

HISTORIQUE

En 1676	▪ ▪ Première mesure par Ole Romer	225 000 km/s
En 1725	▪ ▪ Mesure de Bradley	308 300
Vers 1850	▪ ▪ Mesure de Fizeau et Foucault	299 774

Premières mesures:

- ▪ Olaüs RÖMER (1644-1710), danois:
 - ✓ ✓ Il travaillait à l'Observatoire de Paris,
 - ✓ ✓ comme à la même époque, Giovanni Cassini, naturalisé français et patron de l'Observatoire.
- ▪ La mesure (1676) repose sur l'observation
 - ✓ ✓ des satellites de [Jupiter](#) et
 - ✓ ✓ de leur moment [d'éclipse](#) par Jupiter lui-même
- ▪ Selon la période de l'année,
 - ✓ ✓ la [Terre](#) se rapproche de Jupiter ou s'en éloigne
 - ✓ ✓ et, la lumière en provenance du phénomène d'éclipse met plus ou moins de temps pour atteindre la Terre:
 - ✓ ✓ la différence étant d'environ plus ou moins 10 min.
- ▪ A la même époque Cassini à Paris estimait les dimensions du système solaire.
 - ✓ ✓ En combinant la distance Terre - Jupiter
 - ✓ ✓ et ce décalage des observations des éclipses,
 - ✓ ✓ Römer en déduit la vitesse de la lumière

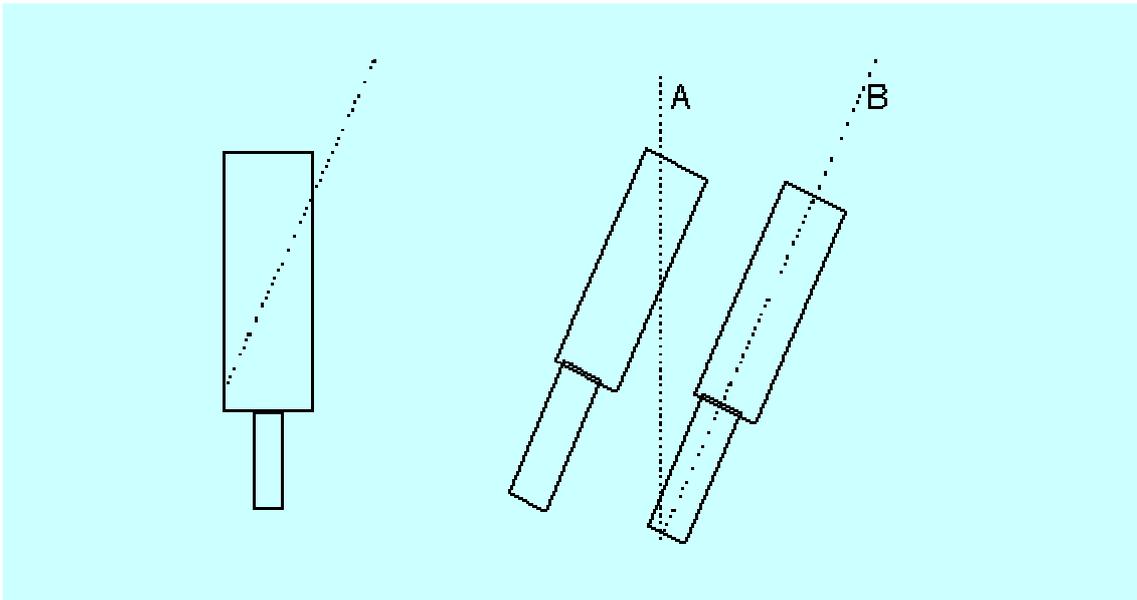
Vitesse estimée par Römer

▪ ▪ UA = Unité Astronomique	<i>C en km/s</i>
▪ ▪ Avec la valeur de l'UA estimée par Cassini, il a estimé:	225 000
▪ ▪ Avec l'UA connue actuellement, il aurait trouvé:	298 000
▪ ▪ Alors que la valeur connue aujourd'hui est:	299 792

- ▪ A cet époque, personne ne voulait admettre que la vitesse de la lumière soit finie
- ▪ et qu'un signal lumineux ne se propageait pas instantanément.
- ▪ Il a fallu attendre les mesures de Bradley pour être convaincu du

- fait.
- ▪ James Bradley est un astronome anglais qui découvrit une aberration de mesure de la position des étoiles
 - ▪ qui conduisit à une nouvelle estimation de la vitesse de la lumière.

 - ▪ Du fait que la Terre tourne pendant une observation,
 - ▪ une étoile vue à travers une lunette d'une certaine longueur
 - ▪ se trouve légèrement décalée au moment de l'observation par l'oeil.
 - ▪ Le décalage se trouve dans un sens en été et dans l'autre en hiver.



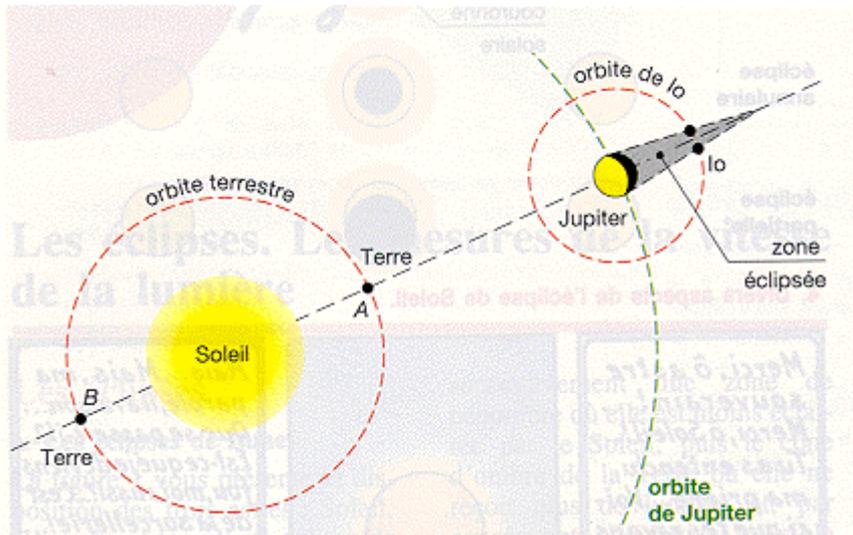
- ▪ L'étoile qui paraît être en B se trouve en fait en A.
- ▪ La lumière de l'étoile est captée en A par la lunette.
- ▪ Du fait de la rotation de la Terre elle n'est observée par l'œil que lorsque la lunette est en position B.
- ▪ B est une image virtuelle de A.

- ▪ L'angle mesuré par Bradley est de 20 secondes
- ▪ et, la valeur de la vitesse de la lumière déduite est:

C en km/s

308 300

Les premières mesures de la vitesse de la lumière.



Galilée d'abord.....début XVII^{ème} siècle.

Avant Galilée les savants pensaient que la lumière se propageait instantanément dans l'air. Galilée (1564-1642) semble avoir été le premier à penser que cette vitesse était finie et le premier à essayer de la mesurer. La tentative de Galilée est simple , deux hommes munis d'une lanterne et placés à une distance de quelques km , font l'expérience suivante : le premier découvre sa lanterne en déclenchant une horloge , le second découvre la sienne dès qu'il aperçoit le

signal lumineux et le premier arrête son horloge dès qu'il voit le signal lumineux. Le temps d'aller et retour du signal lumineux peut être ainsi en théorie apprécié.

Ces expériences ne donnèrent pas de résultats tangibles , les temps mesurés restant les mêmes quand les distances entre les hommes variaient. On sait maintenant que les mesures de temps étaient totalement inadaptées aux faibles valeurs de temps à mesurer.

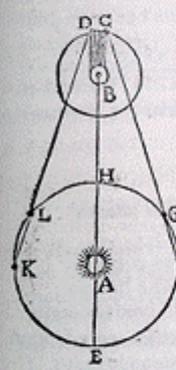
L'expérience de Römer.....en 1676.

L'astronome danois Ole Römer (1644-1710) effectua la première détermination de la vitesse de la lumière en 1676 par une méthode astronomique. Sur la figure ci-contre on voit à droite l'orbite de Io , satellite jovien. Bien noter que Io disparaît à notre vue quand il entre dans le cône d'ombre de Jupiter (immersion) et réapparaît (émersion) en sortant de l'ombre. A partir de la durée de l'éclipse Römer déterminait la période de révolution du satellite autour de Jupiter. Il constata que cette période (voisine de 42,5 H) variait en fonction de la position de la terre quand on effectuait la mesure.

Ce résultat était en contradiction avec les lois de Kepler qui stipulaient que la période de révolution du satellite était constante.

Römer comprit alors qu'il fallait tenir compte du temps de parcours de la lumière pour aller de Io à la terre.

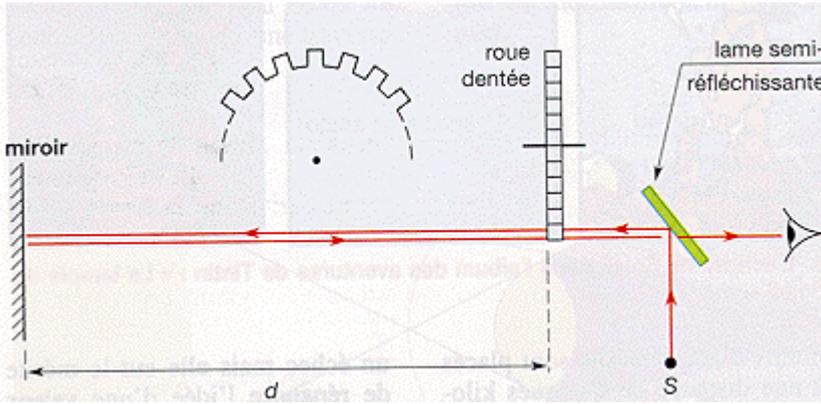
JOURNAL
 Soit A le
 le premier
 dans l'ombre
 fortir en D,
 la Terre pl
 stances de J
 Or suppo
 en L vers l
 fure de Jupi
 mier Sattelli
 mersion ou
 en D; &
 ron 42. he



« Soit A le Soleil, B Jupiter, C le premier satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter pour en sortir en D, et soit E, F, G, H, K, L, la Terre placée à diverses distances de Jupiter. Or supposé que la Terre étant en L vers la seconde quadrature de Jupiter, ait vu le premier satellite, lors de son émergence ou sortie de l'ombre en D; et qu'ensuite, environ 42 heures et demie après, savoir après une révolution de ce satellite, la Terre se trouvant en K, le voit de retour en D: il est manifeste que si la lumière demande du temps pour traverser l'intervalle LK, le satellite sera vu plus tard de retour en D, qu'il n'aurait été si la Terre était demeurée en L; de sorte que la révolution de ce satellite, ainsi observé par les émersions, sera retardée d'autant de temps que la lumière en aura employé à passer de L en K, et qu'au contraire dans l'autre quadrature FG, où la Terre en s'approchant, va au devant de la lumière, les révolutions des immersions paraîtront autant raccourcies, que celles des émersions avaient parues allongées. »
 Extrait du rapport de Römer, dans le Journal des sçavans du Lundy 7 Décembre 1676 (page 234).

Prenons pour origine des dates $t = 0$ l'instant où la terre se trouve en L et où on observe l'immersion de Io, à quelle date devrait-on observer l'immersion suivante, la terre se trouvant en K (elle a bougé) si la vitesse de la lumière était instantanée? Bien évidemment le temps qu'a mis Io pour faire une révolution, soit 42,5 H.

En réalité le temps de révolution était augmenté du temps t' mis par la lumière pour parcourir la distance LK. (distance franchie par la terre autour du soleil en 42,5 h). Le rayon de l'orbite R de la terre autour du soleil permet de Calculer LK et par la même de calculer facilement la vitesse de la lumière Lk/t' .



A l'époque Römer trouva $c = 2120000$ km/s au lieu de 300000 km/s soit une erreur de 29% ce qui était déjà très bon, compte tenu de l'imprécision à l'époque sur le rayon R.

L'idée d'une vitesse finie pour la lumière était définitivement acquise.

L'expérience de Fizeau en 1849.

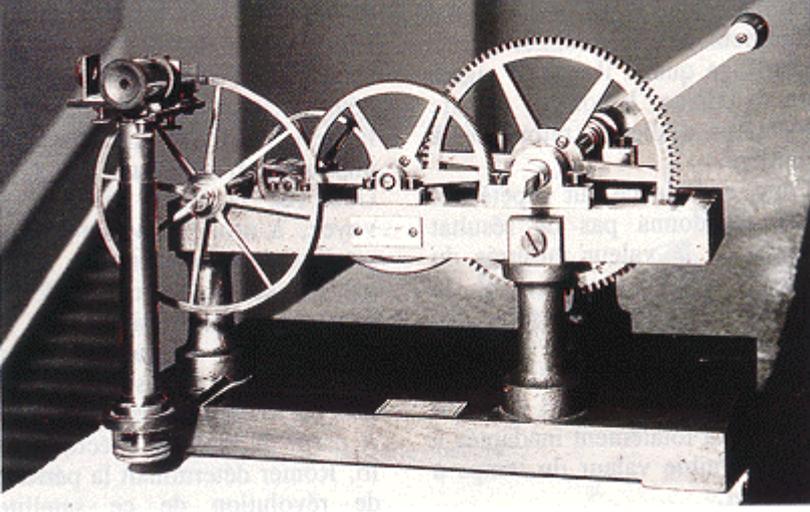
Hippolyte Fizeau (1819-1896) réalise en 1849 la première mesure terrestre de la vitesse de la lumière.

Pour cela il fabrique un ingénieux système comportant une roue dentée et deux miroirs, dont un semi-réfléchissant.

Sur la figure ci-contre on devine le principe : la roue est mise en rotation, une source de lumière est réfléchi par le premier miroir, franchit une échancrure de la roue, se réfléchit sur le second miroir et parvient à l'observateur après un parcours correspondant à $(2d)$ à la vitesse (c) qui est l'inconnue.

Fizeau fait son expérience entre Montmartre et le Mont Valérien à Suresnes distants de 8633 m.

La roue dentée comporte 720 dents et 720 échancrures. Fizeau détermine alors la vitesse de rotation de la roue qui permet à la lumière de traverser le bord d'un "creux" et de revenir au bord du même creux. Le faisceau est donc juste occulté et ne parvient plus à l'observateur. Cette vitesse de rotation est de 12,6 tours par seconde.



Nous allons mener un petit calcul à la portée d'un lycéen. (.....d'autrefois?).

Appelons t le temps d'aller et retour de la lumière à la vitesse c . $t = 2d/c = 2 \times 8633 / c$ (1)

Le disque possède 2×720 secteurs angulaires (a) identiques de valeurs $a = 2 \times 3,14 / 2 \times$

720 radians .

La vitesse angulaire du disque est : $v = 2 \times 3,14 \times 12,6$ rad/s

Pendant le temps d'un aller et retour de la lumière l'échancrure a tourné de l'angle (a) à la vitesse (v) pendant le temps (t).

Donc $t = a/v = 1 / 2 \times 720 \times 12,6$ (2)

En égalisant (1) et (2) On déduit c .

$c = 2 \times 8633 \times 2 \times 720 \times 12,6 = 3,13 \times 10^8$ m/s à comparer à $c = 3 \times 10^8$ m/s. Bravo....
Monsieur Fizeau!

Comment a-t-on calculé la vitesse de la lumière pour la première fois?

Marc Lanoie

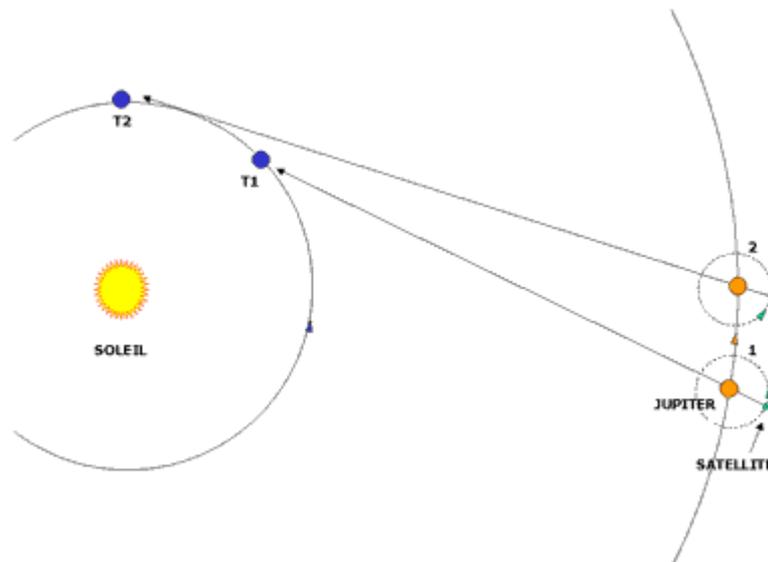
C'est le Danois Ole Roemer qui a effectué la première mesure de la vitesse de la lumière en 1676. Astronome à l'Observatoire de Paris, Roemer fit cette découverte un peu par hasard alors qu'il étudiait Io, le satellite de Jupiter. Io complète son orbite autour de Jupiter en 1,77 jours. Au grand étonnement de l'astronome, celui-ci s'aperçut que la lune n'était pas toujours exactement où elle aurait dû se trouver. A certaines époques de l'année, elle était légèrement en avance et à d'autres moments, légèrement en retard. En étudiant Io pendant plusieurs mois, Roemer observa que le retard s'accroissait sur une période de six mois pour atteindre jusqu'à 8 minutes, puis le retard commençait à diminuer jusqu'à ce la lune soit, six mois plus tard, 8 minutes en avance.

Roemer s'aperçut que le phénomène correspondait à un cycle s'étendant sur un période d'une année et, surtout, que ce cycle correspondait à l'éloignement et au rapprochement de la Terre par rapport à Jupiter. Le moment où Io était le plus en retard correspondait exactement au moment où la Terre était le plus éloignée de Jupiter. Et inversement, lorsque Io était le plus en avance, cela correspondait au moment où la Terre était le plus près de Jupiter.

Roemer en vint à la seule conclusion qui s'imposait : la lumière prenait un certain temps à parcourir la distance entre la Terre et Jupiter... Cette découverte sera une révolution parmi les savants, puisqu'on croyait jusque-là que la lumière se propageait

instantanément. Roemer estima la vitesse de la lumière à environ 350 000 km/s – une estimation pas très éloignée de la véritable valeur de 299 792 km/s. Et ce n'est pas vraiment pas si mal, si on considère les instruments de l'époque.

Plus tard, la vitesse de la lumière sera calculé avec plus de précision par plusieurs scientifiques, dont James Bradley (1693- 1762), Léon Foucault (1819-1868), Hippolyte Fizeau (1819-1896) et Albert Michelson (1852-1931).



Mesurer la vitesse de la lumière avec son télescope

Par: Brice Olivier Demory

Peut-être vous êtes vous déjà demandé comment on pouvait parvenir à une mesure de la vitesse de la lumière. Le mouvement des planètes, par sa précision et sa prévisibilité fiable à court terme permet aux astronomes d'en obtenir une valeur approchée.

Pendant très longtemps, on pensait que la lumière se déplaçait instantanément, que sa vitesse était non mesurable car infinie. Ce fut un sujet d'opposition entre Galilée et Descartes au XVI^{ème} siècle. Ce dernier pensait que la vitesse de la lumière était infinie. Galilée fit une expérience bien connue: Il demanda à un de ses apprentis de se placer à une distance de 3 kilomètres de lui. Le but était d'effectuer un échange de signaux lumineux selon une règle bien précise: Galilée émettrait un signal en sa direction, et son apprenti devait répondre par un autre signal dès qu'il l'apercevait. Galilée aboutit à la seule conclusion que la lumière devait se déplacer très rapidement car à peine avait-il envoyé son signal que son assistant lui répondit.



Galilée avait l'intention de pouvoir calculer la vitesse de la lumière de cette manière, ce fut évidemment un échec. Nous savons aujourd'hui que la vitesse de la lumière est de 299792.5 km/s (+/- 0.5). Une distance de six kilomètres correspond donc à une durée de 20 millièmes de seconde! Durant le XVII^{ème} siècle, un astronome danois, Römer détermina pour la première fois cette fameuse vitesse. Sa méthode se base sur les connaissances de l'époque et plus particulièrement sur le mouvement des satellites galiléens. Les lois de Képler ont été déterminantes pour cette mesure. Il s'aperçut que les éclipses des satellites galiléens par Jupiter vues depuis un observateur terrestre se produisaient toujours en avance ou en retard. Römer nota un retard maximal lorsque Jupiter était en conjonction avec le Soleil et une avance maximale lorsque Jupiter était en opposition. Römer supposa alors que ce décalage était dû à une vitesse de la lumière finie. La différence de distance par rapport à Jupiter étant de 2 U.A., Römer mesurant un temps approximatif de 24 minutes, il en déduisit, après corrections que la vitesse de déplacement de la lumière devait être de 212000 km/s. Pour l'époque, ce n'était pas si mal. Plusieurs facteurs ont pu causer cette erreur: par exemple, Römer n'a peut être pas tenu compte de la variation de distance de Jupiter par rapport à la Terre durant l'intervalle de 6 mois de la mesure. De plus, le début et le déroulement de l'éclipse sont difficiles à apprécier dans les petits instruments, etc.

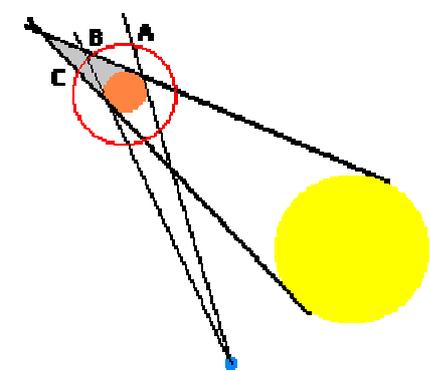
Le but de cet article est de vous proposer une autre méthode, plus fiable et nécessitant beaucoup moins de temps! De plus elle est accessible aux instruments modestes. Elle consiste à mesurer la différence entre deux événements:

- Le moment de l'observation de l'éclipse de la Terre par Jupiter vu depuis Io
- Le moment de l'observation de l'éclipse de Io par Jupiter vue depuis la Terre

L'expérience est enrichissante et met à l'épreuve votre talent d'observateur. La méthode que je vous propose est assortie de plusieurs calculs d'erreurs qui montrent que même pour un observateur débutant, l'erreur finale n'est finalement pas si importante (*comparée à la méthode de Römer !*). L'avantage de l'astronomie, c'est que l'on observe loin. Plus les distances seront grandes plus l'écart aveuglant et plus la mesure sera fiable! J'ai mis cette méthode au point il y a 1 an environ, je l'ai testée plusieurs fois. J'ai obtenu 264000 km/s, 258000 km/s, 288000 km/s et 301000 km/s. Je me suis fortement rapproché de la bonne valeur lorsque j'ai compris que j'avais oublié de prendre en compte un petit détail dans mon expérience (*Voir plus bas*). Je vais présenter cette expérience sous forme d'un protocole, ce qui vous permettra de rapidement retrouver une information.

Informations préliminaires:

Il faut tout d'abord choisir un sujet d'expérience. Les satellites galiléens de Jupiter sont intéressants. Pourquoi? Premièrement, les informations provenant du système Jovien prennent plus de 20 minutes pour nous parvenir. Deuxièmement, Jupiter les occulte très souvent (*pour un observateur situé dans un référentiel géocentrique*). Lequel choisir? La aussi, aucune hésitation, Io est le sujet d'expérimentation idéal! En effet, c'est le satellite galiléen dont le demi-grand axe orbital est le plus petit. Sa période de révolution est donc plus brève par rapport à ses trois frères. Pour un observateur terrestre, et en vertu des lois de la gravitation Io tourne plus vite autour de Jupiter (*période de 1,8 jours environ*). Les quatre plus grandes lunes de Jupiter ont un autre avantage et non des moindres, c'est que leur faible magnitude les rendent accessibles. Rappelons que la magnitude de Io est en moyenne de 5.4. En étudiant les tables d'occultation des satellites galiléens du BdL on remarque rapidement que les éclipses de Io par Jupiter ne sont pas très longues et fréquentes. Je tiens cependant à rappeler une précaution à prendre impérativement en compte qui est à l'origine d'erreurs importantes, c'est



la position de Jupiter par rapport à la Terre et au Soleil. En effet, Jupiter traîne derrière elle une importante zone d'ombre. Si vous choisissez une mauvaise période pour effectuer votre expérience, l'éclipse pourra durer légèrement plus longtemps que prévu! Mais ce détail dépend de quelle façon vous voulez mener votre expérience.

Vous pouvez:

- Calculer le début d'éclipse de Io, comparer au télescope et c'est gagné, mais vous risquez de faire plus d'erreurs que la seconde méthode. Vous pourrez faire de même pour la fin de l'éclipse (*phase d'émergence*).
- Calculer l'heure de début d'occultation de Io, l'heure de disparition totale du disque, l'heure de début de réapparition, l'heure de fin de réapparition. Vous avez 4 mesures à effectuer, ce qui rend l'expérience plus fiable car vous pourrez effectuer des recoupements. Mais cette dernière méthode est uniquement accessible aux gros diamètres.

Je vais décrire dans cet article la première méthode. La durée d'une éclipse d'un satellite galiléen est variable. Vous pouvez obtenir ces heures à partir des éphémérides du Bureau des Longitudes ou à partir d'un logiciel d'astronomie (SkyMap, Starry-Night, RedShift). L'avantage du logiciel, c'est qu'il permet la correction de la parallaxe horizontale que vous obtiendrez si vous n'observez pas depuis le centre du référentiel géocentrique, ce qui est bien entendu impossible ! (*dépend donc de votre latitude - voir alignement*).

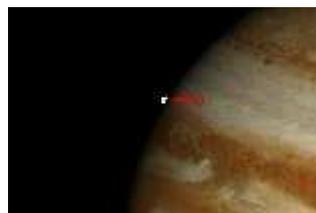
Méthode:

Il vous faut d'abord préparer votre observation. Sachez étudier les tables des éphémérides du BdL ou les données fournies par votre logiciel. Il vous faut choisir une éclipse dont vous connaissez tous les paramètres (*début, fin...*). Autre source d'erreur que j'ai déjà évoquée: Le fait que le disque de Jupiter, tel que nous le voyons n'est pas toujours complètement circulaire. Il faut donc choisir préférentiellement une période où Jupiter soit en opposition avec le Soleil. Dans cette configuration, on est sûr que Jupiter présente bien une apparence circulaire. Sur la figure 1 ci-contre, on observe bien que la configuration de Jupiter, la Terre et le Soleil est extrêmement importante. Reportez vous aux éphémérides pour connaître ces périodes. Par exemple, sur ce schéma, on remarque que Io disparaît pour nous en **A**, et réapparaîtra en **C**! Normalement l'heure de début serait **t(B)** et l'heure de fin **t(C)**.



Vous avez trouvé la période idéale, la turbulence atmosphérique n'est pas trop forte, pointez Jupiter... Quelques minutes avant l'éclipse vous devriez observer quelque chose comme cela:

Si vous n'avez pas bien choisi le moment de votre expérience, vous apercevrez que Io aura disparu alors qu'il vous semblera encore à quelque distance de Jupiter... Vous pourrez avoir cumulé plusieurs minutes d'erreur, ce qui est ennuyeux pour une mesure de cette précision! Par exemple:



Ca y est, vous voyez Io disparaître... Notez l'heure à la seconde près (*pensez à étalonner votre montre avec l'horloge parlante*)! Vous pouvez maintenant patienter quelques temps. Allez vous chercher un café et revenez quelques minutes avant l'émergence. Vous voyez enfin Io émerger. Notez l'heure. Maintenant il va falloir faire une estimation d'erreur. En effet, le phénomène de disparition ou

d'apparition du satellite a vos yeux n'est pas instantané. Il est donc difficile de savoir exactement quand noter l'heure de la mesure! Estimez maintenant l'intervalle d'erreur que vous avez pu commettre durant ces deux phases critiques... Vous pourrez alors faire vos calculs pour les valeurs extrêmes de votre intervalle, et votre mesure réelle puis faire une moyenne. Vous connaissez la distance exacte Terre-Io (*voir programme d'astronomie*), l'heure à laquelle on verrait disparaître la Terre depuis Io (*là aussi, programme d'astronomie, attention, pas tous les logiciels vous fournissent ce type de donnée*). La différence de temps entre l'heure de votre mesure et cette dernière donnée correspond au temps mis par la lumière pour nous parvenir! Avec les deux mesures (*début/fin de l'éclipse*), vous avez encore la possibilité de rendre le résultat «plus fiable».

[Brice-Olivier Demory](#)

