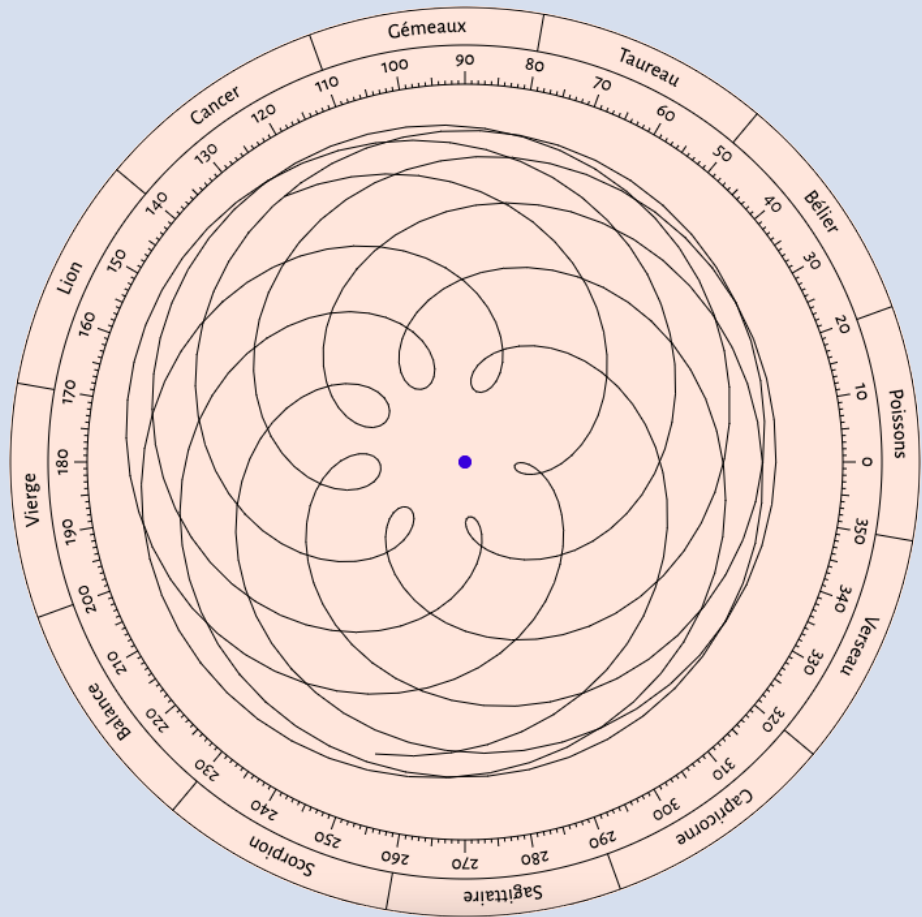
Ptolémée

La première œuvre de Ptolémée qui nous soit parvenue est une inscription qu'il a gravée sur une stèle à Canope, en banlieue d'Alexandrie, et sur laquelle il indique les paramètres sommaires de son modèle planétaire. Cette *Inscription canobique* aurait résisté jusque dans les années 600, avant d'être détruite, mais plusieurs copies en ont été faites sur du papyrus ou d'autres médias (page suivante).

De publier ces paramètres n'était pas suffisant pour Ptolémée, qui s'attela à la tâche d'expliquer d'où il les tenait. C'est ainsi qu'est née sa *Μαθηματικὴ Σύνταξις* (*Mathēmatikē Syntaxis*) *Composition mathématique*, dont le nom est devenu, par arabisation du grec puis francisation de l'arabe, l'*Almageste*. Ptolémée y expose en détails son modèle et son cheminement, se basant sur ses observations, mais aussi celles d'autres avant lui, remontant jusqu'à Babylone.

Structure de l'Almageste

L'*Almageste* se compose de treize livres, chacun divisé en plusieurs chapitres, au cours desquels Ptolémée « bâtit » son argumentation sur la base des chapitres et livres précédents. Outre le fait qu'une personne lisant l'œuvre doit avoir des notions de



Trajectoire apparente de Mars par rapport à la Terre (au centre), du début de 2022 à la mi-2036. On constate que les boucles rétrogrades sont de taille et d'espacement variable. Illustration © Astronomie-Québec / Pierre Paquette.

géométrie (on pense aux *Éléments* d'Euclide), tout ce qui est nécessaire à la compréhension d'un chapitre est expliqué dans celui-ci ou dans les précédents.

On commence donc avec des éléments généraux d'astronomie : dans le modèle de Ptolémée, la Terre est sphérique et au centre de l'univers, qui contient les sphères des planètes ainsi que la sphère des étoiles fixes, dont la taille est telle que la Terre n'a que la taille d'un point par rapport à elle.

On aborde ensuite le concept des cordes, ancêtre des fonctions trigonométriques modernes — en termes mathématiques, $\text{crd } x = 2 \sin(x \div 2)$ —, avec

l'introduction d'un premier tableau, celui des cordes, qui donnera le ton pour la suite des choses, puisque presque tous les autres tableaux suivront son modèle, soit 45 lignes.

Le Livre 2 de l'*Almageste* a plutôt trait à la géographie, ou plutôt aux aspects de l'astronomie qui sont influencés par la géographie, comme la durée du plus long jour.

La théorie du mouvement solaire est abordée au troisième livre. Puisqu'elle est relativement simple, je la résume ici : Ptolémée constate, observations à l'appui, que les saisons n'ont pas toutes la même durée. Mais comme le Soleil, suppose-t-il, doit parcourir une trajectoire égale entre le moment

ὁ ὅ σ λ γ λ ω κ η μ α
 ὁ μ ζ ζ μ γ μ α μ α μ α
 ὁ δ μ θ ἰ δ κ γ μ γ λ γ
 ὁ μ δ ὅ ς μ γ κ η μ α
 ὁ λ δ κ γ λ γ μ γ μ α λ γ
 ὁ κ μ α μ μ ἰ θ κ μ η μ α
 ὁ μ θ κ ἰ ζ ἰ γ ἰ β λ α
 ὁ μ θ η ἰ ζ ἰ γ ἰ β λ α
 ὁ λ γ μ θ κ β μ γ μ α κ η
 ὁ μ θ η ἰ ζ ἰ γ ἰ β λ α
 ὁ ς κ δ γ μ θ λ β γ
 ὁ γ ὅ μ α μ η κ μ α
 ἰ γ ἰ γ μ β μ κ δ μ α κ η
 ὁ γ ὅ μ α μ η κ μ α
 ἰ α θ ζ μ β θ ἰ η μ α λ γ
 ἰ γ ἰ γ μ γ μ β ἰ ζ μ δ μ θ

ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ
 ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ
 ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ

ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ
 ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ

Επισημασμένοι περὶ τὸ πᾶσι δὲ τῶν
 ἀπλῶν ἀστρονομῶν

ὁ ὅ σ λ γ λ ω κ η μ α
 ὁ μ ζ ζ μ γ μ α μ α μ α
 ὁ δ μ θ ἰ δ κ γ μ γ λ γ
 ὁ μ δ ὅ ς μ γ κ η μ α
 ὁ λ δ κ γ λ γ μ γ μ α λ γ
 ὁ κ μ α μ μ ἰ θ κ μ η μ α
 ὁ μ θ κ ἰ ζ ἰ γ ἰ β λ α
 ὁ μ θ η ἰ ζ ἰ γ ἰ β λ α
 ὁ λ γ μ θ κ β μ γ μ α κ η
 ὁ μ θ η ἰ ζ ἰ γ ἰ β λ α
 ὁ ς κ δ γ μ θ λ β γ
 ὁ γ ὅ μ α μ η κ μ α
 ἰ γ ἰ γ μ β μ κ δ μ α κ η
 ὁ γ ὅ μ α μ η κ μ α
 ἰ α θ ζ μ β θ ἰ η μ α λ γ
 ἰ γ ἰ γ μ γ μ β ἰ ζ μ δ μ θ

ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ
 ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ

ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ
 ὁμοίαι δ' αἰοί δ' ἰπὸ τοῦ
 β γ δ ε ς ζ η θ κ λ μ ν ξ ο
 ρ μ σ τ υ φ χ ψ ω
 π γ λ γ
 ρ μ ζ λ γ
 τ λ β ἰ θ
 γ μ α
 τ μ θ λ δ
 ς α δ λ β
 ς μ η μ

Une page de l'Inscription canobique de Ptolémée. Manuscrit grec du 13^e siècle.
 Source: gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France.

où il croise l'équateur céleste vers le nord (équinoxe de mars) et le moment où il atteint sa déclinaison nord maximale (solstice de juin) d'une part, et entre ce dernier point et le moment où il croise l'équateur céleste vers le sud (équinoxe de septembre) d'autre part, cela signifie soit que la Terre n'est pas au centre du cercle parcouru par le Soleil, soit celui-ci parcourt un épicycle sur un déférent centré sur la Terre — Ptolémée indique que les deux solutions permettraient d'expliquer les observations, mais opte pour la première, par simplicité (un raisonnement qui est l'ancêtre du «rasoir d'Occam», qui veut que de toutes les hypothèses possibles pour expliquer un phénomène, la plus simple est habituellement la bonne).

Retraçons donc le cheminement de Ptolémée, mais pour notre époque :

Phénomène	Date	Heure (TU)
Solstice	2022-12-22	21 h 48
Équinoxe	2023-03-20	21 h 25
Solstice	2023-06-21	14 h 58
Équinoxe	2023-09-23	6 h 50
Solstice	2023-12-22	3 h 28

Cela nous donne les durées suivantes :

Hiver	88,98 j
Printemps	92,73 j
Été	93,66 j
Automne	89,86 j

(On remarquera que le total n'est pas de 365,25 j, mais cela est dû au fait que les valeurs ont été arrondies, notamment.)

Si on place ces intervalles sur un cercle représentant les 365 jours de l'année, le cercle représentant

la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel (*l'écliptique*) devra être décentré par rapport au premier (illustration ci-dessous).

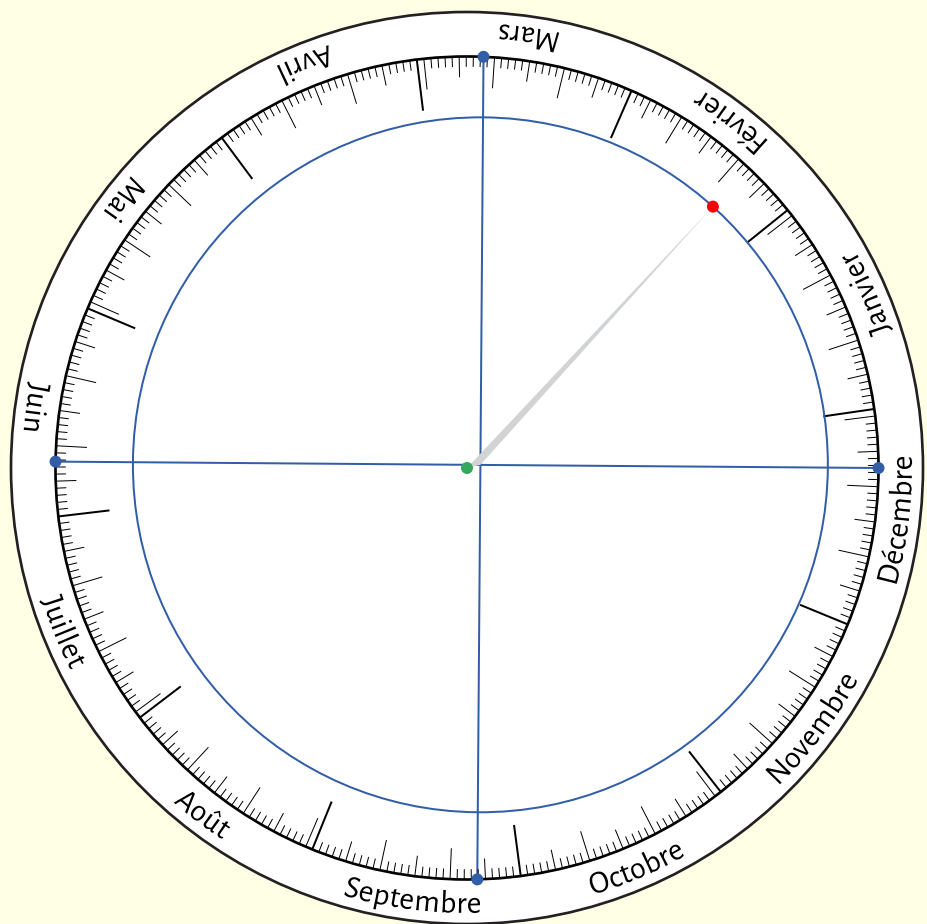
Plus que de simplement énoncer un principe, Ptolémée donne, dans *l'Almageste*, un tableau indiquant la taille de *l'anomalie* (triangle gris dans l'illustration ci-dessous) pour chaque degré de longitude moyenne du Soleil.

Théorie lunaire

Le quatrième et le cinquième livres de *l'Almageste* abordent la théorie lunaire. Ptolémée énonce d'abord qu'il faut mesurer la position de la Lune lors des éclipses lunaires, puisque ce n'est qu'alors que

l'effet de la parallaxe — due à la proximité de la Lune à la Terre et au fait que cette dernière est sphérique — peut être négligé, vu qu'on sait alors que la Lune est à 180° du Soleil. Il détermine ensuite les divers paramètres de l'orbite de notre satellite naturel, mais cela est l'occasion pour lui de noter que la Lune n'a pas qu'une seule «anomalie», mais bien deux. Il détaille ensuite la construction d'un instrument pour la prise de mesures précises, ce qui lui permet de déterminer la valeur de cette anomalie, avec encore une fois un tableau pour éviter les calculs à ses lecteurs.

Éclipses



Modèle solaire de Ptolémée. Si le Soleil se déplace à vitesse uniforme, l'angle entre les saisons (marquées d'un point bleu) doit être égal tel que vu du centre de sa trajectoire. Cela implique que celle-ci soit décalée par rapport à la Terre (point vert au centre). Illustration © Astronomie-Québec / Pierre Paquette.

Ptolémée s'attaque à la prédiction des éclipses dans le sixième livre de l'*Almageste*. La méthode est de trouver d'abord le moment de la pleine lune (pour une éclipse lunaire) ou de la nouvelle lune (pour une éclipse solaire), puis de vérifier si la Lune est alors suffisamment proche de l'écliptique pour qu'une éclipse se produise — ce qui n'est pas toujours le cas, puisque l'orbite lunaire est inclinée d'un peu plus de 5° par rapport à l'écliptique, quantité que l'on sait aujourd'hui être variable. De plus, la direction de cette inclinaison tourne graduellement autour de la Terre, chose dont tient compte Ptolémée.

Étoiles fixes

Deux livres de l'*Almageste* sont consacrés aux étoiles dites fixes (on ignorait à l'époque l'existence du mouvement propre des étoiles), avec un catalogue d'environ 1 025 étoiles indiquant leur position dans leur constellation, leur longitude et latitude écliptiques, ainsi que leur brillance. Le Livre 7 contient les étoiles de l'hémisphère céleste nord et du zodiaque, tandis que le Livre 8 contient celles de l'hémisphère sud.

Ce catalogue a fait couler beaucoup d'encre depuis sa parution, particulièrement à partir de la Renaissance. Certains, comme Tycho et Kepler, ont affirmé que Ptolémée a simplement repris le catalogue d'Hipparque, ajusté pour la précession ; cette hypothèse a trouvé beaucoup d'adeptes, mais des études statistiques approfondies ont déterminé que Ptolémée a peut-être fait cela, mais qu'il a de toute façon mesuré certaines étoiles directement, puisque son catalogue contient des étoiles ne figurant pas dans la liste d'Hipparque.

Les histoires les plus folles que j'ai lues proclament que le catalogue de Ptolémée date des années 600 à 1300 de notre ère pour une (Fomenko, Kalashnikov, et Nosovsky 1989–1993), tandis que l'autre (Goldstein 1982) penche plutôt pour les années 1804 à 974 avant l'ère commune ! Le trio russe commet toutefois une erreur de lecture, lisant 406 (ϞϞϞ) plutôt que 476 (ϞϞϞ) comme année (depuis le règne de Nabonassar, en 747 AEC) d'une occultation de Vénus, mais 476 correctement pour une occultation de Mars ; croyant qu'il y avait 70 ans entre les deux événements, ils ont cherché une période de l'histoire avec cet intervalle, plutôt que les deux occultations la même année. Une autre erreur fréquente, commise soit par les copistes, soit par les lecteurs, est de confondre les lettres Α et Δ, qui peuvent se ressembler beaucoup lorsque manuscrites.

Théorie planétaire

Le modèle présenté par Ptolémée pour expliquer le mouvement des planètes fait l'objet des Livres 9 et 10 de l'*Almageste*, où il explique, encore une fois, comment il en est arrivé à cela.

Comme je l'ai mentionné ci-dessus, les boucles rétrogrades posaient un problème aux astronomes grecs : décentrer le déférent par rapport à la Terre permettait d'expliquer soit la position relative de celles-ci, soit leur taille apparente, mais jamais les deux à la fois. Ptolémée a attaqué le problème d'un œil nouveau : plutôt que de prendre pour acquis, comme apparemment tous les autres avant lui, que le centre du mouvement uniforme coïncidait avec le centre du

déférent, il s'est demandé où il se trouvait.

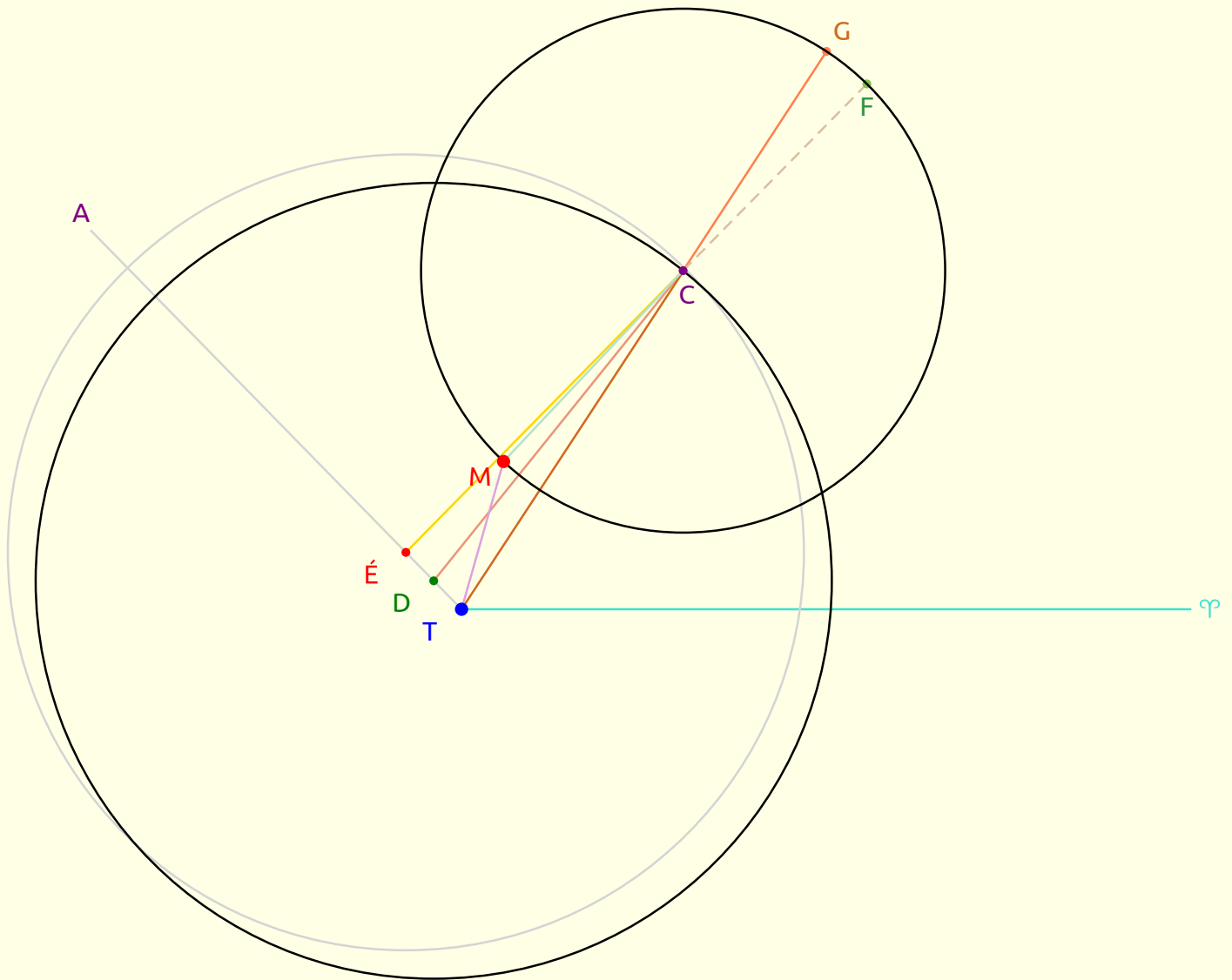
Observations à l'appui, et avec des calculs basés sur la géométrie présentée dans les chapitres précédents, Ptolémée en vient à déterminer que l'équant, comme ce centre du mouvement uniforme sera plus tard appelé, se trouve à la même distance du centre du déférent que la Terre, mais de l'autre côté du déférent, sauf pour Mercure, où l'équant se trouve à mi-chemin entre le centre du déférent et la Terre, et où le centre du déférent tourne lentement autour de l'équant.

Le modèle de Ptolémée est donc le suivant, pour toutes les planètes sauf Mercure : la planète tourne à vitesse uniforme sur son épicycle, qui tourne lui-même sur le déférent, à vitesse uniforme tel que vu non pas du centre du déférent, mais de l'équant. Dans le cas de Mercure, le principe est le même, à la différence près que le centre du déférent, comme mentionné au paragraphe précédent, tourne autour de l'équant. Le tout est présenté dans l'illustration de la page suivante.

Une discussion des points de début et de fin des boucles rétrogrades constitue le Livre 12 de l'*Almageste*, point de moindre intérêt aujourd'hui.

Latitude des planètes

Avant de conclure son ouvrage, Ptolémée présente un modèle pour expliquer la variation en latitude de chaque planète. Il se heurte toutefois à un problème, puisque peu de rapports d'observation lui sont accessibles comportant des



Le modèle de Mars tel qu'établi dans l'*Almageste*, à l'échelle. La planète est en M et la Terre en T. Le grand cercle noir est le déferent, centré sur le point D; le cercle noir plus petit et centré sur C est l'épicycle. Dans la même direction que D (soit vers l'apogée A) par rapport à la Terre, mais deux fois plus loin que D, on trouve É, le centre du mouvement uniforme de l'épicycle (qui sera plus tard appelé *équant*). Le mouvement de C autour de D est uniforme tel que vu du point É : l'angle AÉC est donc connu, de même que l'angle FCM, qui correspond au mouvement de la planète sur son épicycle, aussi uniforme. Ptolémée détaille comment calculer les angles ÉCT ainsi que CTM, et il propose des tableaux pour les trouver sans calculs complexes; au bout du compte, on obtient la longitude telle que mesurée depuis le point vernal (γ). La latitude est calculée séparément, mais à partir de la longitude.

données précises sur la latitude des planètes. Son modèle sera donc imparfait et complexe; bien qu'il soit par la suite corrigé quelque peu (voir ci-dessous), il sera tout de même suivi presque à l'identique par Copernic, quelque 1 400 ans plus tard.

Le mécanisme proposé est le suivant : le déferent est incliné par rapport à l'écliptique, et l'épicycle est incliné par rapport au déferent. Toutefois, et accomplissant sa

révolution autour de la Terre, l'inclinaison de l'épicycle change, pour être nulle aux points situés à 90° de part et d'autre de l'apogée (le point de la trajectoire apparente de la planète où elle est au plus loin de la Terre), mais à son maximum à l'apogée et au périégée. Ptolémée imagine même une petite roue permettant de faire varier l'inclinaison de l'épicycle; c'est le seul endroit, dans tout l'*Almageste*, où il est fait mention d'une quelconque structure physique,

bien qu'il soit clair que Ptolémée ne pense pas vraiment qu'il y ait une telle structure dans l'univers — mais ça permettait d'expliquer les observations, du moins en partie.

Conclusion

L'*Almageste* se termine par une discussion et des tableaux des première et dernière visibilités des planètes, point qui déjà à l'époque de Ptolémée appartenait davantage à l'astronomie du passé qu'à la science contemporaine;

Ptolémée les mentionne d'ailleurs plutôt pour les astrologues que pour les astronomes...

Autres écrits de Ptolémée

J'ai déjà mentionné l'*Inscription canobique* de Ptolémée comme étant son plus ancien ouvrage connu. Mais il ne s'est pas arrêté à l'*Almageste* par la suite : il a aussi écrit un *Tetrabiblos* (« Livre quadruple ») sur l'astrologie ; une *Géographie* très complète et précise pour l'époque, avec l'une des plus anciennes cartes du monde ; de même que des ouvrages sur l'optique, la musique, et la philosophie. En astronomie, il a aussi écrit les *Tables pratiques*, qui sont pour ainsi dire un condensé de l'*Almageste*, mais avec certains ajustements des paramètres, de même que les *Hypothèses planétaires*, où ces valeurs sont encore parfois quelque peu ajustées.

Héritage

Les instruments d'observation de l'Antiquité ne permettaient pas d'atteindre une précision suffisante pour estimer la qualité des prédictions faites selon le modèle de Ptolémée, sauf quelques rares exceptions. Ainsi, les premières critiques apparaissent au sujet de la théorie solaire de Ptolémée, de même que par rapport à la précession.

Les astronomes musulmans découvrent en effet, vers les années 900, que l'apogée solaire se meut, contrairement à ce que pensait Ptolémée, et que la précession est variable : ils introduisent alors la théorie de la trépidation — un mouvement de va-et-vient de la précession —, qui se révélera bien plus tard être une erreur causée par

une imprécision des paramètres de Ptolémée et probablement d'Hipparque avant lui.

Quand arrive finalement Copernic (dont le travail pourrait avoir été inspiré de sources musulmanes), la « conversion » au système héliocentrique est simplement un changement de point de vue du système de Ptolémée, dont les paramètres sont repris presque à l'identique par l'astronome de la Renaissance.

Traduction

Mon intérêt pour l'histoire de l'astronomie ainsi que mon métier de graphiste m'ont amené à vouloir créer une animation du modèle planétaire de Ptolémée, chose que j'ai commencée en 2020 et publiée sur le site astronomie.quebec, puis mes lectures sur le sujet m'ont incité à lire l'ouvrage original, soit l'*Almageste* lui-même. J'ai facilement trouvé une traduction anglaise, mais d'abord aucune version française. En commençant à lire la traduction anglaise, j'ai eu du mal à comprendre certains concepts, alors j'ai décidé de créer des versions animées de quelques diagrammes ; voulant les expliquer en français, j'ai décidé que le mieux était de traduire les passages en français.

J'ai par la suite trouvé une édition française, réalisée par l'abbé Nicolas Halma entre 1813 et 1816... mais j'ai vite trouvé un site web mentionnant qu'elle est « très fautive », alors j'en ai cherché une autre. En vain. C'est alors que j'ai décidé d'appliquer le vieil adage qui dit qu'« on est jamais si bien servi que par soi-même », et de traduire l'*Almageste* au complet.

J'ai aussi trouvé une traduction en allemand ainsi qu'une version « révisée » en grec imprimé, et plus tard des versions manuscrites datant d'il y a plusieurs siècles, le tout grâce à Internet. Mes quelques rares notions de ces deux langues m'ont parfois aidé à démêler certaines confusions quand la version anglaise et la version française se contredisaient ; j'ai ainsi pu constater par moi-même qu'en effet, la version d'Halma est truffée d'erreurs — j'ai tâché d'en rapporter autant que possible dans ma traduction, en tant que notes.

Quelques diagrammes ont été produits en version interactive, aléatoire, ou animée. J'ai fait aussi quelques pages annexes, contenant par exemple des versions corrigées des tableaux — après avoir trouvé des formules modernes permettant de les calculer dans divers livres, notamment *A History of Ancient Mathematical Astronomy* d'Otto Neugebauer, *A Survey of the Almagest* d'Olaf Pedersen, et *Mathematical Tables in Ptolemy's Almagest* de Glen Van Brummelen.

Ma traduction française de l'*Almageste* est disponible gratuitement en ligne au <http://almageste.ca> ainsi qu'au <https://ecliptiqc.ca>. Je travaille continuellement sur des animations supplémentaires, alors je vous invite à consulter le site régulièrement pour des nouveautés.

De plus, je présenterai bientôt un résumé du modèle de Copernic, encore avec des diagrammes interactifs, aléatoires, ou animés.

Restez à l'affût !



Quiz

Niveau débutant, mais attention aux pièges...

Quelle est la planète la plus rapprochée du Soleil ?

- A. La Terre
- B. Mercure
- C. Neptune
- D. HR 8799b



Image © Marie-Lan Nguyen / Wikimedia Commons / CC-BY 2.5.

Comment se nomme l'accessoire interchangeable qui permet de varier le grossissement d'une lunette ou d'un télescope ? (Illustré ci-dessus.)

- A. Passoire
- B. Objectif
- C. Trépied
- D. Oculaire

Dans quelle constellation se trouve l'étoile Sirius ?

- A. Écu de Sobieski
- B. Taureau
- C. Grand Chien
- D. Grande Ourse

Quel astronome français a dressé un catalogue de 110 amas d'étoiles, nébuleuses, et galaxies ?

- A. Charles Hudon
- B. Claude Lévêillé
- C. Michel du Buisson
- D. Charles Messier

Trouvez l'intruse.

- A. Kochab
- B. Sirius
- C. Antarès
- D. Gienah

Comment se nomme l'étoile la plus brillante de la constellation du Scorpion ?

- A. Achernar
- B. Antarès
- C. Le Dard
- D. La Brillante

L'étoile Dubhe est-elle visible du Québec ?

- A. Oui, mais seulement l'hiver
- B. Oui, mais seulement l'été
- C. Oui, à n'importe quelle date
- D. Non



Image : © National Portrait Gallery, Londres. Sous licence.

Qui a découvert la planète Uranus ? Indice : Sa photo est ci-dessus...

- A. Urbain Le Verrier
- B. John Herschel
- C. Caroline Herschel
- D. William Herschel

À quel personnage historique doit-on la théorie de la gravitation universelle ?

- A. Hipparque
- B. Ptolémée
- C. Newton
- D. Galilée

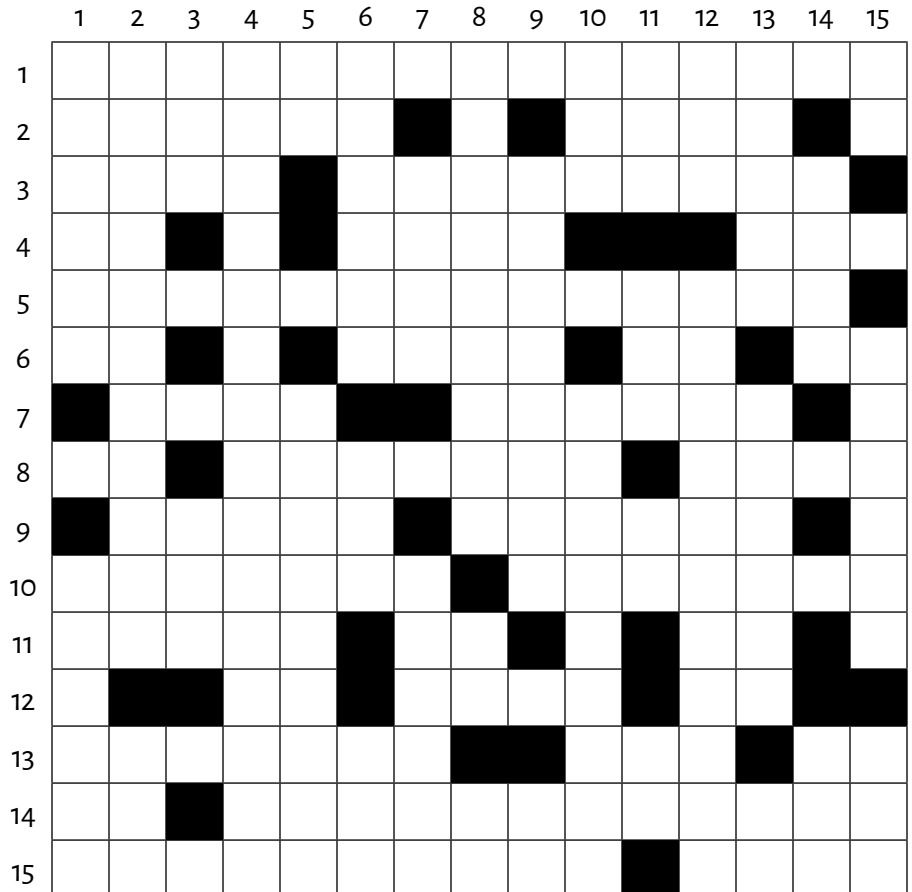
Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face ?

- A. Parce qu'elle ne tourne pas sur elle-même
- B. Parce qu'elle tourne sur elle-même en autant de temps qu'il lui prend pour tourner autour de la Terre
- C. Parce que la NASA nous cache des choses
- D. Parce que le Soleil n'éclaire pas l'autre côté

Mots croisés

Horizontalement

- 1 Père de l'astronomie moderne (prénom et nom).
- 2 Nom propre de l'étoile Theta Eridani. · Satellite de Saturne.
- 3 Choisit. · Science qui étudie les formes et leurs propriétés.
- 4 Il commence au froid. · Guetta. · Abréviation d'une constellation féminine.
- 5 A découvert les trois lois qui régissent les mouvements planétaires (prénom et nom).
- 6 Ancien oui. · Satellite de recherche d'exoplanètes. · Article. · Édouard.
- 7 Entre le Scorpion et le Centaure. · On y trouve l'étoile Capella (nom latin).
- 8 Caprice enfantin. · Elle achète... parfois. · Satellite d'observation dans l'infrarouge (1983).
- 9 Certifie un acte. · Il n'en fait qu'à sa tête (québécoisisme).
- 10 Surprendre. · Augmente la précision des graduations.
- 11 Utile pour dormir dans la forêt. · Avant-midi. · Caroline du Nord.
- 12 Astate. · Pas rapide. · Astronome amateur.
- 13 Livre groupant plusieurs ouvrages. · Pas loin. · Platine.
- 14 Amas ouvert. · Astronome danois reconnu pour la précision de ses observations (prénom et nom).
- 15 Sorte de protéine utile notamment contre le cancer. · Un des cinq grands lacs d'Amérique du Nord.



Verticalement

- 1 Peuple autochtone du Nouveau-Mexique. · Rendis plus long.
- 2 Qui s'attaque aux tabous ou aux idoles. · Période géologique.
- 3 Chat anglais. · Stupide.
- 4 Grand amas globulaire de l'hémisphère sud (trois mots).
- 5 Pas ici. · Nous habitons sur une...
- 6 Ça en prend pour acquérir de l'équipement. · Satellite ultraviolet (1978–1996). · Fédération internationale de tennis (en anglais).
- 7 À la ceinture d'Orion. · Course à étapes.
- 8 Forme occasionnelle de la Lune. · Pronom. · Chrome.
- 9 Opticien soviétique. · Holmium.
- 10 Étendue verte. · Fait d'accueillir des gens ou des choses.
- 11 Boisson chaude, à l'envers. · Ride. · Strontium. · Radio citoyenne bidirectionnelle.
- 12 Pour se déplacer dans et autour de Paris. · Ancien soldat romain.
- 13 Elle croit tout. · Plante aux propriétés toniques et stimulantes. · Argon.
- 14 Irlande. · Lettre grecque.
- 15 Césium. · Veut. · Utile au golfeur.



A cosmic scene featuring a large blue planet (Earth) on the left, a grey moon in the center, and a bright sun with rays in the upper right, all set against a starry black background.

Mesurons notre Univers

Première partie

SAVIEZ-VOUS qu'il est possible pour tout un chacun de mesurer la circonférence terrestre, la taille et la distance de la Lune et celles du Soleil, ou la distance des autres planètes, simplement en faisant des observations astronomiques faciles.

Dans cette série d'articles, je vous invite à découvrir comment mesurer notre Univers.

Diamètre de la Terre

La première mesure scientifique du diamètre de notre planète — ou plutôt, de sa circonférence, mais quand on connaît un, on connaît l'autre — daterait du deuxième siècle avant l'ère commune, par Ératosthène. Le principe est simple : connaissant l'angle entre un bâton planté à la verticale et le bout de son ombre à midi de temps solaire vrai, sachant aussi qu'un bâton similaire placé à l'équateur ne projette pas d'ombre au moment de l'équinoxe, et en connaissant aussi notre distance à l'équateur, on peut compléter une règle de trois facile pour déterminer la circonférence de la Terre. En divisant par π (3,14159265...), on obtient son diamètre.

Dans le graphique ci-dessous, les deux bâtons (évidemment pas à l'échelle) sont représentés par les lignes de couleur crème. La ligne rouge représente l'ombre du bâton supérieur, que l'on suppose être à notre latitude.

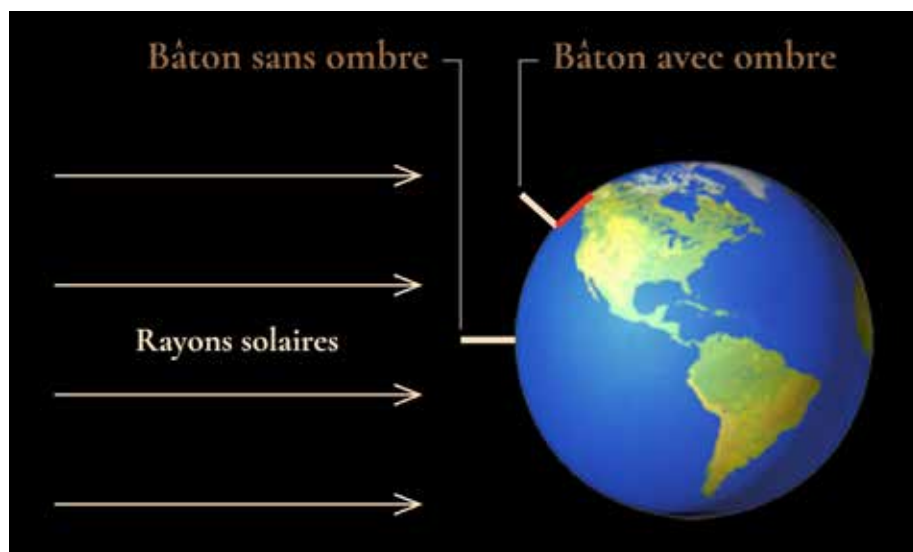
Ératosthène a obtenu $7,2^\circ$ (« un cinquantième de cercle » dans le texte original en grec ancien) pour 5 000 stades, ce qui donne 250 000 stades pour 360° . Les historiens ne s'entendent pas toutes et tous sur la longueur exacte du stade ; il en existait au moins trois sortes, mais peu importe lequel on choisit, on arrive à une erreur d'au plus 10–15 % dans le diamètre réel de la Terre, ce qui est remarquable pour les moyens de l'époque.

Dans le sud du Québec, si vous répétez l'expérience, vous devriez obtenir un angle allant d'un peu plus de 45° (à la frontière avec les États-Unis) à $48,4^\circ$ (Saguenay). Montréal étant à 5 060 km de l'équateur et $45,5^\circ$ de latitude (donc un angle de $45,5^\circ$ entre la pointe du bâton et la pointe de son ombre), on obtient le calcul suivant :

$$\frac{45,5^\circ}{5\,060 \text{ km}} = \frac{360^\circ}{x \text{ km}}$$

Ceci est la même chose que $45,5^\circ x = 5\,060 \times 360 = 1\,821\,600$, d'où $x = 40\,035,2 \text{ km}$; la valeur exacte est $40\,007,86 \text{ km}$, vu que l'on détermine dans cette expérience la circonférence polaire (d'un méridien) passant par Montréal et les pôles — la circonférence équatoriale de la Terre est, quant à elle, de $40\,075 \text{ km}$.

La différence entre la mesure et la réalité tient au fait que cette expérience suppose que le Soleil est à une distance infinie de la Terre et que ses rayons sont absolument parallèles, ce qui n'est pas exactement le cas ; toutefois, puisque l'on n'a pas encore déterminé la distance au Soleil (ce qu'on fera dans une prochaine expérience), on doit s'en tenir à cette supposition raisonnable.



Distance de la Lune

Il existe diverses façons de mesurer l'écart qui nous sépare de notre satellite naturel...

Méthode de l'éclipse lunaire

Avec cette technique, il faut d'abord connaître la taille de la Terre, ce qui a été fait à l'expérience précédente ; on doit aussi connaître la durée de révolution de la Lune autour de la Terre, ce qui est relativement facile à déterminer par l'observation — d'une pleine lune à la suivante, il s'écoule en moyenne 29 j 12 h 44 min, mais une approximation à 29½ j est suffisante.

Il faudra aussi attendre une éclipse de la Lune, idéalement totale (voir encadré). On doit d'abord mesurer la durée pendant laquelle la Lune est, au moins partiellement, dans l'ombre de la Terre. À noter que plus le centre de la Lune passe près du centre de l'ombre de la Terre, plus précise sera la détermination de la distance de la Lune.

L'autre mesure est un peu plus complexe et consiste à estimer le diamètre de l'ombre terrestre. Cela peut être fait en prenant plusieurs photos de l'éclipse complète et à les combiner ensemble, de telle sorte que l'on puisse tracer l'ombre en complétant sa courbe. Au pire, on peut aussi compléter la courbe de l'ombre sur une photo ou un dessin unique, mais cela donnera des résultats moins précis.

Le calcul consiste maintenant à déterminer la portion de l'orbite de la Lune passée dans l'ombre de la Terre. On prend donc la durée de la phase d'ombre, que l'on divise par



Crédit photo : Gregory H. Revera

la période de révolution de la Lune autour de la Terre.

Présumons que l'ombre de la Terre a la même taille que la Terre elle-même (en réalité, elle est plus petite, mais sa taille exacte dépend de la distance de la Lune, que l'on cherche justement à déterminer) ; si cette taille en kilomètres représente seulement une fraction de l'orbite, il est facile de calculer la circonférence de l'orbite complète, par une simple règle de trois.

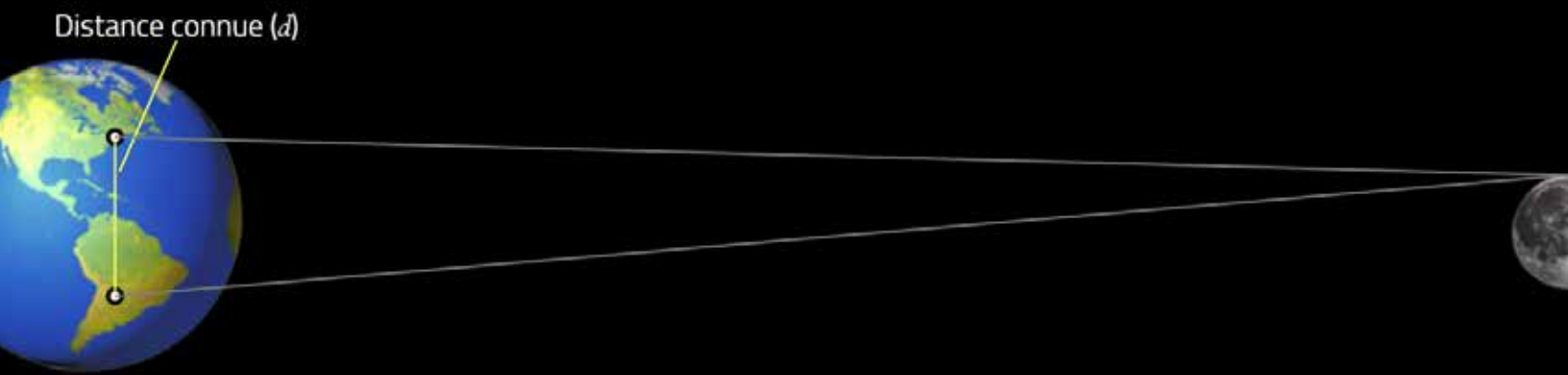
Méthode de la parallaxe

La seconde méthode de détermination de la distance de la Lune nécessite la collaboration d'une autre personne vivant loin de chez vous ; par exemple, une personne vivant en Colombie-Britannique. Chaque personne doit prendre une photo de la Lune *au même moment* — peu importe la phase — en exposant assez longtemps pour montrer les étoiles, mais pas trop pour ne pas surexposer la Lune.

Prochaines éclipses lunaires* visibles du Québec

28 octobre 2023	Partielle	28 août 2026	Partielle
18 septembre 2024	Partielle	12 janvier 2028	Partielle
14 mars 2025	Totale	26 juin 2029	Totale
3 mars 2026	Totale	20/21 décembre 2029	Totale

*À l'exception des éclipses par la pénombre, presque indétectables à l'œil nu.



Il s'agit ensuite de mesurer la parallaxe — la différence d'angle entre les deux endroits. Comme les étoiles peuvent être considérées comme étant infiniment distantes, si on connaît la distance entre les deux personnes, on connaît la distance à la Lune, comme le montre le graphique ci-dessus.

La formule pour calculer la distance de la Lune est alors :

$$D_{\text{Lune}} = \frac{d}{2} \div \tan \frac{\alpha}{2}$$

Disons par exemple qu'une personne en Argentine, à 7 850 km, prenne une photo de la Lune au même moment que vous. Vos photos montrent une différence de 1,15° dans la position de la Lune. On a donc

$$\frac{\frac{7\,850}{2}}{\tan \frac{1,15}{2}} = \frac{3\,925}{\tan 0,575} = 392\,500$$

(La distance entre les deux lieux est mesurée sur la Terre courbe et non en ligne droite, comme si un tunnel les reliait. Il est possible de tenir compte de cela, mais nous donnons ici une approche simple.)

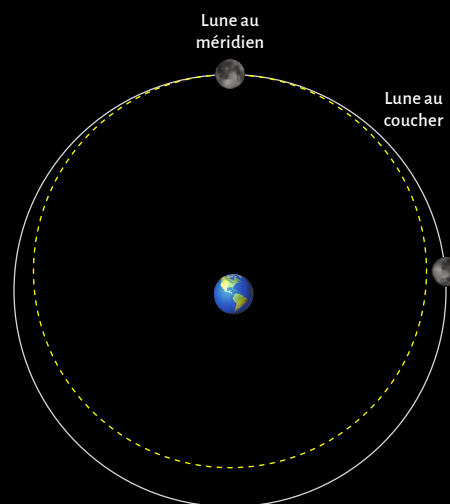
Méthode du lever/transit/coucher

La troisième méthode pour mesurer la distance à la Lune n'a besoin que d'une seule personne, et pas besoin d'attendre une éclipse ; l'expérience peut être menée quelle que soit la phase de la Lune. Il suffit simplement de prendre notre satellite en photo lors de son lever ou de son coucher, et une autre fois au moment où il est directement au méridien sud — la prise de photos additionnelles permet de faire la moyenne et de réduire l'erreur.

La taille de la Lune est ensuite mesurée sur chaque photo, et on doit connaître la hauteur de la Lune dans le ciel au moment de chaque photo.

Puisque le mouvement apparent de la Lune d'est en ouest dans le ciel est causé par la rotation de la Terre (bien que la Lune se déplace légèrement d'ouest en est pendant ce temps ; on peut corriger pour ce mouvement, mais nous ne le ferons pas ici) et que la Terre a un diamètre non nul, une personne est en fait plus proche de la Lune lorsque celle-ci est au méridien que lorsqu'elle se lève ou se couche — par quelque 6 000 km — comme

l'indique le diagramme ci-dessous. (C'est une illusion d'optique qui fait en sorte que la Lune semble plus grosse à son lever ou à son coucher qu'à son passage au méridien.)

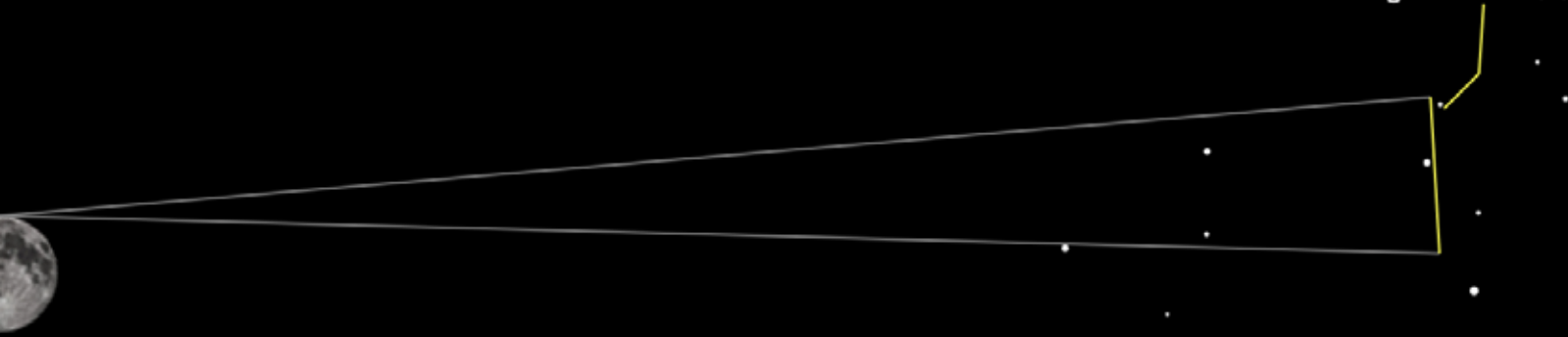


Position de la Lune au méridien et à son coucher. Le cercle gris est centré sur la Terre et représente approximativement l'orbite lunaire. Le cercle jaune est centré sur l'observateur : on constate qu'à son coucher, la Lune est en dehors de ce cercle, donc plus loin de l'observateur qu'à son passage au méridien.

La formule pour calculer la distance à partir de deux images (ou plus, en l'adaptant) est un peu plus complexe :

$$\frac{D}{R_T} = \frac{2 (\sin h_2 - a \sin h_1)}{a^2 - 1}$$

où D est la distance de la Lune ;
RT est le rayon de la Terre ;



Mesure de la distance par la méthode de la parallaxe. La Lune ne semble pas être placée au même endroit parmi les étoiles selon le lieu géographique, un peu comme un objet distant semble « basculer » à gauche et à droite de notre main placée devant nous lorsque l'on cligne des yeux en alternance. La distance peut être calculée par la formule de la page précédente.

h_2 est la hauteur de la Lune dans le ciel au moment de la seconde image ;

h_1 est celle au moment de la première image ; et

α est la taille apparente de la Lune dans la seconde image divisée par celle dans la première image. (En cas de prise d'image au lever et au passage, on intervertit l'ordre des photos.)

Supposons donc que le disque de la Lune mesurait 1246 pixels alors qu'elle était à 3° au-dessus de l'horizon. À son passage au méridien, quelques heures plus tard, elle est à $23,5^\circ$ au-dessus de l'horizon, et son diamètre à 1253 pixels. (Nos mesures sont ici données en pixels, mais vous pouvez utiliser n'importe quelle unité, du moment que c'est la même pour les deux mesures. Il est aussi possible d'obtenir une précision inférieure au pixel en mesurant le diamètre du disque lunaire en plusieurs endroits et en faisant une moyenne des mesures.)

Cela donne donc

$$\alpha = \frac{1253}{1246} \approx 1,00562$$

En remplaçant les lettres dans la formule par leurs valeurs, on a donc :

$$\begin{aligned} D \div 6378 &\approx [2 (\sin 23,5 - 1,00562 \sin 3)] \div (1,00562^2 - 1) \\ &\approx [2 (0,39874 - 1,00562 \cdot 0,05234)] \div (1,01127 - 1) \\ &\approx [2 (0,39874 - 0,05263)] \div 0,01127 \\ &\approx (2 \cdot 0,34612) \div 0,01127 \\ &\approx 0,69224 \div 0,01127 \\ &\approx 61,43662 \end{aligned}$$

donc $D \approx 61,43662 \cdot 6378 = 391\,842,784$ km.

(On utilise ici le véritable rayon terrestre, et non celui calculé ci-dessus.)

Ce résultat concorde bien avec celui obtenu par les autres méthodes présentées. On peut réduire les sources d'erreur en prenant plusieurs images alors que la Lune est à des hauteurs différentes dans le ciel et en faisant la moyenne — faire plusieurs mesures et prendre la moyenne est d'ailleurs un principe de base en science. On peut aussi faire la moyenne des distances obtenues par différentes méthodes, ce qui est un autre principe de base en science lorsque possible.

Au prochain numéro, nous déterminerons le diamètre physique de la Lune. Un indice : on utilisera les résultats obtenus ici...

Éphémérides

Décembre 2022

- 1 Opposition de l'astéroïde 349 Dembowska
Conjonction Lune–Jupiter
- 2 Étoiles filantes Phœnicides
- 3 Neptune stationnaire
- 5 Rapprochement Lune–Uranus (occultation d'Uranus visible en Europe de l'est, Russie, et Moyen-Orient)
- 6 Étoiles filantes ϕ Cassiopéides
- 7 Étoiles filantes Puppides–Vélides
Pleine lune
Conjonction Lune–Mars (**occultation de Mars visible au Canada, États-Unis sauf sud-est et Alaska, Europe du nord-ouest**)
- 8 Opposition de Mars
- 9 Étoiles filantes Monocérotides
- 10 Périhélie de la planète naine 1 Cérès
- 12 Étoiles filantes σ Hydrides
- 14 Étoiles filantes Géminides
- 15 Périhélie de la comète 81P/Wild
- 16 Étoiles filantes Comæ Bérénicides
Dernier quartier de lune
- 19 Périhélie de la comète C/2017 K2 (PANSTARRS)
- 20 Étoiles filantes Leonis Minorides
- 21 Plus grande élongation est de Mercure (visible au crépuscule)
Solstice d'hiver (16 h 48 HNE)
- 22 Étoiles filantes Ursides
- 23 Nouvelle lune
- 24 Conjonction Lune–Vénus
Conjonction Lune–Mercure
Dichotomie de Mercure
- 26 Conjonction Lune–Saturne
- 29 Conjonction Vénus–Mercure
Conjonction Lune–Jupiter
Premier quartier de lune

Janvier 2023

- 1 Conjonction Vénus–Pluton
Rapprochement Lune–Uranus (occultation d'Uranus visible au Royaume-Uni sauf sud, Scandinavie, et nord-ouest de la Russie)
- 3 Conjonction Lune–Mars (occultation de Mars visible de l'Afrique subéquatoriale)
- 4 Étoiles filantes Quadrantides
Périhélie de la Terre
- 6 Pleine lune
- 7 Conjonction inférieure de Mercure
- 12 Périhélie de la comète C/2022 E3 (ZTF)
Mars stationnaire
- 14 Dernier quartier de lune
- 15 Opposition de l'astéroïde 2 Pallas
- 18 Conjonction solaire de la planète naine 134340 Pluton
- 19 Étoiles filantes γ Ursae Minorides
- 20 Conjonction Lune–Mercure
- 21 Nouvelle lune
- 22 Conjonction Vénus–Saturne
Uranus stationnaire
- 23 Conjonction Lune–Saturne
Conjonction Lune–Vénus
- 24 Dichotomie de Mercure
- 25 Conjonction Lune–Jupiter
- 26 Opposition de l'astéroïde 6 Hebe
- 28 Premier quartier de lune
Rapprochement Lune–Uranus (occultation d'Uranus visible des îles arctiques canadiennes)
- 30 Plus grande élongation ouest de Mercure (visible en matinée)
Conjonction Lune–Mars (occultation de Mars visible du sud des États-Unis, du Mexique, de l'Amérique Centrale, et du nord-ouest de l'Amérique du Sud)
- 31 Périgée et périhélie de la comète 96P/Machholz

Février 2023

- 1 Périgée et plus grand éclat de la comète C/2022 E3 (ZTF)
- 5 Pleine lune
- 8 Étoiles filantes α Centaurides
- 11 Conjonction Mercure–Pluton
- 13 Dernier quartier de lune
- 15 Conjonction Vénus–Neptune
- 16 Conjonction solaire de Saturne
- 18 Conjonction Lune–Mercure
- 20 Nouvelle lune
- 22 Conjonction Lune–Vénus
Conjonction Lune–Jupiter (occultation visible du sud de l'Amérique du Sud ainsi que d'une partie de l'Antarctique)
- 25 Rapprochement Lune–Uranus
- 27 Premier quartier de lune
Conjonction Lune–Mars (occultation de Mars visible du nord-est du Groenland)

Mars 2023

- 2 Conjonction Vénus–Jupiter
Conjonction Mercure–Saturne
- 7 Pleine lune
- 14 Dernier quartier de lune
- 15 Étoiles filantes γ Normides
Conjonction solaire de Neptune
- 17 Conjonction solaire supérieure de Mercure
- 19 Conjonction Lune–Saturne
- 20 Équinoxe de printemps (17 h 25 HAE)
- 21 Nouvelle lune
Opposition de la planète naine 1 Cérès
- 22 Conjonction Lune–Jupiter
- 24 Conjonction Lune–Vénus (occultation de Vénus visible du sud-est de l'Afrique, du Yémen, et du sud de l'Asie — sauf l'Indonésie et l'extrême est de la Chine, du Laos, du Vietnam, et du Cambodge)
- 28 Conjonction Lune–Mars
Premier quartier de lune
- 29 Opposition de la planète naine 136472 Makemake
- 31 Conjonction Vénus–Uranus

Source : In-The-Sky.org

Réponses au quiz

1B, 2D, 3C, 4D, 5A, 6B, 7C, 8D, 9C, 10B