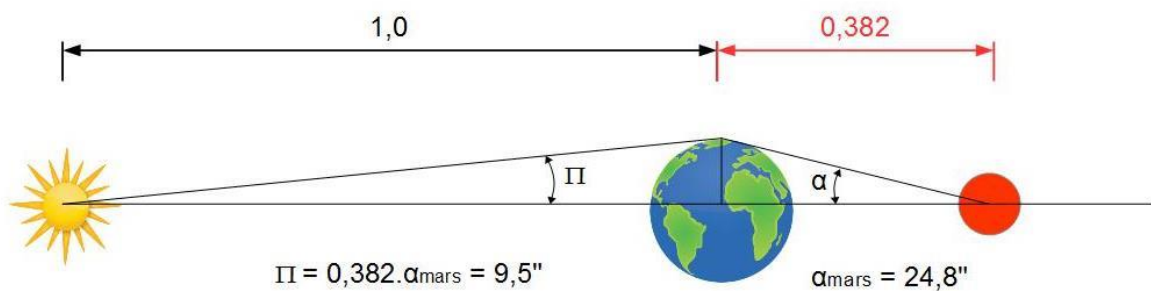


À LA RECHERCHE DE LA PARALLAXE SOLAIRE (5/11)

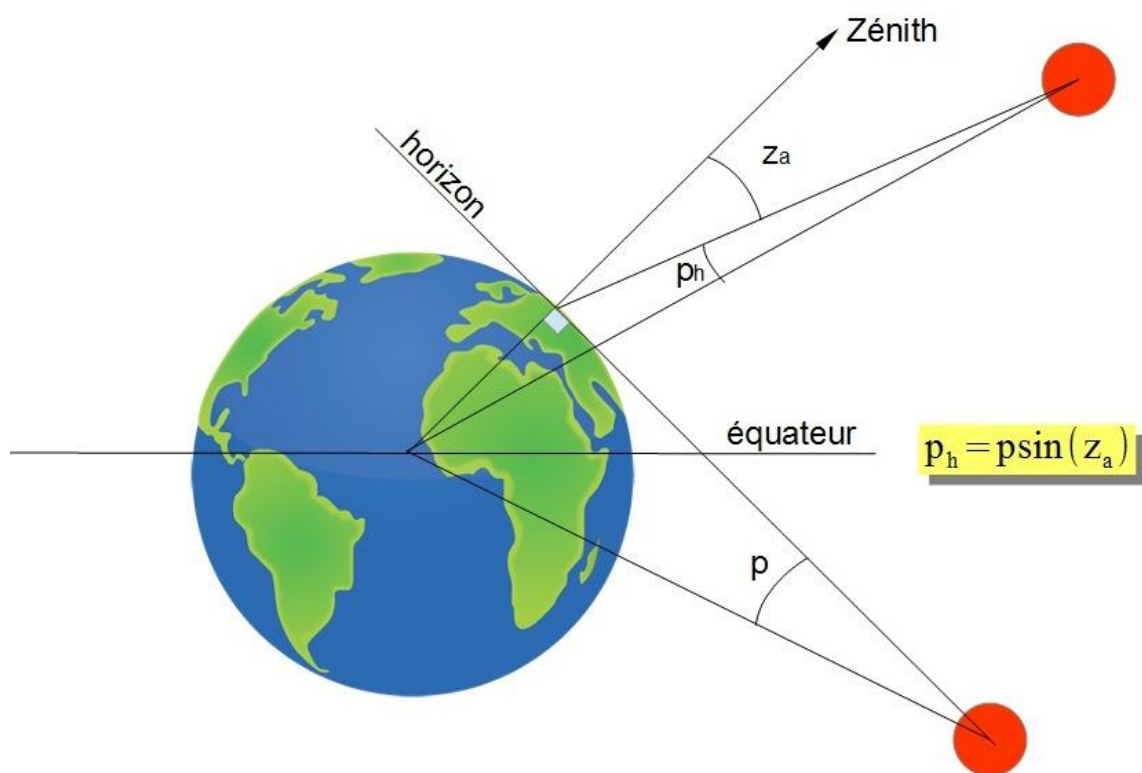
## Quand tout est une question de point de vue...

Se servir de Mars pour connaître la distance au Soleil ! Voilà qui est rendu possible depuis que les travaux de Kepler ont considérablement amélioré la connaissance des proportions que font entre elles les tailles des orbites des planètes. L'avantage d'utiliser Mars tient dans sa proximité avec la Terre. Mars peut effectivement s'approcher de la Terre à une distance près de trois fois plus petite que la distance Terre-Soleil. Il suffit alors de mesurer la parallaxe de Mars dans ces moments très favorables pour en déduire la parallaxe du Soleil par le rapport des distances respectives à la Terre (**voir Fig.1**). L'intérêt tient dans le fait que la parallaxe de Mars étant alors trois fois plus grande que celle du Soleil, sa mesure en est grandement facilitée car sa grandeur est bien supérieure à l'incertitude des instruments de mesure en cette fin de XVII<sup>e</sup> siècle qui était alors du même ordre de grandeur que celle de la parallaxe solaire, soit 10" de degré.



**Fig.1** : Principe du calcul de la parallaxe solaire à partir de la mesure de la parallaxe de Mars lors de son opposition périhélique du 8 septembre 1672. À ce moment, la distance entre la Terre et Mars est 0.382 fois celle de la Terre au Soleil. La parallaxe horizontale de Mars est donc 2,7 fois plus grande que celle du Soleil ce qui la rend plus favorable à la mesure.

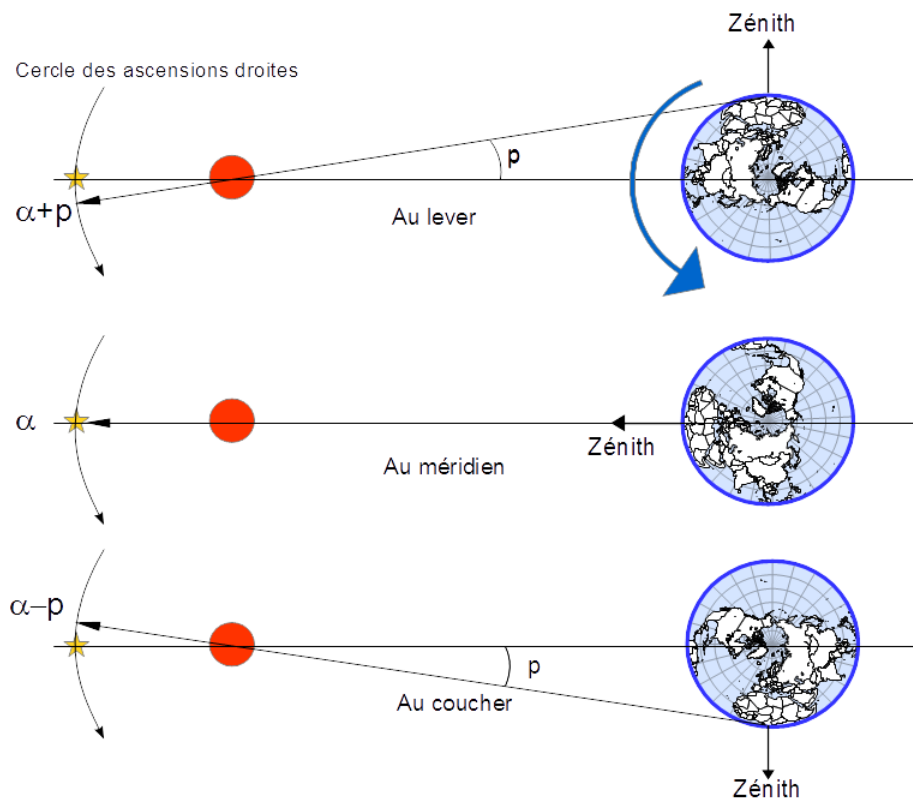
Cependant, ces configurations avantageuses ne se produisent qu'à des moments précis et relativement rares qui correspondent aux *oppositions périhéliques* de Mars. Elles se produisent lorsque la planète se retrouve en *opposition* au Soleil vis-à-vis de la Terre, tout en étant au voisinage de son *périhélie*, qui est le lieu de son orbite le plus proche du Soleil. La conjugaison de ces deux circonstances permet à la planète de se trouver à une distance d'environ 50 millions de kilomètres de la Terre ( $\Delta = 0.373$  UA au plus proche, si Mars est exactement à son périhélie), ceci en raison de la grande excentricité de l'orbite de Mars. Les oppositions périhéliques de Mars reviennent tous les 15 ou 17 ans. Le rapprochement de la Terre avec le périhélie de Mars se produisant le 27 août de chaque année, une opposition de Mars – les oppositions simples ont lieu tous les 780 jours ou 26 mois - proche de cette date sera donc très favorable. De plus, pour l'observateur, la planète culmine alors haut dans le ciel vers minuit, au moment où elle franchit le méridien du lieu. On peut donc l'observer pendant toute la durée de la nuit.



**Fig.2 :** Parallaxe de hauteur  $p_h$  et parallaxe horizontale  $p$ . La parallaxe de hauteur varie comme le sinus de la distance zénithale apparente  $z_a$ . Elle est nulle au zénith et maximale à l'horizon où elle est égale à la parallaxe horizontale (quand  $z_a = 90^\circ$ ).

Comment mesurer la parallaxe de Mars ? Il existe principalement deux méthodes : la première, dite des *ascensions droites*, ne nécessite qu'un seul observateur ; la seconde, dite des *déclinaisons*, requiert au moins deux observateurs positionnés en des lieux différents d'un même méridien. Rappelons que l'ascension droite et la déclinaison d'un astre ou d'une planète sont les deux coordonnées angulaires – analogues à nos longitudes et latitudes terrestres – utilisées pour repérer leur position sur la sphère céleste équatoriale dont le centre coïncide avec le centre de la Terre (coordonnées géocentriques) ou avec l'observateur (coordonnées topocentriques). Le principe général des deux méthodes consiste à mesurer tantôt un écart dans

l'ascension droite de Mars (appelé *parallaxe en ascension droite*), tantôt un écart dans sa déclinaison (*parallaxe en déclinaison*, ou *en hauteur*) entre deux mesures faites en deux positions le plus éloignées possible l'une de l'autre dans l'espace. Depuis chacune de ces deux positions, Mars est vue dans une direction différente, et c'est cette différence entre les directions qui est constitutive de l'effet de parallaxe (**Fig.2**). **L'effet de parallaxe se manifeste uniquement sur la hauteur de l'astre**, c'est pourquoi l'on parle de parallaxe de hauteur que l'on peut relier à la parallaxe horizontale (correspondant par définition à une hauteur nulle au-dessus de l'horizon,  $h = 0^\circ$ , ou une distance zénithale  $z = 90^\circ$ , voir **LI#97**). La parallaxe ne change donc pas l'azimut d'un astre. Elle va cependant modifier son ascension droite et sa déclinaison. **Il n'y a que lorsque la planète se trouve au méridien que la parallaxe en ascension droite est nulle.** Car dans ce cas, le vertical (grand cercle passant par le zénith) se confond avec le méridien du lieu et est alors perpendiculaire à l'équateur céleste dans lequel sont comptées les ascensions droites. La parallaxe n'agissant que sur la position verticale de l'astre n'a alors aucun effet sur son ascension droite.



**Fig.3 : Méthode des ascensions droites.** Cas simple idéal : si l'on observe à l'équateur l'ascension droite d'une planète de déclinaison nulle (donc située dans le plan équatorial de la Terre), on note, par rapport à une étoile lointaine de référence (de même ascension droite et de déclinaison nulle également), qu'au lever son ascension droite apparente est plus forte, tandis qu'au coucher elle est plus petite que lors de son passage par le méridien. C'est l'effet de la parallaxe en ascension droite. La différence des valeurs de l'ascension droite est alors égale à deux fois la parallaxe horizontale de la planète.

Jean-Dominique Cassini, dont nous avons déjà eu l'occasion de parler dans l'épisode précédent (voir **LI#100**), va profiter de l'opposition périhélique de Mars, attendue pour le 8 septembre 1672 ( $\Delta = 0.382$ ), pour mettre en œuvre chacune de ces deux méthodes et **faire la première mesure directe de la parallaxe de Mars et donc également de la parallaxe solaire.**

### Calcul des phénomènes pour l'opposition de Mars de 1672 :

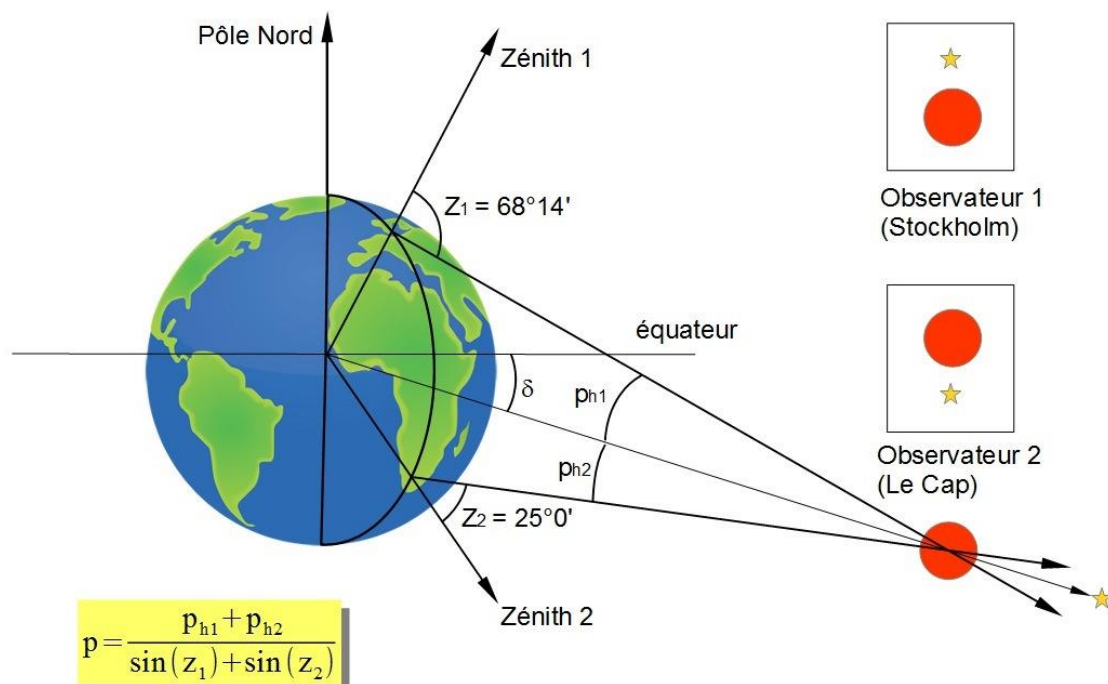
- le 13/08/1672 à 09h 00m 57s UTC : Mars au périhélie (distance minimale au Soleil)  
 $d = 1.38166$  ua.
- le 04/09/1672 à 14h 46m 01s UTC : Mars au plus près de la Terre (distance minimale à la Terre)  $d = 0.38121$  ua, diam. app. : 24.6".
- le 08/09/1672 à 22h 58m 25s UTC : Mars en opposition, diam. app. : 24.5".

Dans la méthode des ascensions droites, l'observateur, sans quitter son observatoire, transporté à travers l'espace par la rotation de la Terre, va utiliser ce déplacement pour déceler un écart dans la position relative de Mars par rapport à une étoile de référence lorsque la planète passe d'un côté du méridien à l'autre (**Fig.3**). Pour que la méthode réussisse, il faut que soient réunies les conditions rendant maximale cette variation qui sera l'objet même de la mesure. Pour cela, il faut une opposition périhélique, des observations faites si possible au plus près du lever et du coucher de l'astre en un lieu équatorial. Pratiquement, on observe la différence entre le temps de passage de la planète et celui d'une étoile fixe par un même cercle vertical qui donne la différence d'ascension droite après conversion des temps en degrés. La précision à l'horloge était alors d'une seconde de temps, soit 15" de degré ! Par la répétition de la même mesure de part et d'autre du méridien, il est alors possible de parvenir à une précision de 2-3" sur la variation en ascension droite, et au final de 1" sur la parallaxe solaire. Cassini, aidé de Roemer, appliquera cette méthode à l'Observatoire de Paris pour la première fois en astronomie les nuits des 8,9 et 10 septembre 1672 ( $\Delta = 0,382$ ), trouvant une variation de deux secondes de temps (ou 30" de degré) entre les observations faites 4 heures avant le méridien et 4 heures après, d'où il en tirera une parallaxe de Mars de 24,75", et donc une parallaxe solaire de 9,5".

En dépit de l'imprécision liée à l'usage de l'horloge, la méthode sera utilisée à nouveau à Paris le 15 août 1719 par Maraldi ( $\Delta = 0,374$ ) qui trouvera une parallaxe de Mars de 27,5", soit 10,2" pour la parallaxe solaire. Il faudra ensuite attendre le XIX<sup>e</sup> siècle, notamment après l'introduction de l'héliomètre (voir **LI#91**) en lieu et place de la mesure de temps à l'horloge, pour une nouvelle application de la méthode par David Gill, astronome de l'Observatoire du Cap, sur l'île de l'Ascension lors de la grande opposition du 5 septembre 1877 ( $\Delta = 0,377$ ). Il mesurera une parallaxe solaire de 8,778" avec une précision exceptionnelle de 0,012", cent fois meilleure que celle de Cassini !

Dans la méthode des déclinaisons, plusieurs observateurs se répartissent si possible le long d'un même méridien, chacun mesurant la différence de déclinaison entre Mars et une étoile de référence lors de leur passage par le méridien du lieu (**Fig.4**). Cette fois-ci, la méthode sera optimisée si les stations d'observations sont le plus éloignées possible l'une de l'autre, l'idéal étant que leur différence de latitude s'approche le plus possible des 180°. Alors que Cassini et

Roemer vont observer à Paris, Jean Richer est envoyé à Cayenne – par 5° de latitude nord – pour faire l’observation correspondante. Par comparaison des différences de hauteurs méridiennes entre Mars et l’étoile  $\psi$  du Verseau relevées les 5, 9 et 24 septembre 1672 ( $\Delta = 0,382$ ), Cassini trouve que leur distance angulaire est plus grande de 15" à Paris qu’à Cayenne. Ce résultat implique une parallaxe horizontale de Mars de 25,6", ce qui donne celle du Soleil à 9,5", équivalente à celle trouvée par la précédente méthode. Il est dommage que Cassini n’ait pas songé à demander à Richer d’appliquer également la méthode des ascensions droites depuis sa position équatoriale, plus avantageuse que celle de Cassini à l’Observatoire de Paris.

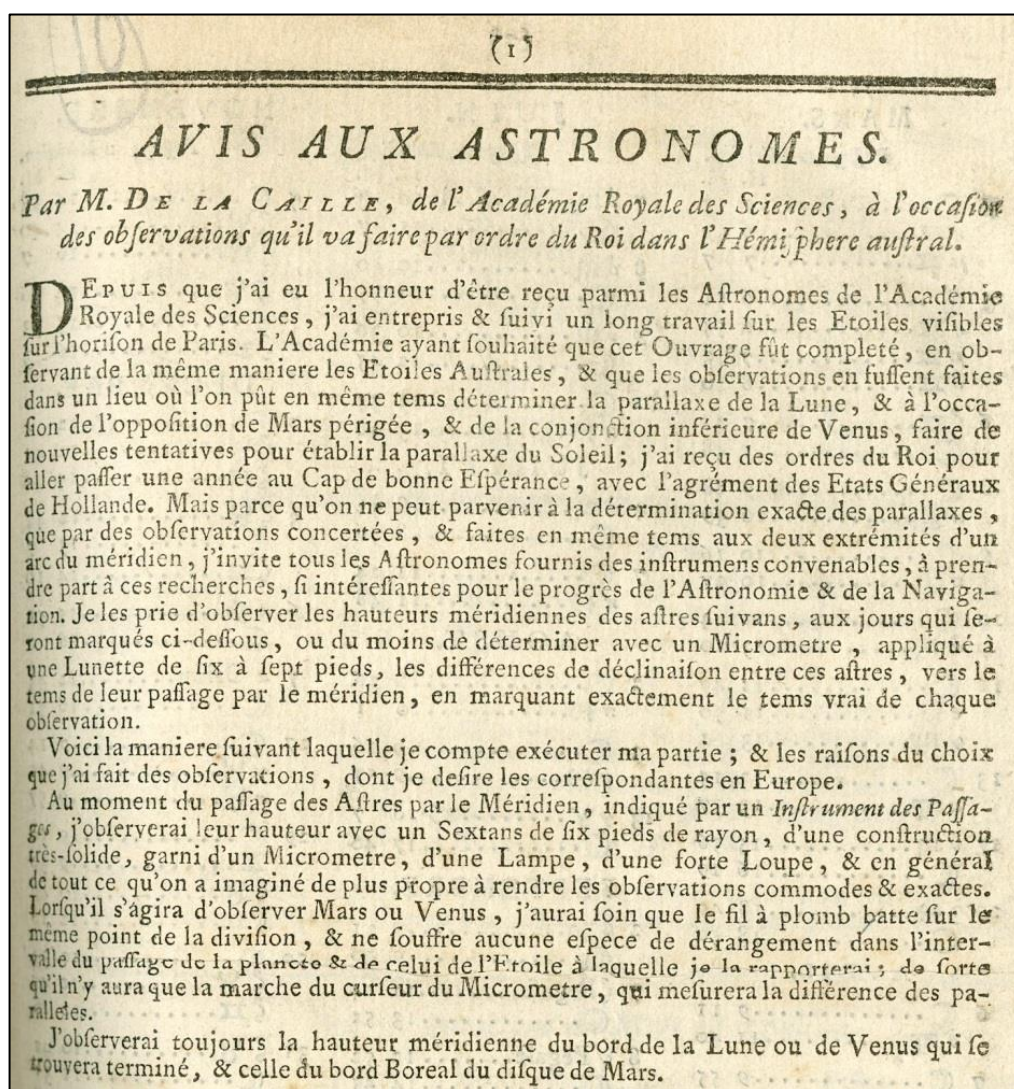


**Fig.4 : Méthode des déclinaisons.** Observations simultanées du 14 septembre 1751, entre Wargentín à Stockholm et La Caille au Cap. La différence de déclinaison de Mars constatée par rapport à une étoile de référence – qui correspond à la somme des parallaxes de hauteur - est de 32" qui, une fois divisée par la somme des sinus des distances zénithales mesurées, soit 1,3513, donne une parallaxe de Mars de 23,1" et une parallaxe solaire de 9,09" ( $\Delta = 0,385$ ).

La seconde application de la méthode des déclinaisons sera faite à l’occasion du voyage de l’abbé La Caille (1713-1762) au Cap de Bonne-Espérance pour l’opposition du 14 septembre 1751 ( $\Delta = 0,385$ ). Pour l’occasion, il lancera un appel aux astronomes pour observer de concert le phénomène (**Fig.5**), premier exemple d’une coordination internationale scientifique. Les observations seront menées depuis la fin du mois d’août jusqu’au 6 octobre 1751, toutes rapportées au 14 septembre 1751. Elles donneront des résultats compris entre 24 et 34" pour la parallaxe de Mars. La Caille prendra la valeur moyenne de 27 observations et trouvera 26"8, soit une parallaxe solaire de 10,25" avec une médiocre précision estimée à 3". Après La Caille, on ne songea plus à déterminer la parallaxe solaire par la même méthode, il faudra attendre plus de 80 ans avec Henderson au Cap en 1832 qui, par comparaison avec des observations



correspondantes faites en Europe, trouvera une parallaxe solaire de 9,028" pour une précision de 0,4". Malgré l'utilisation d'instruments à mesure micrométrique, les résultats obtenus par la méthode des déclinaisons sont frappés d'une plus grande imprécision que ceux obtenus par la méthode des ascensions droites. À cela plusieurs raisons : l'obligation d'appliquer des corrections de longitude aux observations qui ne sont jamais faites sur un même méridien ; l'effet de l'aplatissement terrestre ; et surtout, l'écart angulaire en latitude entre les lieux d'observation qui est toujours beaucoup plus petit que celui que l'on peut obtenir sur un même parallèle en se laissant porter par la rotation de la Terre ; dans ce dernier cas la mesure de la variation angulaire est alors moins sensible aux erreurs de mesure faites en chaque position.



**Fig.5** : Avis aux astronomes lancé par Nicolas Louis de La Caille en 1750 pour l'observation simultanée de « l'opposition de Mars périégée ... pour établir la parallaxe du Soleil. » (Bibliothèque de l'Observatoire de Paris)

Les télescopages de la langue astronomique sont parfois saisissants. Ainsi, il faut que Mars soit à la fois en opposition avec le Soleil tout en étant au plus proche de lui pour résoudre la question

de la parallaxe solaire; et de plus, c'est grâce à son excentricité – près de 10%, la plus forte du système solaire –, responsable des grandes oppositions périhéliques, que Kepler a pu en déduire les lois du mouvement des corps célestes, et que Cassini a pu mesurer le premier les distances et dimensions au sein du système solaire. Mars la retorse ! Mars l'excentrique ! Finalement, nous devons beaucoup à la planète rouge.

En définitive, l'un des grands enseignements de l'astronomie à propos de la question de la parallaxe de Mars est que, le plus souvent, mieux vaut savoir changer de point de vue pour contourner une difficulté et résoudre un problème. Cela vaut en science, comme en toutes choses ... à méditer.