

LA TRAJECTOIRE ET LA MASSE DES COMÈTES ⁽¹⁾

D'où viennent les comètes? Sont-elles étrangères à notre système solaire; traversent-elles en tous sens les espaces immenses qui séparent les étoiles? Sont-elles des messagères qui vont d'une constellation à l'autre; ou bien, au contraire, ces astres sont-ils des membres fantaisistes de notre système, des satellites très excentriques du Soleil? Dans ce dernier cas, elles doivent toutes décrire des courbes fermées, des ellipses; dans le premier, leurs trajectoires doivent s'étendre à l'infini; c'est ce que nous appelons des hyperboles. La plupart décrivent des courbes tellement allongées qu'il est impossible de savoir si elles sont fermées ou non, si, par conséquent, l'astre qui les décrit nous reviendra un jour, ou si nous sommes destinés à ne le revoir jamais; je ne parle pas de nous, bien entendu, mais de nos descendants les plus lointains; car, si la comète doit revenir, ce sera souvent dans 10 000 ans, peut être dans 50 000 ans. Mais le calcul des probabilités nous montre que si les comètes n'appartenaient pas au système solaire, elles devraient, en majorité, avoir des orbites franchement hyperboliques, sur lesquelles il n'y aurait pas moyen de se tromper: or, il n'y en a pas une seule qui soit dans ce cas.

La conclusion, c'est que les comètes ont appartenu de tout temps au système solaire, qu'elles ne nous apportent pas des nouvelles des mondes plus lointains, de ceux qui gravitent autour des autres étoiles. En général, elles décrivent des orbites beaucoup plus allongées que les planètes, elles s'éloignent beaucoup plus du Soleil, et on peut admettre qu'elles mettent plusieurs milliers d'années à faire une révolution complète. La comète de Halley revient tous les soixante-quinze ans; il y en a d'autres dont le retour est encore plus fréquent, tous les six ans, par exemple. A quoi cela tient-il; ont-elles une autre origine que les autres, une origine qui ferait d'elles des intermédiaires entre les comètes proprement dites et les planètes? Pas le moins du monde; autrefois, elles mettaient comme les autres des milliers d'années à faire le tour de leur orbite, mais il leur est arrivé dans le cours de leur histoire une mésaventure; elles ont rencontré une grosse planète; je ne veux pas dire qu'elles l'ont choquée; elles sont simplement passées assez près pour que leur trajectoire soit profondément troublée; déviées de leur route, elles ont quitté la grande ellipse allongée qu'elles décrivaient pour suivre une autre ellipse plus petite, plus semblable à un cercle, qu'elles peuvent parcourir en moins de temps. C'est ainsi que la comète de Halley a été captée, comme on dit, par Neptune, et la plupart des autres comètes périodiques par Jupiter.

(1) Extrait d'une conférence sur les Comètes, donnée par M. HENRI POINCARÉ à la Société industrielle de Mulhouse.

Quel est maintenant l'avenir des comètes ? Nous voyons les planètes graviter autour du Soleil sans subir de changement sensible ; sans doute, elles ne sont pas éternelles, elles périront un jour, mais dans si longtemps ! En est-il de même des comètes ? Non, ces astres périssent rapidement, et nous en avons vu disparaître sous nos yeux.

Ainsi, il y avait une comète, celle de Biéla, qui avait été captée par Jupiter et qui revenait tous les six ans. A un de ses passages, il y a une cinquantaine d'années, comme on avait été quelques jours sans pouvoir l'observer à cause du mauvais temps, on l'a revue divisée en deux par je ne sais quel cataclysme ; les deux noyaux semblaient s'éloigner l'un de l'autre. On les revit encore à l'apparition suivante. Six ans après encore, on attendait la comète, on ne la vit pas reparaitre, et, depuis, elle n'est plus revenue ; mais, au lieu et place de la comète défunte, on a une pluie d'étoiles filantes qui reviennent maintenant régulièrement ; si on calcule l'orbite de ces étoiles filantes, on trouve qu'elle coïncide avec celle que suivait autrefois la comète ; c'est pourquoi ces étoiles filantes que l'on revoit tous les ans, le 27 novembre, ont reçu le nom de Biélides. Schiaparelli, le grand astronome italien, mort récemment, a généralisé ce résultat ; il a reconnu qu'un grand nombre d'essaims de météores ont des orbites en connexion intime avec celles des comètes vivantes ou disparues. Sans doute, la coïncidence n'est pas parfaite, puisque l'orbite de la comète ne rencontrant pas celle de la Terre, nous ne verrions pas les météores, s'ils ne s'en écartaient un peu. D'ailleurs, ces étoiles filantes suivent à peu près la route de la comète, mais elles sont répandues tout le long de cette route, plus ou moins en retard sur la comète qui leur a donné naissance.

Ceci me rappelle encore une histoire de fin du monde. L'essaim des Léonides circule dans l'orbite de la comète de 1866 ; on voit tous les ans des étoiles filantes le 13 novembre ; mais, tous les trente-trois ans, le nombre des météores aperçus est un maximum, parce que la durée de la révolution de la comète est de trente-trois ans. Or, les journaux bien informés avaient annoncé que la fin du monde devait avoir lieu le 13 novembre 1899. Tout exploré, un journaliste vint m'interviewer, je le rassurai en lui disant que le même phénomène s'était déjà produit en 1833 et en 1866.

Ainsi, les comètes se désagrègent peu à peu et finissent par se résoudre en un essaim d'étoiles filantes ; comment se fait-il alors qu'il y ait encore des comètes depuis le temps que le monde dure ? C'est que cette lente destruction des astres chevelus paraît ne se produire qu'au moment où ils passent près du Soleil. Tant qu'une comète ne passe au périhélie que tous les dix mille ans, par exemple, elle peut évidemment durer longtemps ; mais vient-elle à être captée par une planète, comme nous l'avons dit tout à

l'heure, elle devient périodique, se rapproche davantage du Soleil et revient tous les siècles, ou même tous les dix ans, se réchauffer à ses rayons. Désormais, ses jours sont comptés et l'œuvre de mort se poursuit rapidement.

Pourqu'i maintenant les comètes ont-elles des queues? Et si elles n'avaient pas de queue, il faut bien le reconnaître, personne, en dehors des professionnels, ne ferait attention à elles. C'est là une question dont on a proposé bien des solutions plus ou moins saugrenues; il y a en a une maintenant qui est à la mode et qui paraît appuyée d'assez bonnes raisons pour qu'on puisse se demander si elle n'est pas destinée à durer. Mais ceci nécessite quelques explications. Maxwell, en se fondant sur des considérations théoriques, était arrivé à cette conclusion que la lumière devait repousser les corps qu'elle frappe; depuis, Bartholi, par d'autres considérations théoriques aussi, mais entièrement différentes; était arrivé à la même conclusion. Il restait à vérifier ces hypothèses, et la difficulté provenait de la petitesse de cette répulsion. C'est dans ce but que fut imaginé un instrument que vous connaissez bien : le radiomètre; on espérait qu'il tournerait sous l'influence de la lumière, comme l'exigeait la théorie. Il tourna, en effet; il tourna même beaucoup plus vite qu'on ne s'y attendait; malheureusement, il tournait à l'envers. Il y avait donc un effet que personne n'avait prévu, qui était beaucoup plus considérable que celui qu'on avait calculé et qui le masquait complètement; il fallait en découvrir la cause; on y parvint sans trop de peine; la rotation est due aux mouvements déterminés dans l'air très raréfié qui remplit l'appareil par les inégalités d'échauffement.

On essaya alors d'éliminer cet effet perturbateur en prenant des palettes très minces et brillantes des deux côtés; l'appareil ne tourna pas, mais il subit une légère déviation; on m'a dit que cette déviation est en accord avec la théorie. J'ai entendu parler aussi d'une expérience plus frappante. On fait tomber dans un sablier un mélange de limaille de fer et de poudre de lycopode; à un certain moment, on dirige sur ce mélange un faisceau lumineux; le fer, qui est plus lourd, continue son chemin vertical, mais le lycopode, repoussé par la lumière, se trouve dévié et séparé de la limaille. On aurait là, pense-t-on, une reproduction artificielle des queues cométaires; la limaille représenterait le noyau, formé de matières plus lourdes, qui continuerait à parcourir son ellipse avec la sagesse d'une simple planète; le lycopode, ce serait la queue qui, au lieu de rester sur cette ellipse, serait déviée et rejetée au loin par la répulsion due à la lumière solaire.

La queue serait donc formée de particules très ténues, assez ténues pour que cette répulsion l'emporte sur l'attraction newtonienne. On conçoit, en effet, que cette attraction est proportionnelle aux masses, tandis que la répulsion, qui agit superficiellement, est proportionnelle aux surfaces; si

donc on considère deux sphères et que la plus grande ait un rayon double, la plus grande sera attirée huit fois plus et repoussée quatre fois plus que la petite; il peut donc se faire que la répulsion prédomine pour la plus petite et l'attraction pour la plus grande.

Quelle peut être la dimension de ces particules? On peut s'en rendre compte. Un astronome russe, M. Bredichin, a étudié les formes des queues cométaires; il a reconnu que la théorie précédente pouvait en rendre compte; que la courbure des queues était variable, sans doute d'après la composition des particules, et que cette courbure dénotait différents types de particules, pour lesquels la répulsion était, soit cinq fois, soit sept fois, soit même vingt fois plus grande que l'attraction. A quelles dimensions cela nous conduit-il pour ces corpuscules? Cela dépend naturellement de la densité qu'on leur attribue; mais remarquons qu'ils ne peuvent être gazeux; les gaz sont transparents, ils laissent passer la lumière qui les traverse sans agir sur eux.

On les regarde donc comme solides ou liquides, et on leur attribue, un peu arbitrairement, la densité du pétrole, sans doute parce que l'on a trouvé les raies des hydrocarbures dans le spectre des comètes. Le calcul montre alors que le diamètre de ces particules doit être de l'ordre du millième de millimètre. Les divers types de queues de Bredichin correspondraient alors, soit à des particules de diamètres différents, soit à des particules formées de substances plus ou moins denses.

On voit comment nous devons nous représenter la genèse des queues cométaires. La queue est comme un panache que le noyau transporte avec lui; mais il y a deux espèces de panaches, il y a celui que le militaire porte à son casque ou à son képi, et il y a le panache de fumée qui sort de la cheminée des bateaux à vapeur. Le panache du militaire voyage avec lui, il est toujours formé des mêmes plumes, il fait corps avec le casque. Un observateur superficiel pourrait croire qu'il en est de même du panache de fumée du paquebot, puisqu'il verrait que le navire est allé de New-York au Havre sans cesser de traîner derrière lui une sorte de queue qui a conservé tout le temps à peu près la même forme. Et pourtant, nous savons qu'il n'en est rien, que la fumée se serait promptement dissipée si la cheminée n'en avait constamment fourni de nouvelle pour remplacer celle qui disparaissait. La fumée qui est arrivée au Havre n'est pas du tout celle qui était partie de New-York.

La queue d'une comète est semblable à la fumée du bateau; ce n'est pas une espèce de grand sabre avec lequel la comète fauche l'espace. Mais, à chaque instant, pour une cause inconnue, et sans doute sous l'influence de la chaleur solaire, des particules se détachent du noyau; la comète s'effrite,

pour ainsi dire; une fois détachées, leur légèreté même les expose à la répulsion due à la lumière solaire, et elles s'éloignent en se perdant dans l'espace; la queue aurait bientôt disparu, si elle ne se renouvelait sans cesse.

Dans ces conditions, vous comprenez que la rencontre de cette queue ne peut pas être bien redoutable. Et d'abord, la masse des comètes n'est pas très considérable; on n'a jamais observé qu'elles exerçassent sur les orbites planétaires la plus légère influence perturbatrice. Une d'elles est passée une fois entre Jupiter et ses satellites: sa trajectoire a été fortement déviée; mais ni Jupiter ni les satellites n'ont eu l'air de s'apercevoir de rien. Laplace a été jusqu'à dire que la masse d'une comète n'est que de quelques kilogrammes; en cela, il exagérait, évidemment; la rencontre d'un noyau avec la Terre engendrerait, sans doute, quelques dégâts, mais cette éventualité est extrêmement peu probable, les noyaux sont relativement très petits, et nous n'aurions vraiment pas de chance d'aller donner justement dans un but aussi restreint. Il n'en est pas de même pour les queues, qui occupent dans le ciel des espaces énormes, mais alors leur densité devient vraiment négligeable, et il est aisé de s'en rendre compte.

Ce qui pourrait faire croire le contraire, c'est la lumière dont elles brillent. Si nous admettons même que tout provient de la lumière solaire réfléchiée et qu'il n'y a pas à faire intervenir ces phénomènes cathodiques qui peuvent se produire dans le vide, il n'y aurait pas lieu de trop s'effrayer.

Si nous considérons une même masse éclairée par le Soleil, la quantité de lumière qu'elle réfléchira sera d'autant plus grande qu'elle sera plus divisée. Si cette masse est formée d'un grand nombre de petites sphères, la lumière réfléchiée sera d'autant plus intense que ces sphères seront plus petites. Il est aisé de s'en rendre compte; considérons de grosses sphères de deux centimètres de rayon et de petites sphères de un centimètre de rayon; le volume ou la masse de la grosse sphère sera huit fois le volume ou la masse de la petite, mais la surface de la grosse sphère sera seulement quatre fois la surface de la petite. Huit petites sphères équivaudront donc à une grosse au point de vue de la masse; mais elles auront en tout deux fois plus de surface; elles réfléchiront donc deux fois plus de lumière. La Lune a un peu plus de 1 000 kilomètres de rayon, et nos particules ont un millièème de millimètre. Si donc nous remplissons le volume de la Lune par de pareilles particules, de façon que la densité totale soit un million de millions de fois plus petite que celle de la Lune, la lumière qu'elles réfléchiraient aurait l'éclat de la Lune. Si nous les regardions à la distance de notre satellite, elles nous feraient l'effet de la Lune; si nous étions

plus loin, nous verrions un disque plus petit, mais dont l'éclat serait le même.

Or, on ne saurait songer à comparer l'éclat d'une queue cométaire à celui de la Lune; il est peut-être cent mille fois plus faible, je ne crois pas qu'on ait fait de mesure, mettons mille fois; nous devons conclure que la densité de ces particules est 10^{15} fois plus petite que celle de l'eau; nous pouvons dire que c'est le vide, puisque c'est une densité un milliard de fois plus faible que celles auxquelles nous parvenons avec beaucoup de peine quand nous avons fait le vide dans nos appareils, avec les moyens artificiels les plus perfectionnés que nous connaissions.

HENRI POINCARÉ.

FORME DE L'OMBRE DE LA LUNE SUR LA TERRE PENDANT UNE ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL

Il semble, au premier abord, que l'ombre de la Lune sur la Terre doive être sensiblement une ellipse. Cette ombre est, en effet, l'intersection du cône circulaire circonscrit à la Lune et au Soleil par la surface de la Terre qui représente sensiblement un plan dans le cercle de 100 ou 150 kilomètres de rayon qu'embrasse cette ombre. Pourtant, il est aisé de se rendre compte que ce phénomène est parfois plus compliqué. Si le Soleil est sensiblement circulaire, il n'en est pas de même de la Lune qui n'est pas une sphère parfaite; son bord porte des échancrures pouvant atteindre environ $2''$ de profondeur, et dont l'importance a été mise en évidence surtout lors de la dernière éclipse de Soleil.

Or, ces échancrures ont pour effet de produire dans l'ombre de la Lune sur la Terre des déformations qui peuvent être beaucoup plus considérables que celles qu'on pourrait attendre d'une aussi petite irrégularité du bord lunaire.

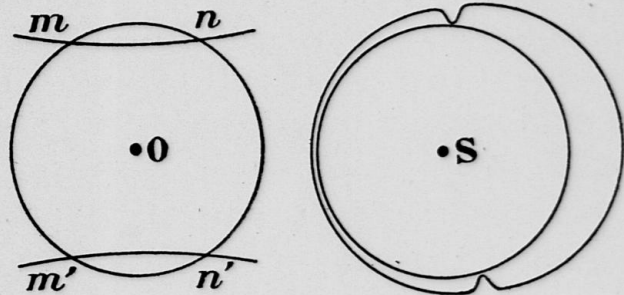


Fig. 221 et 222.

Soit O (fig. 221) l'ombre de la Lune que nous supposons circulaire, le Soleil étant au zénith du lieu d'observation. Une échancrure du bord lunaire aura pour effet d'écorner en quelque sorte cette ombre suivant la courbe mn . La profondeur de cette échancrure de l'ombre lunaire sur la Terre pourra dépasser 2 ou 3 kilomètres. Si l'éclipse totale est de longue durée, c'est-à-dire si l'ombre de la Lune atteint 100 kilomètres de rayon, cette déformation sera relativement peu importante et l'ombre conservera sensiblement sa forme circulaire. Mais il n'en sera pas de même pour une éclipse très courte; c'est, on s'en souvient, le cas qui a failli se produire en avril dernier. En réalité, l'éclipse n'a été absolument totale nulle part, mais on escomptait qu'elle le serait au moins au