Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du soleil

A. Cornu

► To cite this version:

A. Cornu. Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du soleil. J. Phys. Theor. Appl., 1875, 4 (1), pp.104-111. 10.1051/jphystap:018750040010401 . jpa-00237025

HAL Id: jpa-00237025

<https://hal.science/jpa-00237025>

Submitted on 1 Jan 1875

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE ET DE LA PARALLAXE
DU SOLEIL;**

PAR M. A. CORNU.

J'ai déjà exposé divers perfectionnements relatifs à la méthode imaginée en 1849 par M. Fizeau, pour la détermination de la vitesse de la lumière ⁽¹⁾. Ces perfectionnements sont de deux sortes : l'un a trait à la méthode d'observation qui consiste à observer, non pas l'annulation complète de l'intensité de la lumière de retour, mais deux couples d'intensités égales de part et d'autre de l'extinction ; l'autre est l'enregistrement électrique de la loi du mouvement de la roue dentée. Ces perfectionnements, expérimentés sur une distance modérée (10310 mètres entre l'École Polytechnique et le Mont-Valérien, $V = 298\,500^{\text{km}}$, erreur pro-

(1) Voir *Journal de Physique*, t. II, p. 172.

nable inférieure à un centième en valeur relative), ont entièrement réussi et ont permis d'affirmer que la méthode perfectionnée était capable de donner des résultats d'une grande précision, à la condition d'opérer sur une distance plus considérable et mieux déterminée, et d'employer des appareils plus puissants.

Les préparatifs de l'expédition pour l'observation du passage de Vénus ont ramené l'attention des astronomes sur l'utilité d'une détermination précise de la vitesse de la lumière; car cette vitesse, combinée avec certaines constantes astronomiques, permet de calculer la parallaxe du Soleil, dont l'observation directe exige de si pénibles voyages et le dévouement de tant d'astronomes.

Aussi, sur la proposition de M. Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, et de M. Fizeau, membre du Conseil, le Conseil de l'Observatoire décidait-il, au commencement de 1874, qu'une détermination de la vitesse de la lumière serait entreprise sans rien négliger de ce qui pourrait donner à l'opération toute la précision désirable. Le Conseil me fit l'honneur de me confier cette opération importante. Très-honoré et très-heureux de cette décision, j'aurais toutefois hésité à accepter une si grave responsabilité, si je n'avais été vivement encouragé par M. Fizeau, qui n'a cessé, pendant toute la durée de ce travail, de me prodiguer les conseils les plus bienveillants et les plus précieux.

Les recherches préliminaires furent assez longues : la première question à résoudre fut le choix des stations; M. d'Abbadie, dans sa belle propriété des Pyrénées, M. Stéphan, à l'Observatoire de Marseille, et M. Alluard, à l'Observatoire du Puy-de-Dôme, m'avaient gracieusement offert l'hospitalité pour installer mes appareils; j'ai été très-reconnaissant de ces offres obligeantes, mais la raison qui m'empêcha de les accepter fut la connaissance imparfaite de la distance des stations qu'on pouvait adopter. Cela m'eût entraîné à des opérations géodésiques très-déliées, très-pénibles, et dont les résultats n'auraient pas été acceptés sans réserve par les physiciens.

Je résolus donc de chercher aux environs de Paris, parmi les sommets des triangles des grandes opérations géodésiques exécutées au siècle dernier, deux points se prêtant à l'installation des appareils. Après avoir hésité longtemps entre diverses stations, je me décidai à adopter l'Observatoire et la tour de Montlhéry. En

effet, la valeur de la distance de ces deux points est à l'abri de toute discussion ; leur position a été déterminée ou vérifiée par les observateurs les plus éminents : spécialement à l'occasion de grands travaux géodésiques et de la mesure de la vitesse du son entreprise au siècle dernier par l'Académie, lors des opérations de la méridienne, de la détermination du mètre, de la carte de France et de la nouvelle mesure de la vitesse du son exécutée par le Bureau des Longitudes. Ces deux stations sont donc en quelque sorte classiques et sont liées aux plus glorieux souvenirs de l'histoire de la science française.

D'après les indications trouvées dans la *Méridienne vérifiée* sur la situation des signaux géodésiques employés en 1740, par Cassini et la Caille, j'ai pu calculer la distance des points où sont installés mes appareils : elle est égale à 23910 mètres. J'ai contrôlé ce résultat en partant du nombre donné par Delambre (*Base du Système métrique*), pour la distance du Panthéon à un signal dont j'ai reconnu la position près de la tour de Montlhéry. A l'aide d'une petite triangulation, j'ai rattaché mes deux stations à cette base, et j'ai retrouvé le même nombre 23910 mètres pour leur distance.

L'expérience a été installée dans des conditions dignes de l'importance du problème à résoudre. La lunette d'émission n'a pas moins de 8^m,85 de distance focale et 0^m,37 d'ouverture. Le mécanisme de la roue dentée permet d'imprimer à celle-ci des vitesses dépassant 1600 tours par seconde ; le chronographe et l'enregistreur électriques assurent la mesure du temps au millième de seconde. M. Bréguet, à qui la construction de ces mécanismes avait été confiée, a apporté à leur exécution le concours dévoué qu'il a toujours prêté à toutes les opérations auxquelles son nom est associé.

Tous ces appareils sont solidement établis sur la terrasse supérieure de l'Observatoire : une communication électrique, établissant la correspondance du chronographe avec les battements de la pendule de la salle méridienne, fixe l'unité de temps avec la plus grande précision. A la station opposée, sur le sommet de la tour de Montlhéry, il n'y a qu'un collimateur à réflexion dont l'objectif a 0^m,15 d'ouverture et 2 mètres de distance focale ; il est enveloppé par un gros tuyau de fonte, scellé à la muraille, pour le soustraire à la curiosité des visiteurs.

La description des appareils et de la méthode d'observation sera l'objet d'un Mémoire détaillé. Je rappellerai seulement le principe de la méthode optique : on envoie à travers la denture de la roue en mouvement un faisceau de lumière qui va se réfléchir à la station opposée. Le point lumineux qui en résulte au retour des rayons paraît fixe, malgré les interruptions du faisceau, grâce à la persistance des impressions de la rétine. L'expérience consiste à chercher la vitesse de la roue dentée qui éteint cette espèce d'*écho lumineux*, ou plutôt deux couples de vitesses qui sont à égale distance de celle qu'on vient de définir. L'extinction complète a lieu lorsque, dans le temps nécessaire à la lumière pour parcourir le double de la distance des stations, la roue a substitué le *plein* d'une dent à l'*intervalle* de deux dents qui livrait au départ le passage à la lumière ; de sorte que l'extinction d'ordre n correspond au passage de $2n - 1$ demi-dents durant ce court espace de temps. La loi du mouvement du mécanisme qui entraîne la roue dentée s'inscrit sur un cylindre enfumé, et l'observateur, par un signal électrique, enregistre le moment précis où la vitesse convenable est atteinte.

Les observations sont ainsi conservées sous forme de tracés que l'on peut ensuite déchiffrer à loisir.

Voici en quelques mots le mode d'enregistrement de ces signaux et leur signification. L'enregistreur est formé par un cylindre couvert de papier enfumé, qui tourne d'un mouvement sensiblement uniforme, grâce à un régulateur à ailettes, imaginé par M. Yvon Villarceau : il a 1 mètre de circonférence et fait un tour en cinquante secondes, de sorte que l'intervalle d'une seconde correspond à une longueur de 20 millimètres.

Les lignes de signaux qui se dessinent sur la surface sont au nombre de quatre, formant quatre hélices parallèles : ces signaux sont tracés par quatre électro-aimants groupés sur un chariot mobile entraîné par une vis. La première hélice comprend les signaux marquant les secondes ; la deuxième, ceux qui marquent les dixièmes de seconde ; la troisième, les signaux qui se forment tous les 40 ou tous les 400 tours de la roue dentée, et la quatrième les signaux de l'observateur correspondant à l'extinction ou à la réapparition de la lumière de retour. On a donc tous les éléments qui définissent la loi de la vitesse de la roue dentée : par un calcul d'interpolation, on

calcule aisément la vitesse du mécanisme au moment des signaux de l'observateur.

Le chronographe au dixième de seconde est d'une construction toute nouvelle : je le nomme *subdiviseur de la seconde*. Il est composé d'une lame vibrante, réglée à l'aide d'une masse mobile, de manière à faire ses oscillations en un dixième de seconde aussi exactement que possible. Son mouvement est alors rigoureusement réglé en même temps qu'entretenu par l'émission du courant électrique qui amène la seconde.

Les tracés graphiques sont relevés avec un microscope d'une construction également nouvelle, qui permet, à l'aide d'un grossissement variable et d'une échelle divisée, de subdiviser en cent parties l'intervalle du dixième de seconde sans fatigue pour l'observateur : on a donc ainsi la loi du mouvement de la roue dentée, mesurée au millième de seconde ; comme le temps nécessaire à fixer les éléments de ce mouvement est de trois ou quatre secondes, l'erreur relative sur la vitesse calculée est excessivement petite.

Voici le résumé des résultats déduits de 504 expériences que j'ai cherché à varier par la diversité des roues, le nombre et la forme des dents, ainsi que par la grandeur et le sens de la rotation. Ces résultats représentent la vitesse de la lumière dans l'air, exprimée en kilomètres par seconde de temps moyen : ils sont rangés suivant l'ordre n de l'extinction qui les a déterminés ; le nombre qui les accompagne représente leur *poids relatif*, à savoir : le produit du nombre d'observations par le facteur $2n - 1$.

	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$	$n = 11$	$n = 12$
V.....	300 130	300 530	300 750	300 820	299 940	300 550	300 640	300 350	300 500
$k \times (2n - 1) ..$	15×7	33×9	20×11	10×13	7×15	94×17	69×19	72×21	3×23
	$n = 13$	$n = 14$	$n = 15$	$n = 16$	$n = 17$	$n = 18$	$n = 19$	$n = 20$	$n = 21$
V....	300 340	300 350	300 290	300 620	300 000	300 150	299 550	»	300 060
$k \times (2n - 1) ..$	4×25	9×27	65×29	4×31	22×33	35×35	6×37	»	36×41

La concordance de ces nombres est aussi grande qu'on peut le désirer dans des expériences aussi difficiles et que les moindres onduations des couches atmosphériques peuvent empêcher ; il est vrai que j'ai toujours attendu, ce qui a beaucoup exercé ma patience, une pureté et un calme exceptionnels dans l'atmosphère pour faire ces mesures ; mais, grâce à cette précaution, les séries ont toujours

été très-régulières. Il est nécessaire d'ajouter que, dans aucun cas, les troubles atmosphériques ne peuvent être la cause d'erreurs systématiques, car leur arrivée est entièrement fortuite, et sur la moyenne d'un grand nombre d'observations leur influence est nulle.

Ces expériences ont été faites de nuit à l'aide de la lumière Drummond, à l'exception de la série du quinzième ordre qui, par une circonstance météorologique exceptionnellement favorable, a pu être exécutée de jour avec la lumière du Soleil. Malgré la différence de nature dans la source lumineuse, le résultat ne diffère pas du résultat moyen.

La moyenne de toutes ces valeurs, en ayant égard au *poids* de chaque groupe, est égale à 300330, qui, multipliée par l'indice de réfraction moyen de l'air 1,0003, donne comme résultat définitif la vitesse de la lumière dans le vide, $V = 300400^{\text{km}}$ par seconde de temps moyen, avec une erreur probable inférieure à 1 millième en valeur relative.

Ce résultat conduit à des conséquences importantes pour l'astronomie.

La parallaxe solaire s'en déduit de deux manières différentes :

1° *D'après l'équation de la lumière.* — C'est ainsi qu'on désignait au siècle dernier le temps θ que met la lumière du Soleil à parcourir le rayon moyen R de l'orbite terrestre. La discussion de plus de mille éclipses des satellites de Jupiter a donné à Delambre $\theta = 473,2$ secondes moyennes. En appelant ε la parallaxe du Soleil et ρ le rayon équatorial de la Terre ($\rho = 6378^{\text{km}}, 233$), on a évidemment $R = V\theta$, $\rho = R \tan r$, d'où $\tan \varepsilon = \frac{\rho}{V\theta}$ et $\varepsilon = 8'', 878$.

2° *D'après l'aberration de la lumière.* — Bradley, qui a découvert ce phénomène, a trouvé, pour la demi-élongation annuelle α d'une étoile idéale située au pôle de l'écliptique (élongation due à la composition de la vitesse moyenne u de la Terre dans son orbite avec la vitesse V de la lumière), la valeur $\alpha = 20'', 25$. D'après W. Struve, ce nombre devrait être porté à $20'', 445$. L'équation de condition s'écrit, en désignant par T la durée en secondes moyennes de l'année sidérale ($T = 365,26 \times 86400$),

$$\tan \alpha = \frac{u}{V} = \frac{2\pi R}{VT} = \frac{2\pi \rho}{VT \tan \varepsilon}, \quad \text{d'où} \quad \tan \varepsilon = \frac{2\pi \rho}{VT \tan \alpha}.$$

Par substitution de $\alpha = 20'',25$, on déduit $\varepsilon = 8'',881$; avec $20'',445$, on trouve $8'',797$. La concordance des deux méthodes est complète si l'on adopte le nombre de Bradley.

Je rappellerai que Foucault avait, par la méthode du miroir tournant, trouvé pour la vitesse de la lumière le nombre 298 000 kilomètres, mais avec une approximation indéterminée, et qu'en combinant ce nombre avec la constante de Struve il concluait $8'',86$ pour la parallaxe solaire.

L'étude des perturbations planétaires conduit à une valeur de la parallaxe qui accroît encore l'intérêt de cette concordance. Je citerai spécialement l'étude approfondie des perturbations du mouvement de Vénus et de Mars, faite par M. Le Verrier, et qui l'a conduit aux nombres suivants : $\varepsilon = 8'',853$ par la considération des latitudes de Vénus aux instants des passages de 1761 et 1769; $\varepsilon = 8'',859$ par la discussion des observations méridiennes de Vénus, dans un intervalle de 106 ans; enfin $\varepsilon = 8'',866$, déduite de l'occultation de ψ du Verseau observée par Richer, Picard et Røemer, le 1^{er} octobre 1672; la moyenne de ces valeurs donne $8'',86$.

En résumé, on peut classer les méthodes qui servent en Astronomie à déterminer la parallaxe du Soleil en trois groupes :

1^o Les *méthodes physiques* fondées sur l'observation d'un phénomène optique; elles comprennent l'observation des éclipses des satellites de Jupiter ou l'aberration des fixes combinées avec la valeur de la vitesse de la lumière, déduite sans l'intervention d'autres phénomènes astronomiques; le présent travail permet de mettre à profit les observations qui sont la base de la méthode : les résultats sont $\varepsilon = 8'',88$, $8'',88$, $8'',80$; moyenne $8'',85$.

2^o Les *méthodes analytiques* qui s'appuient sur la comparaison des observations astronomiques avec les lois théoriques fondées sur le principe de la gravitation universelle : elles donnent, comme on vient de le voir, des valeurs voisines de $8'',66$.

3^o Les *méthodes purement géométriques* sur les déplacements parallactiques des planètes voisines de la Terre : les oppositions de Mars ont fourni, en 1862, $\varepsilon = 8'',84$. Mais le passage de Vénus sur le Soleil est le phénomène où la méthode géométrique peut atteindre la plus grande précision.

On voit donc quel intérêt il y a pour l'Astronomie à déterminer la parallaxe du Soleil par trois méthodes indépendantes; j'espère

que les expériences que je viens de décrire successivement justifient par leur précision l'importance théorique de la méthode physique.