

Acte II - La vitesse

Auteurs : Pierre Léna(plus d'infos)

Résumé : Document issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.

Publication : 11 Juillet 2014

La nuit est maintenant tombée, les cigales se sont tues. La Voie lactée trace son sillon d'argent, sur lequel se découpent les pins noirs ; le pinceau d'un phare balaie l'horizon.

Jean. — La nuit provençale est belle : regarde cette étoile, droit au sud, comme elle est rouge.'

Sophie. — Tu veux dire sans doute : comme Antarès était rouge autrefois, car tu la vois telle qu'elle était il y a trois cent soixante ans, et la Voie lactée auprès d'elle il y a plus de quarante mille ans ! La lumière te fait voir la profondeur du temps. Imagine la source de lumière comme placée au cœur d'un oignon. Chaque pelure qui l'entoure est une tranche de temps qui s'éloigne de la source à la vitesse c et qui, successivement, atteindra un observateur lointain. Qui sait comment Antarès est en ce moment même ? Qui sait si elle est encore présente ?

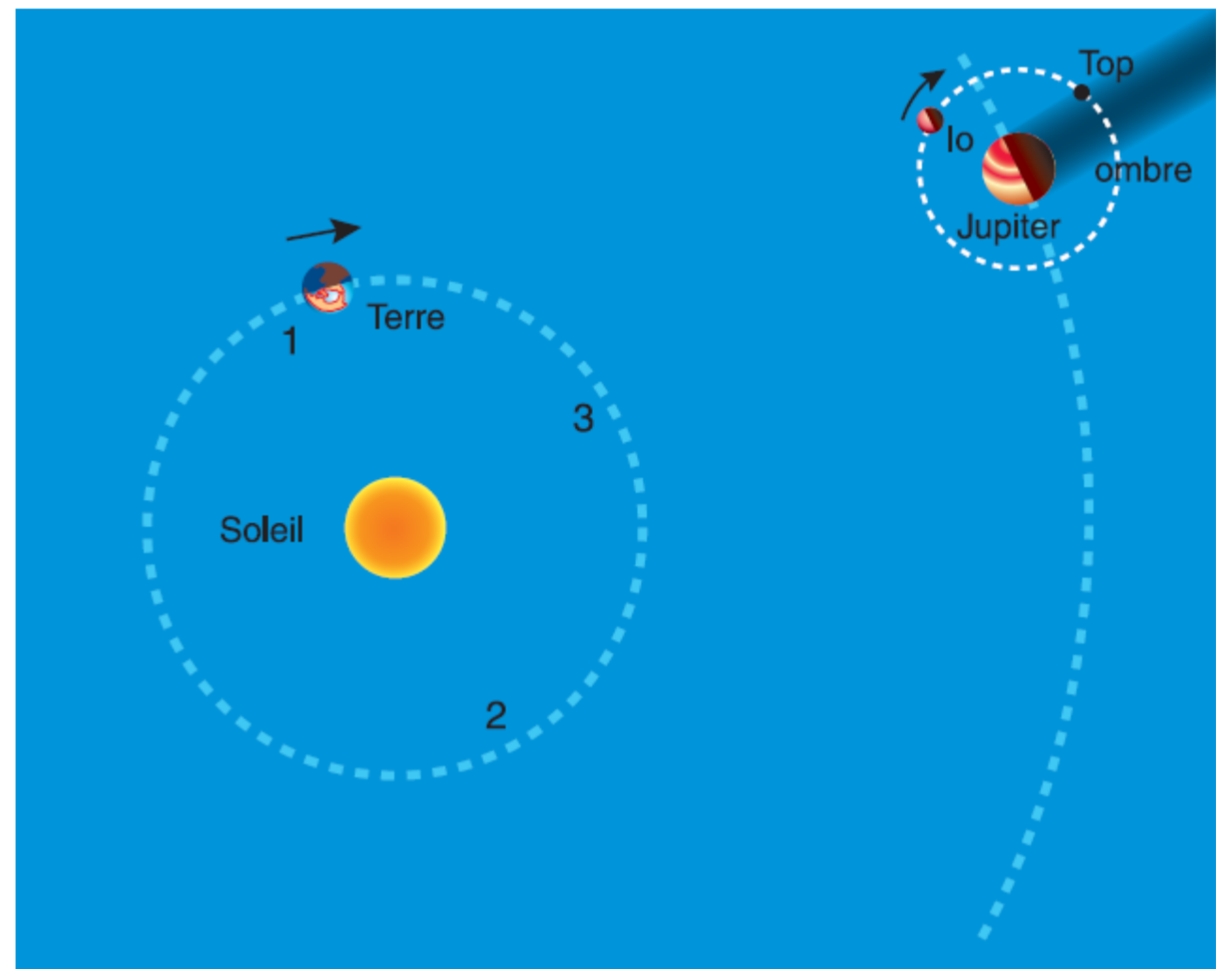
Jean. — Ce beau ciel étoilé que je regarde est donc comme un musée mal rangé, où voisineraient des objets anciens de tous âges, juxtaposés dans le désordre. Quelle étrange vision « transchronique » tu me proposes là ! Mais revenons à la lumière. Ce « quelque chose » qui se propage posséderait-il une vitesse ? Dans l'orage, je perçois bien l'intervalle de temps entre le tonnerre et l'éclair – je sais que la vitesse du son est d'environ 300 mètres/seconde –, mais l'éclair, lui, paraît instantanément me parvenir.

Sophie. — Instantanément ? Que la lumière aille vite, c'est certain : Galilée avait d'ailleurs, en vain, essayé d'en mesurer la vitesse. Mais revenons au son : comment en mesures-tu la vitesse ?

Jean. — Bien aisément ! Je me place à quelque distance d'une falaise et je frappe lentement en cadence dans mes mains. L'écho me revient, puis j'augmente la cadence jusqu'à ce que je ne le perçoive plus, lorsque l'écho qui revient coïncide précisément avec le battement suivant : je sais alors que la durée d'aller-retour est égale exactement à la durée qui sépare deux battements de mains, durée que je puis mesurer. Il me suffit alors d'arpenter la distance jusqu'à la falaise et le tour est joué. Si ma distance à la falaise est de 75 m, la cadence de coïncidence est d'un battement par demi-seconde, et la vitesse du son est donc de $2 \times 75 / 0,5 = 300$ m/s.

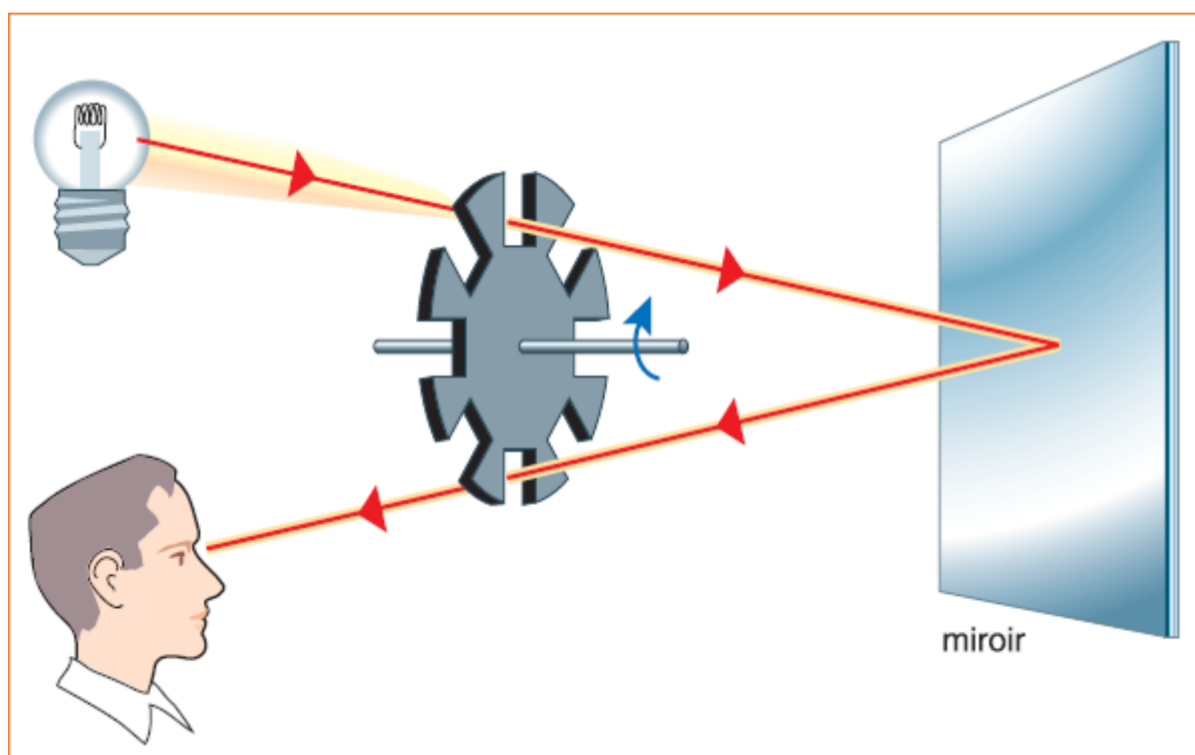
La vitesse de la lumière selon Olaüs Rømer (1676)

Les « tops » sont définis par la disparition régulière (toutes les 152 000 secondes) d'un des satellites de Jupiter (ici Io) dans l'ombre de la planète où il cesse d'être éclairé par le Soleil. Ces « tops » lumineux cheminent jusqu'à la Terre, elle-même en mouvement (à 30 km/s) sur son orbite autour du Soleil. Lorsque ce mouvement la rapproche de Jupiter (en 1), l'intervalle entre les « tops », observés depuis la Terre, se resserre, le chemin que doit parcourir la lumière ne cessant de décroître. La situation est inversée quand la Terre est en 2 et s'éloigne de Jupiter : la durée entre les tops augmente. En 3, la distance Jupiter-Terre est approximativement constante et les « tops » retrouvent leur période de 152 000 secondes. La variation de la période des « tops » au fil d'une année est la démonstration de la valeur finie de la vitesse de la lumière.



Entre deux tops, la Terre parcourt $30 \times 152\,000 = 4,56$ millions de kilomètres, distance que la lumière parcourt en 15,2 s. En 1, les « tops » sont séparés de $(152\,000 - 15,2)$ secondes, en 2 de $(152\,000 + 15,2)$ secondes et en 3 de 152 000 secondes. La variation est petite (environ un dix millième), mais mesurable par effet cumulé pendant plusieurs mois.

Sophie. — Parfait. Cherchons à appliquer à la lumière une méthode quelque peu similaire : il nous faut donc disposer d'une assez grande distance et d'une source capable de donner un éclat régulier de lumière – un « top » en quelque sorte (ci-dessus). Regarde là-bas à l'est, cet astre à l'éclat intense : c'est Jupiter, tu le reconnais, car il ne scintille pas. Avec nos jumelles, tu discernes sans peine son disque et quatre satellites, qui en font le tour en quelques dizaines d'heures : à chaque révolution, très exactement, ils passent derrière le disque de Jupiter. Voilà le « top » régulier. Quant à la distance, elle varie entre 600 et 900 millions de kilomètres, selon la position de la Terre : les « tops », réguliers à l'émission, vont nous apparaître tantôt plus resserrés lorsque la Terre se dirige vers Jupiter, tantôt plus écartés lorsqu'elle s'en éloigne. C'est ainsi que l'astronome Olaüs Rømer, à Paris en 1676, prouva, grâce à une bonne horloge et à des observations s'étendant sur plusieurs mois, que la lumière a bien une vitesse finie. Un peu plus tard, cette valeur fut établie : presque exactement 300 000 km/s (on l'appelle c , pour célérité), soit 2 000 secondes pour venir de Jupiter lorsque l'astre est au plus près de la Terre. Plus tard encore, d'autres scientifiques (Hippolyte Fizeau, Léon Foucault) mesureront la vitesse de la lumière dans l'air, puis dans l'eau, et enfin vérifieront l'hypothèse d'Alhazen et de Fermat : la valeur de cette vitesse dépend du milieu dans lequel se propage le rayon (ci-dessous).



Mesure de la vitesse de la lumière dans l'air par Fizeau. La vitesse de rotation de la roue dentée augmente progressivement, et l'observateur voit disparaître puis réapparaître la lumière de la source après réflexion dans le miroir.

Jean. — Mais ne peut-on faire plus simple, plus accessible, une expérience que je pourrais même répéter chez moi ?

Sophie. — Soit : nous n'avons parlé jusqu'ici que de la lumière que perçoit notre œil, et je t'ai mis en garde contre les illusions de nos sens. Regarde cet avion qui passe et dont tu vois les feux. Il émet bien d'autres lumières, par exemple de l'infrarouge dû à la température élevée de ses réacteurs. Les photorécepteurs de la rétine y sont insensibles, mais une caméra infrarouge réagirait. L'avion émet aussi des radiofréquences, par lesquelles le pilote communique avec le contrôle au sol. Ces ondes radio sont aussi de la lumière, qui transporte l'information sonore : dans la cabine de pilotage, le micro module les ondes radio en fonction du son qu'il capte, et dans la tour de contrôle au sol le processus inverse se produit, l'onde radio est transformée en son dans un haut-parleur. Revenons donc à ta question : as-tu remarqué, lors d'une communication téléphonique avec un pays lointain, elle aussi transportée par des ondes radio, donc de la lumière, ce petit intervalle de temps, inhabituel, qui parfois sépare questions et réponses ?

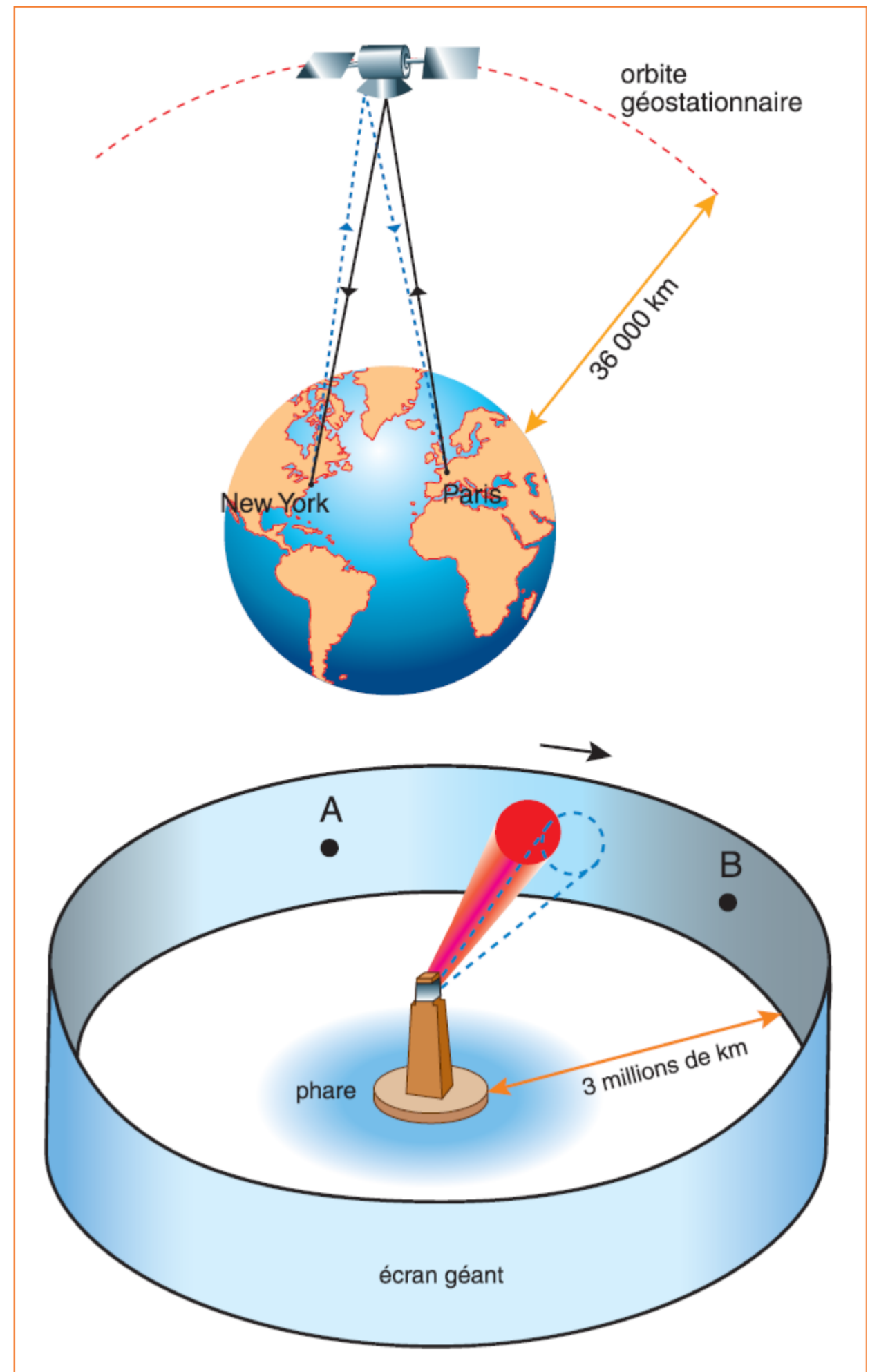
Addons

Jean. — Oui, c'est gênant, mais j'ai aussi noté que cela ne se produit pas toujours. Je suppose que les communications passent tantôt par un satellite géostationnaire, à 36 000 km au-dessus de la Terre, tantôt par des fibres optiques au fond des océans, sur un trajet bien plus court. Mais dans les deux cas, c'est bien une lumière qui est utilisée pour transmettre le message. Voyons : quatre fois 36 000 km pour l'aller-retour, à la vitesse c , cela fait presque une demi-seconde, durée tout à fait perceptible pour l'oreille (cf. le dessin du haut, ci-contre). Mais une question demeure : quand, à la fin du xxie siècle, je communiquerai avec mon arrière-petite-fille explorant la planète Mars, comment ferai-je ?

Sophie. — Tu mets le doigt sur une autre étonnante structure du réel, dont nous devons la découverte, encore, à Albert Einstein : aucun message ne peut se déplacer dans l'espace à une vitesse supérieure à c . Si ton arrière-petite-fille veut te joindre le 31 décembre à minuit précisément, elle devra t'appeler entre 4 et 20 minutes avant (selon la position relative de la Terre et de Mars ce jour-là), le temps que la lumière te parvienne. Tu vois, la simultanéité de deux événements se produisant en des endroits distincts ne peut être définie par une expérience physique... Cela te laisse songeur et c'est normal, car c'est bien difficile à accepter, tellement cela va à l'encontre de l'évidence. Mais le jour où tout le système solaire sera peuplé d'astronautes munis de téléphones portables, sois tranquille, cela apparaîtra comme une évidence de la vie quotidienne.

Jean. — Pourtant, je reste troublé : regarde ce puissant phare à l'horizon, qui fait un tour en dix secondes (cf. le dessin du bas, ci-contre). Imaginons un écran circulaire situé à 3 millions de kilomètres de lui : la circonférence de cet écran mesure $2\pi \times 3$ millions = 19 millions de kilomètres et la tache lumineuse en fait bien le tour en dix secondes, donc à une vitesse supérieure à c ?

Sophie. — Bien raisonné : je n'ai pas dit que « rien » ne peut dépasser la vitesse de la lumière, mais seulement qu'il est impossible de transmettre entre deux lieux un message plus rapidement qu'à la vitesse c . Ta tache lumineuse ne transmet aucun message entre les deux points A et B de l'écran.



En haut : transmissions téléphoniques à la vitesse c En bas : la lumière émise par un puissant phare (un tour en dix secondes) frappe un écran circulaire lointain : la tache lumineuse se déplace alors sur l'écran beaucoup plus rapidement que c ! Néanmoins, elle ne permet pas à un émetteur situé en A de transmettre un message à B.



Ce télescope est utilisé pour mettre en forme et orienter le faisceau de lumière bleue produite par un puissant laser (source de lumière). Ce faisceau est réfléchi par des miroirs placés sur la surface de la Lune (lors d'une mission Apollo) ou sur un satellite artificiel, et le télescope recueille l'écho retour. Le temps d'aller-retour donne la distance à l'objet réfléchissant, à une précision de l'ordre du centimètre.
© CERGA/CNRS

Voir Aussi
Aucun résultat

Du même auteur
[29 notions-clefs : la lumière](#)
11/08/09

Commentaires
Aucun commentaire