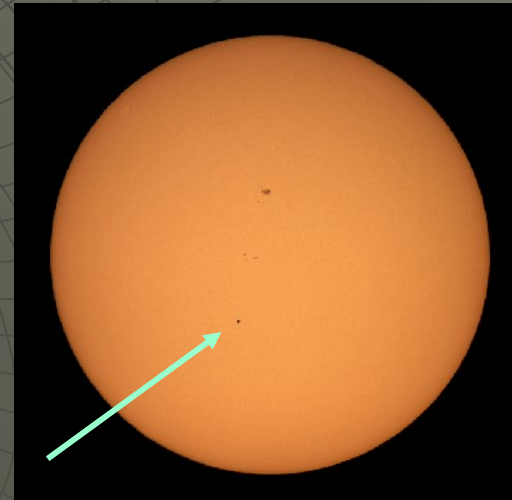


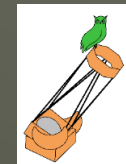
Transit (Passage) de Mercure devant le Soleil 11 Novembre 2019



Toile de Giacomo Balla
Transit du 17 Novembre 1914



Transit 9 Mai 2016



Jean-Luc Mainardi
Albédo 38
Novembre 2019



Les 8 planètes du Système Solaire (4 telluriques + 4 géantes gazeuses)

Mercure = planète tellurique

(la plus petite des 4)

Diamètre = 4879,4 km (# 1/3 Terre)

Masse = 0,06 M_T (0,38 g)

Irradiation solaire = 5 à 11 fois Terre

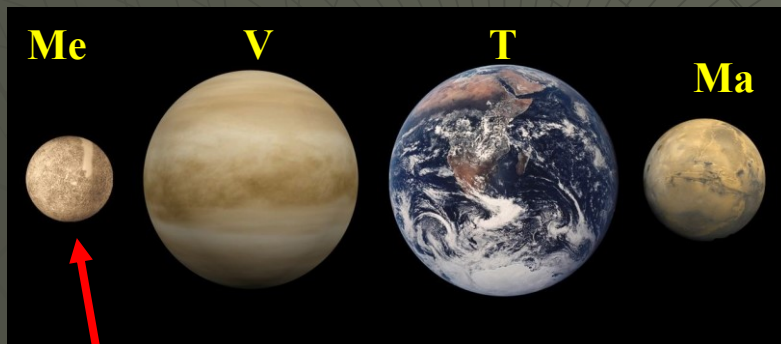
Pas d'atmosphère (exosphère)

Température de $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+427\text{ }^{\circ}$

Champ magnétique très faible:

1/60^{ème} Terre

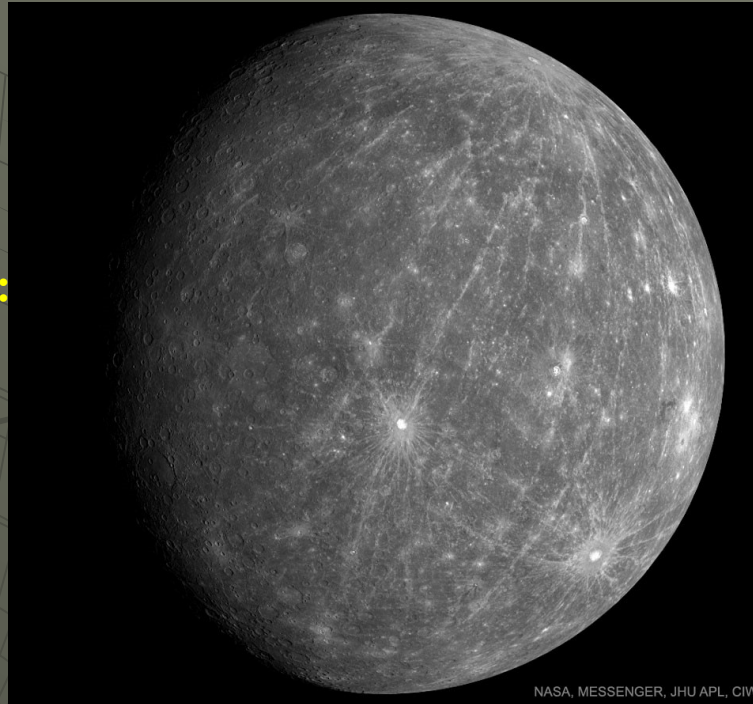
Inclinaison très faible de son axe de rotation



Les 4 planètes telluriques

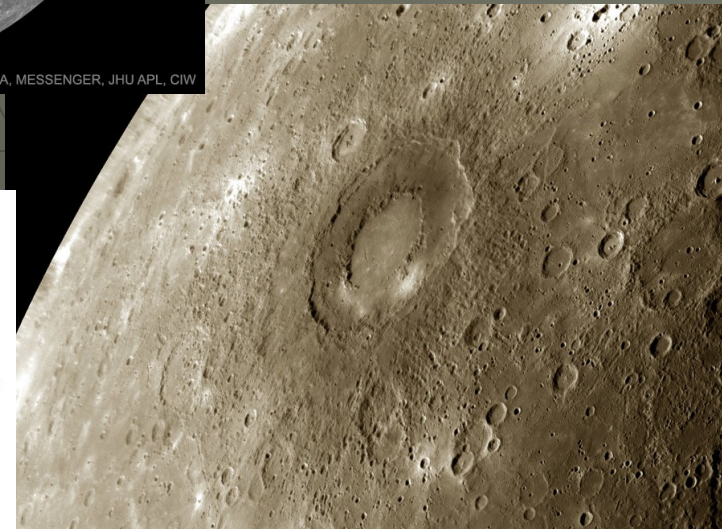
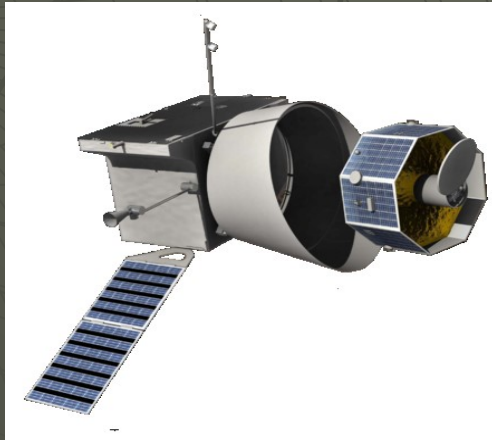
- Sonde Mariner 10 en 1974/1975
- Sonde Messenger en 2011 (cf photos ci-

==> La surface de Mercure ressemble à celle de la Lune: elle est très cratérisée



Sonde Européenne(+ Japon) BEPI-COLOMBO
Lancée en Oct 2018
Arrivée Mercure en Dec 2025

**Guiseppe
Columbo**



Mercure (Hermès) et la Mythologie



Fils de Jupiter et de Maia

Son nom latin vient de Merces = marchandise

Dans l'Olympe, Mercure était "Monsieur Bons-Offices"

Mercure était le messager des Dieux
(Voir ses sandales ailées pour aller plus vite)
== > Avec son caducée, il aidait les humains
à passer de vie à trépas

Puis il est devenu le "Saint Patron" des commerçants,
des médecins et ... des voleurs !

*D'autres
pseudo-caducées*



Mercure est à l'origine de notre jour : Mercredi

Mercure vu de la Terre



Rapprochement Vénus-Mercure
Au-dessus de Parménie
15 Janvier 2015

- Visible qu'à l'aube ou au crépuscule
(conditions d'observations difficiles)
- Dim depuis la Terre : de 4,7" à 12,2 " d'arc
- Magnitude : mv œil nu : -2,3 à 5,7
- Présente des phases
(comme Vénus)
- Elongation par rapport au Soleil : toujours inférieure à $28,3^\circ$
période des élongations favorables :
Ouest : en Mars (lever du soleil)
Est : Septembre (coucher du soleil)

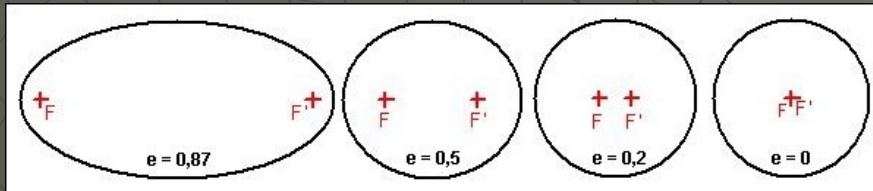


*Copernic n'aurait, paraît-il, jamais observé
Mercure !!!*

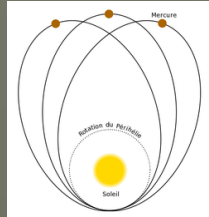
L'orbite de Mercure

-L'orbite est la plus elliptique de celles des 8 Planètes du Système Solaire :

== > Excentricité = 0,206 (12 fois celle de la Terre)



*(Pb de la rotation du Périhélie
résolu par Einstein)*



- Distance au Soleil :

Périhélie = 46 M de km (0,31 UA)

Aphélie = 70 M de Km (0,47 UA)

- Inclinaison sur l'écliptique = 7°

- Révolution autour du Soleil = 88 j (1 année de Mercure)

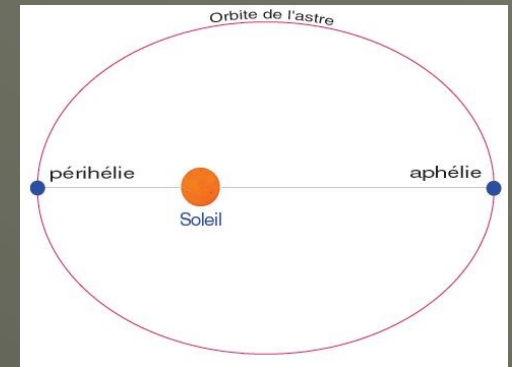
- Rotation sidérale (1 tour sur lui-même)= 58,6 j

Mercure tourne très vite autour du Soleil mais lentement sur lui-même

d'où Durée du "jour solaire" sur Mercure (le soleil revient au méridien) = 176 j

[*Résonance gravitationnelle 3:2* : Mercure effectue 3 rotations (3 tours sur lui-même) quand il effectue 2 révolutions (2 tours autour du Soleil)]

1 jour solaire de Mercure = 2 années mercurielles !!!



Comment on voit le Soleil depuis Mercure

Le Soleil

Vu de la Terre
150 millions de km



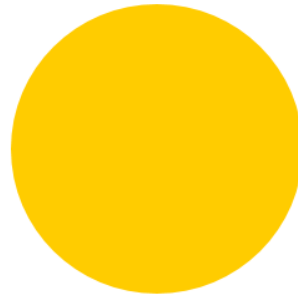
~32'

Vu de Mercure
à son aphélie
70 millions de km

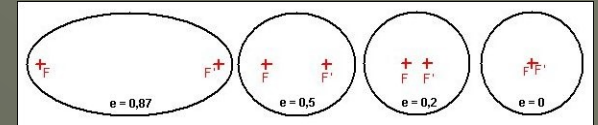


~68'

Vu de Mercure
à son périhélie
46 millions de km



~104'



Terre

Excentricité de l'orbite :
= 0,017

(orbite pratiquement
circulaire)

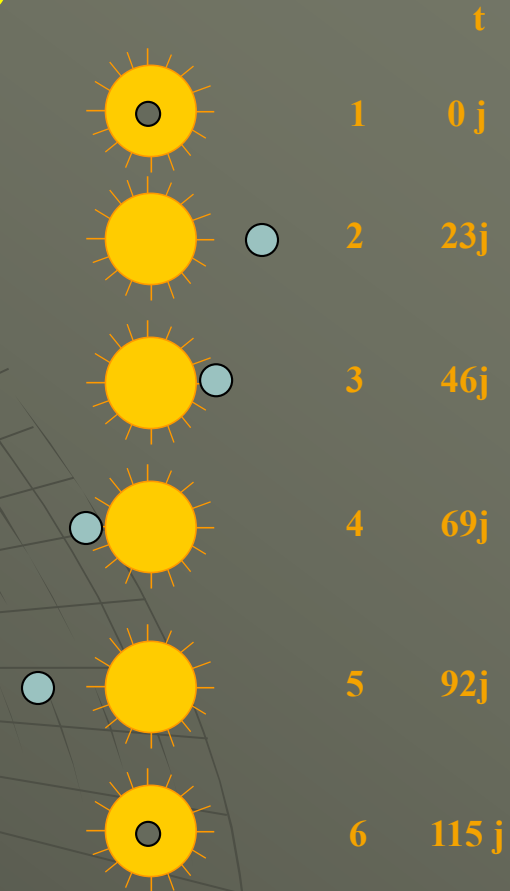
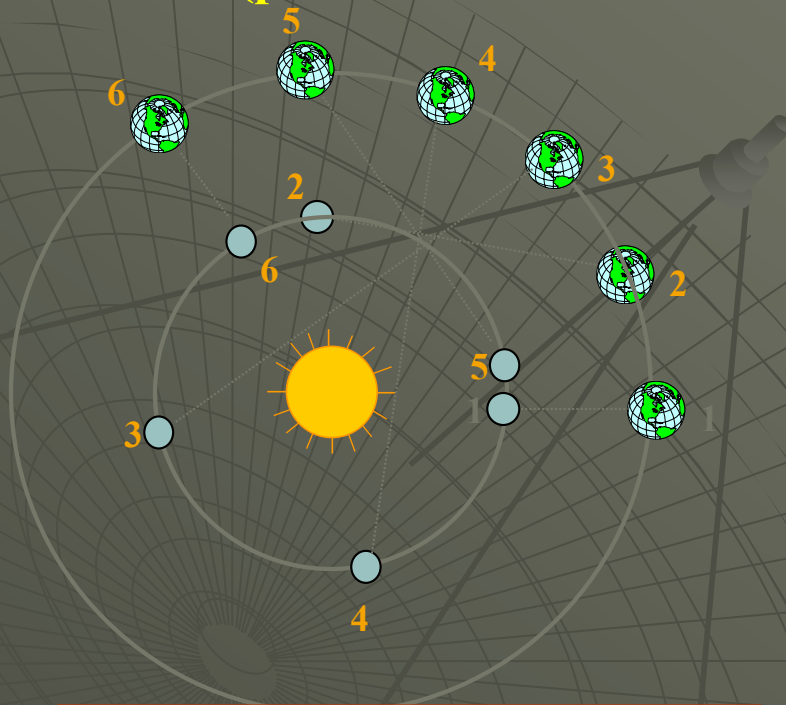
Mercury

Excentricité de l'orbite
= 0,206

== > 40 % de variation
du diamètre du Soleil vu de
Mercury !

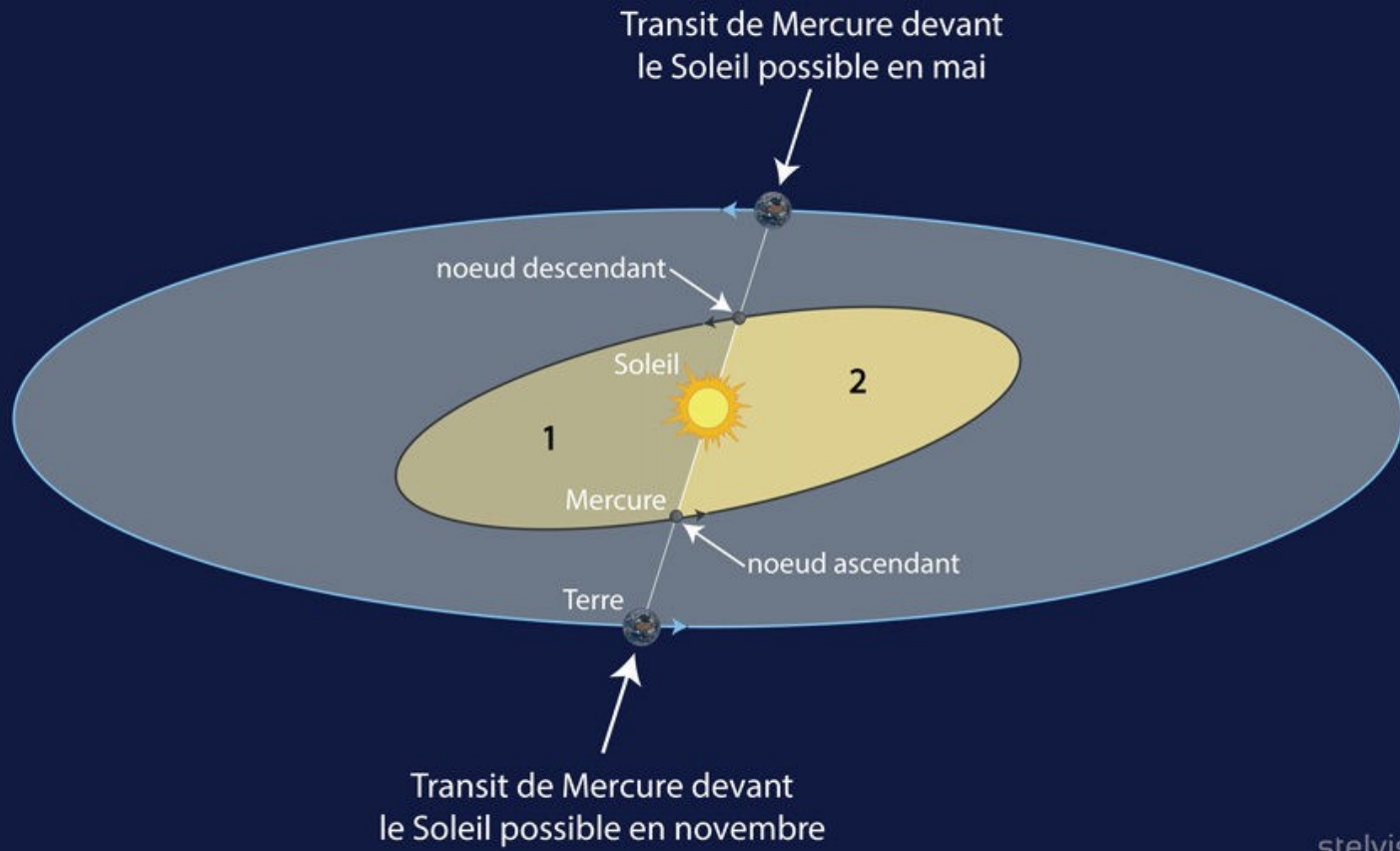
Orbites de la Terre et de Mercure (IMCCE)

Hypothèse : Si l'orbite de Mercure était dans le plan de l'écliptique
(plan de l'orbite de la Terre)



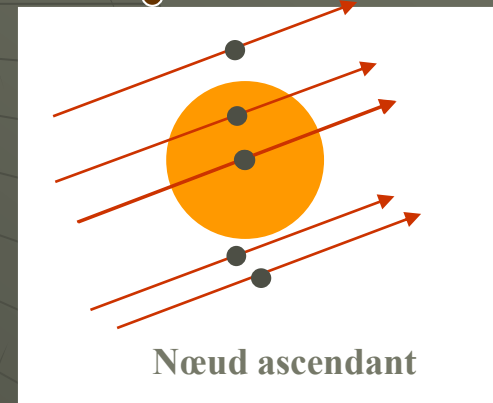
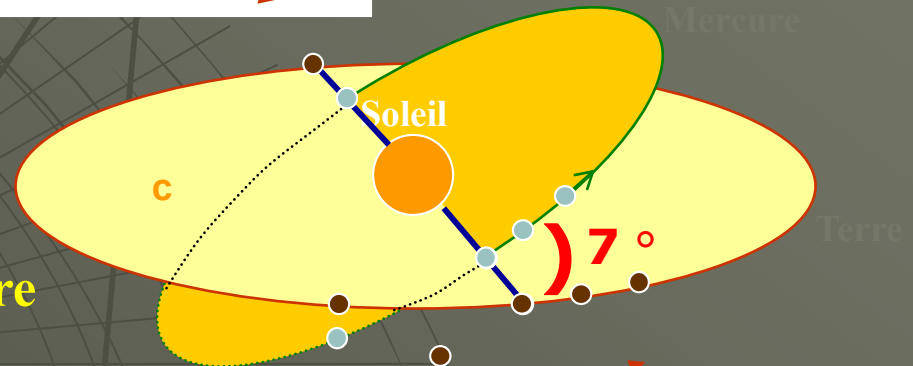
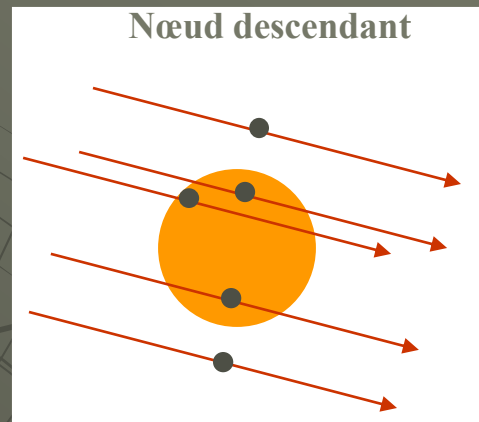
Terre	365.25 j
Mercure	87,97 j
Révolution synodique	
	115.88 j
Retour de la même conjonction	

L'inclinaison de 7° de l'orbite de Mercure sur le plan de l'écliptique

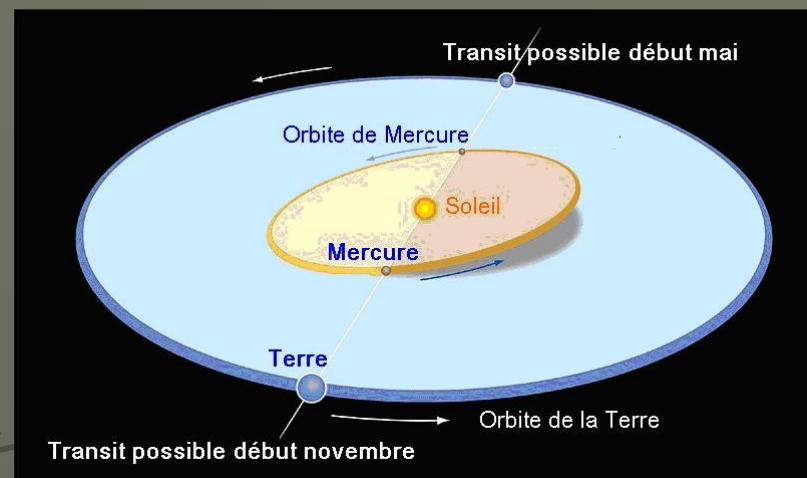


Complication due au fait que l'orbite de Mercure ne soit pas dans le plan de l'écliptique (IMCCE)

- Inclinaison de l'orbite = 7°
 - Passage de la Terre aux nœuds :
 - première quinzaine de mai
 - première quinzaine de novembre
 - Conditions pour un Transit :
 - alignement Soleil - Mercure - Terre (116 j)
 - au voisinage du nœud
- == > Combinaison assez rare.



Date	Instant (UTC) (h min s)	Type	Distance minimale ('' ''')	Durée (h min s)	Saros 46 ans	N°	Saros 171 ans	N°	Saros 217 ans	N°
10/11/1927	05 45 32	NC	-02 04,58	05 28 37	49	9	48*	13	23	23
11/05/1937	08 59 41	P	-15 48,45	01 00 05	48	10	68*	1	35*	1
11/11/1940	23 21 06	NC	06 04,36	05 06 08	47	14	57*	8	24*	23
14/11/1953	16 53 39	NC	14 17,67	02 36 30	45	18	66*	2	25*	23
06/05/1957	01 14 36	NC	15 00,36	02 41 18	52	1	56	9	26*	23
07/11/1960	16 52 48	NC	-08 43,78	04 39 53	51	5	42	18	27*	23
09/05/1970	08 16 11	NC	-01 47,05	07 57 04	50	6	63	4	28*	23
10/11/1973	10 32 15	NC	-00 22,27	05 31 13	49	10	50*	12	29*	23
13/11/1986	04 06 60	NC	07 46,43	04 49 38	47	15	59*	7	30*	23
06/11/1993	03 56 15	NC	-15 22,59	01 45 54	53	1	35	22	34*	4
15/11/1999	21 40 44	NC	15 58,90	00 59 52	45	19	69*	1	1*	24
07/05/2003	07 52 37	NC	11 41,32	05 23 59	52	2	58	8	2*	24
08/11/2006	21 40 53	NC	-06 58,78	04 59 38	51	6	44*	17	3	24
09/05/2016	14 57 14	NC	-05 11,48	07 33 51	50	7	65*	3	4*	24
11/11/2019	15 19 31	NC	01 11,82	05 30 11	49	11	53	11	5*	24
13/11/2032	08 53 38	NC	09 27,98	04 27 55	47	16	62*	5	6*	24
07/11/2039	08 46 01	NC	-13 38,12	03 00 12	53	2	38	21	32*	12
07/05/2049	14 23 48	NC	08 24,81	06 45 06	52	3	60	7	8*	24
09/11/2052	02 29 22	NC	-05 14,56	05 14 01	51	7	46*	16	9*	24
10/05/2062	21 36 41	NC	-08 33,46	06 45 04	50	8	67*	2	31*	17
11/11/2065	20 05 56	NC	02 56,62	05 25 20	49	12	55*	10	10*	24
14/11/2078	13 40 47	NC	11 10,18	03 59 16	47	17	64*	4	11*	24
07/11/2085	13 34 17	NC	-11 54,38	03 45 53	53	3	40	20	13	24
08/05/2095	21 05 32	NC	05 02,76	07 33 09	52	4	61	6	15*	24
10/11/2098	07 16 36	NC	-03 30,55	05 23 53	51	8	48*	14	16*	24
12/05/2108	04 16 17	NC	-11 57,61	05 17 28	50	9	68*	2	33	10
14/11/2111	00 53 14	NC	04 39,22	05 16 43	49	13	57*	9	17*	24
15/11/2124	18 28 34	NC	12 54,79	03 19 51	47	18	66*	3	18*	24
09/11/2131	18 22 47	NC	-10 10,23	04 19 01	53	4	42	19	20*	24
10/05/2141	03 43 17	NC	01 41,09	07 55 58	52	5	63	5	22*	24
11/11/2144	12 02 13	NC	-01 48,60	05 29 37	51	9	50*	13	23	24
13/05/2154	10 58 54	NC	-15 23,55	02 04 41	50	10	70*	1	35*	2
14/11/2157	05 40 01	NC	06 22,78	05 03 48	49	14	59*	8	24*	24
16/11/2170	23 15 48	NC	14 36,33	02 24 13	47	19	69*	2	25*	24
08/05/2174	03 26 29	NC	15 17,39	02 15 49	54	1	58	9	26*	24
09/11/2177	23 09 13	NC	-08 25,63	04 44 00	53	5	44*	18	27*	24



Périodicité des Transits de Mercure aux nœuds de son orbite

7 ans ,13 ans, 33 ans et 46 ans
13 à 14 transits par siècle
en Mai ou en Novembre

(rapport des fréquences Nov/Mai=7/3)

- en Mai : nœud descendant
Mercure à l'aphélie
(mini distance Terre-Mercure) diam =12''
- En Novembre : nœud ascendant
Mercure au périhélie
(maxi distance Terre Mercure) diam =9,8 ''

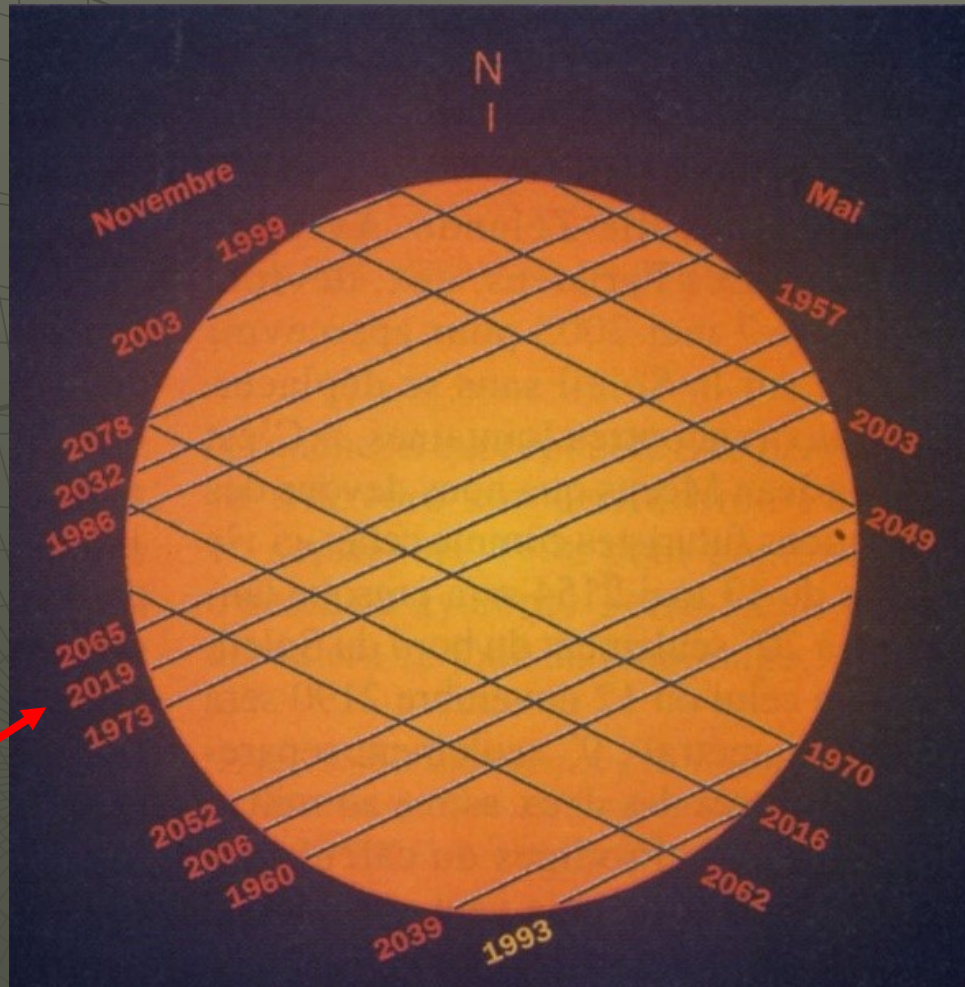
Les Transits de 1957 à 2078 = 19 transits

Novembre

Nœud ascendant
Mercure au
périhélie
Dim # 9,9"
13 Transits

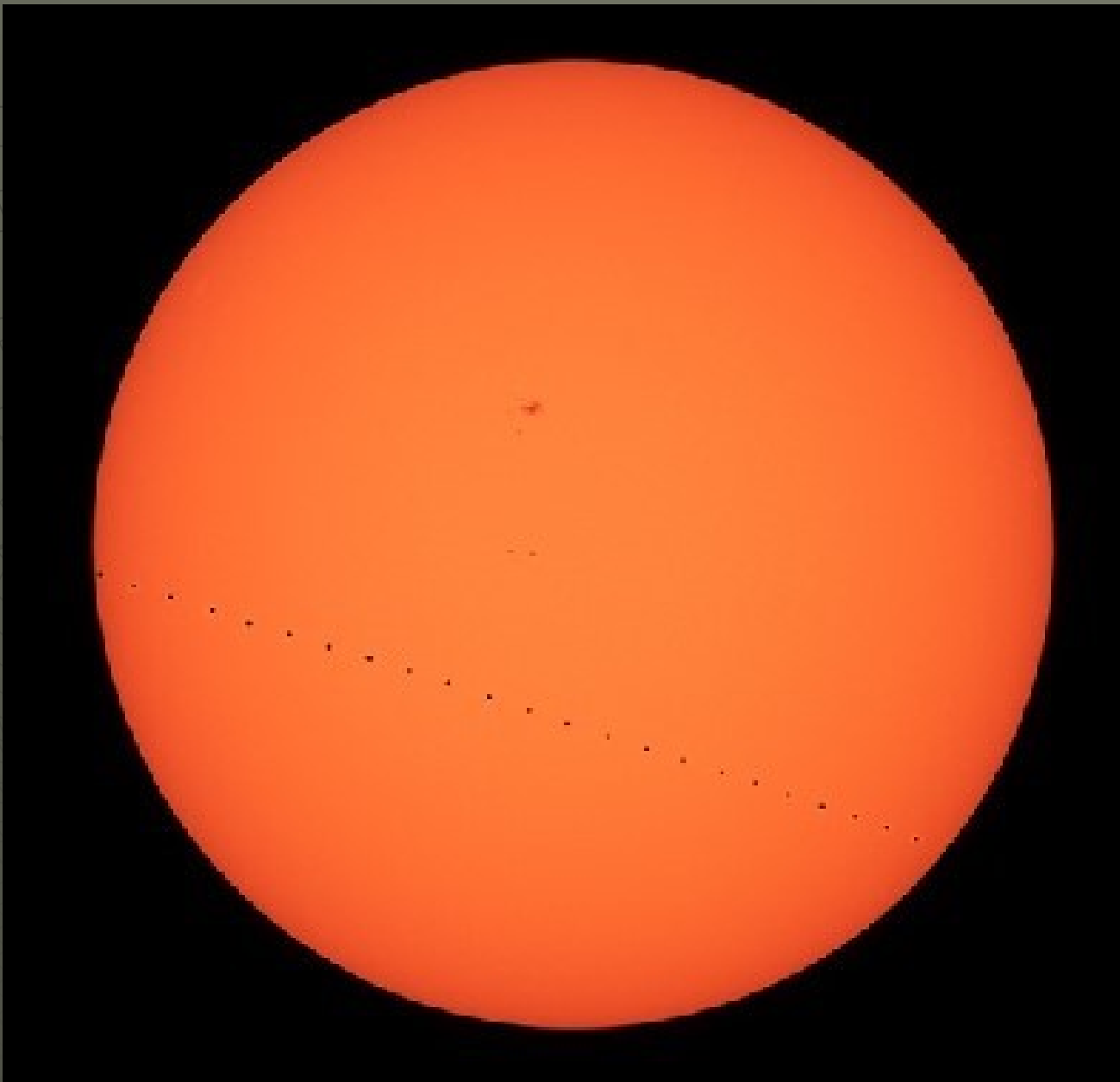
Mai

Nœud descendant
Mercure à l'aphélie
Dim # 12 "
6 Transits



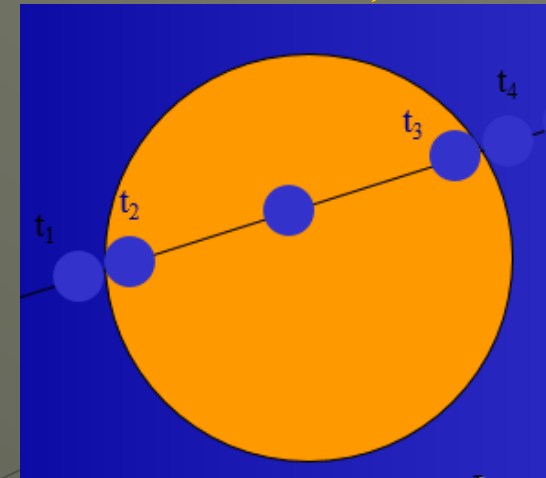
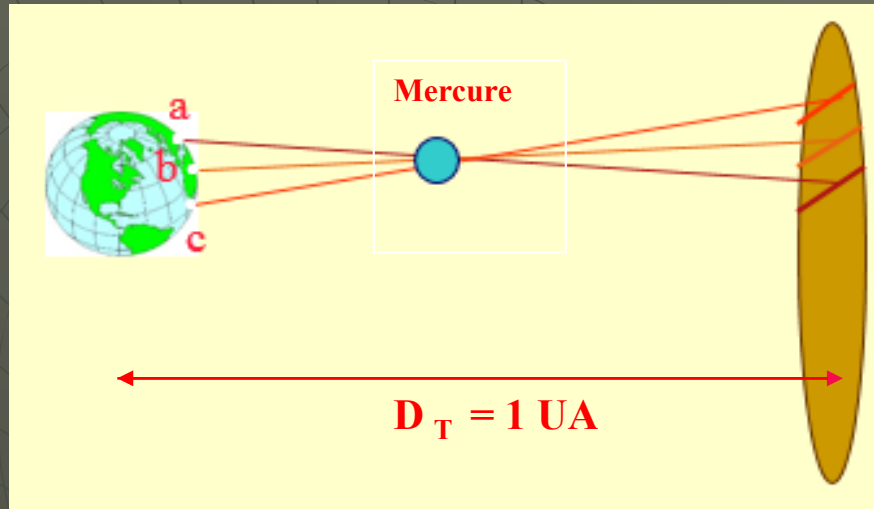
Attention : erreur

Le Transit Novembre 2003 est le Transit Novembre 2006



passage avec une tache solaire -7 mai 2003

L'importance des Transits pour déterminer l'UA (Mercure-Vénus)



Les 4 instants t1- t2 - t3 - t4

- La durée (t3-t2) représente la durée du Transit de Mercure sur le Soleil
Cette durée n'est pas la même vue de l'emplacement a ou de l'emplacement c
- Connaissant les coordonnées géographiques de a et c et mesurant les deux durées, la méthode de calcul de Halley permet de calculer la distance Terre-Soleil
- Connaissant la distance D_T et la période T de révolution on peut dimensionner le Système Solaire: $\Rightarrow$ 3ème Loi de Kepler : $T^2 / D^3 = 4\pi^2 / G.M_{\text{Soleil}} = \text{constante}$
Mais le phénomène de la "goutte noire" introduit une grande imprécision dans la détermination de t2 et t3

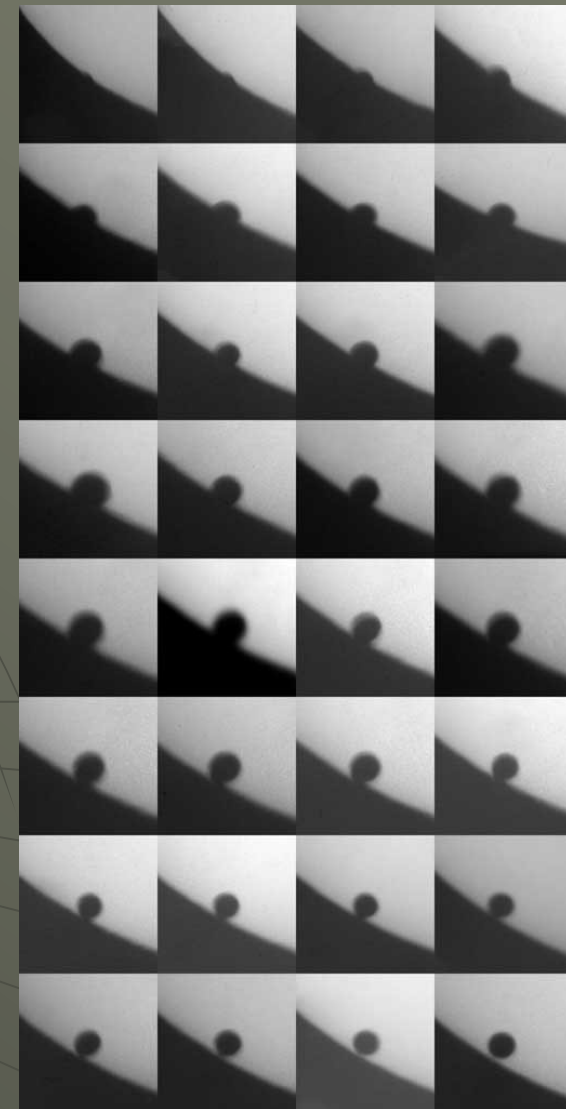
La difficulté à bien déterminer les instants t

Instant t_1 : entrée de la planète sur le disque solaire
== > détermination visuelle précise du contact impossible (sauf en $H\alpha$?)

Instants t_2 et t_3 : contacts intérieurs à l'entrée et à la sortie
== > phénomène de la goutte noire



Instant t_4 : le plus facile à déterminer ?



Transit of Mercury on May 9, 2016, Black Drop Effect

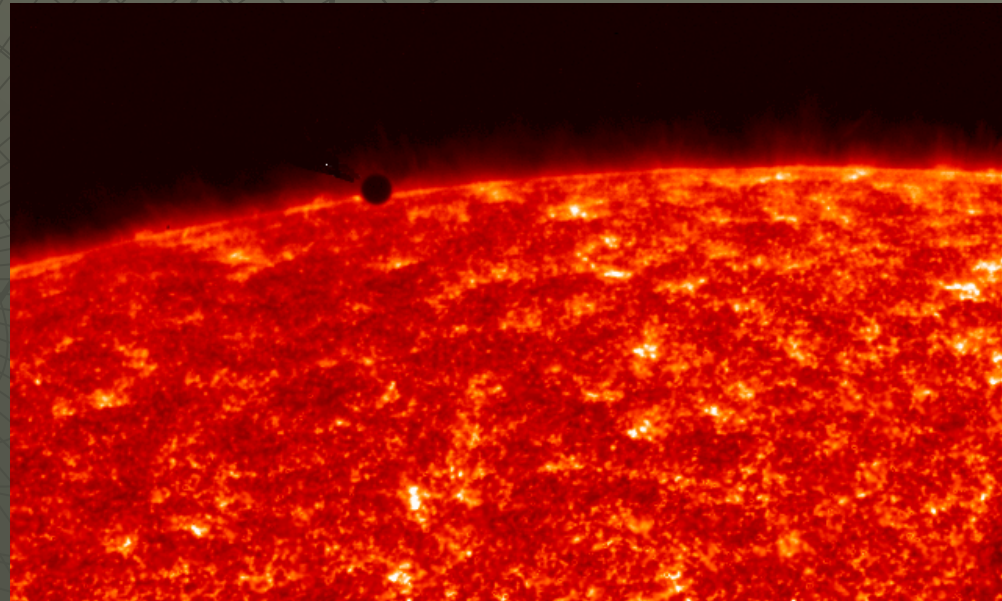
11:42:30

11:42:45

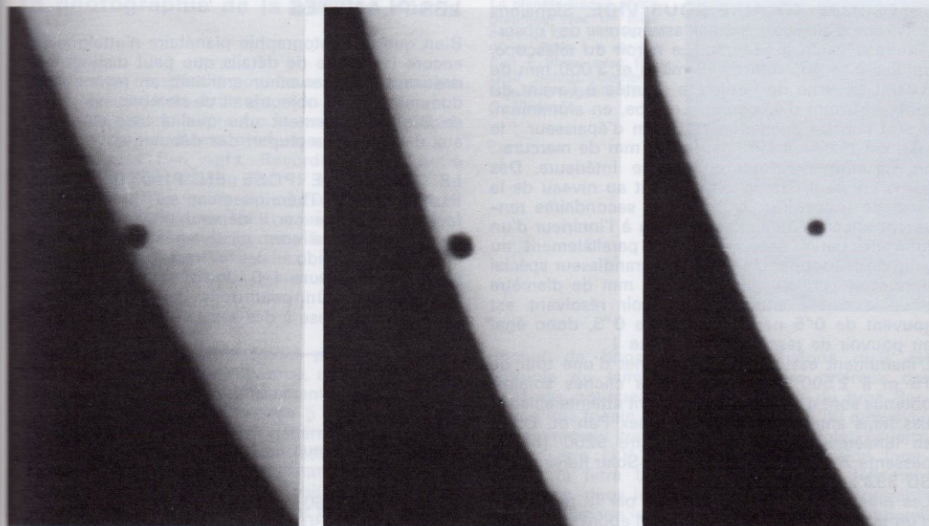
11:43:00

11:43:15

11:43:30 PLOT

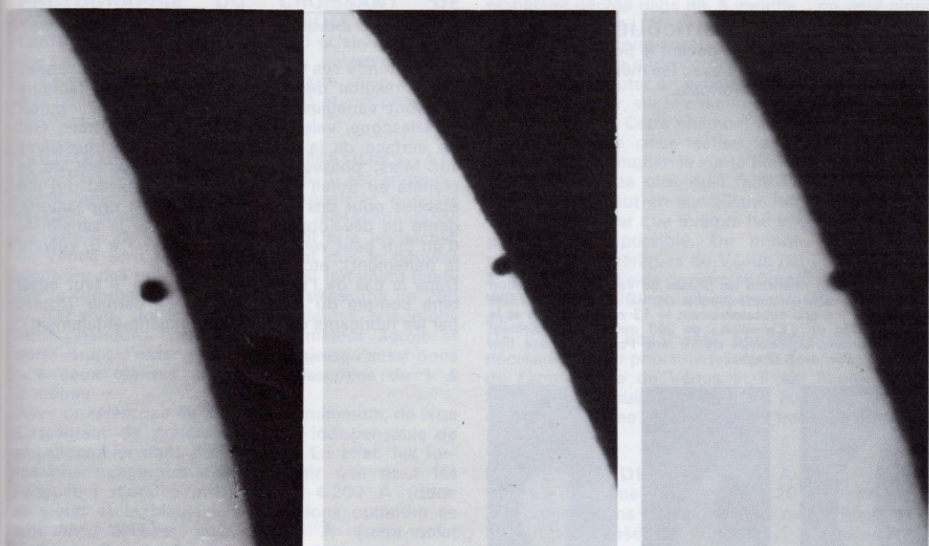


15 Novembre 1999- H α -Satellite TRACE



Entrée (Ingress)

Transit du 10 Novembre 1973



Sortie (Egress)

Transit de Mercure devant le soleil le 10 novembre 1973. Clichés pris avec un réflecto-réfracteur équatorial de 110 mm, $f = 1\,900$ mm. Oculaire Plössl de 16 mm. Filtre neutre 1 D + filtre vert. Poses 1/250-1/500 sur film Agepan FF Agfa. Cliché Jean Dragesco.
En haut de gauche à droite : 07 h 49 mn TU - 07 h 50 mn TU - 07 h 55 mn 30 s TU.
En bas de gauche à droite : 13 h 15 mn TU - 13 h 16 mn TU - 13 h 17 mn TU.

**L'entrée (t_2-t_1) ou la sortie (t_4-t_3)
durent # 100 s**

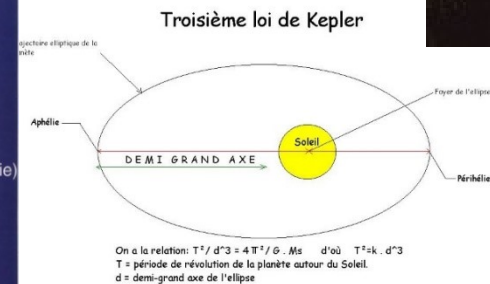
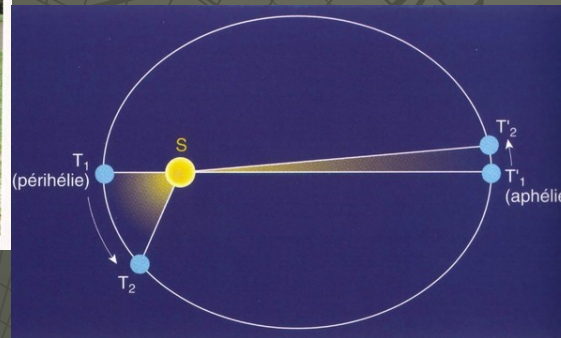
La Prédiction des Passages (Transits)

Avec le modèle de Copernic (1543) les prédictions ne sont que qualitatives

Kepler en 1609 énonce ses 3 lois concernant le Système Solaire



Monument à Gratz



J Kepler (1571-1630)

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM} = \text{constante}$$

Kepler édite en 1627 les “ *Tables Rudolphines* ” (tables d'éphémérides)

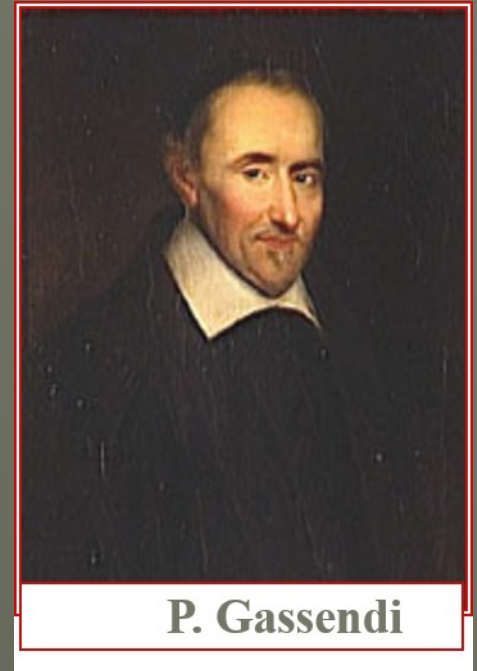
==> les calculs précis deviennent possibles

Kepler annonce donc (*Admonitio ad Astronomos*) les transits suivants :

- Passage de Mercure devant le soleil le 7 Novembre 1631
- Passage de Venus devant le soleil le 6 décembre 1637

Pierre Gassendi (1592-1655)

- Né en 1592 à Champtercier (près de Digne)
- Études à Avignon (docteur en théologie, 1616)
- Enseigne la philosophie à Aix
- Philosophe, humaniste, physicien, astronome
- Longue et vigoureuse polémique avec Descartes
- Professeur au Collège Royal (= Collège de France)
- Défenseur de l'atomisme, de l'héliocentrisme



P. Gassendi



Cratère Gassendi

(Nord de la Mer des Humeurs)

Diamètre = 110 km

Profondeur= 1,9 km

== > “ La bague dans la Lune ”

Le Transit de Mercure devant le Soleil le 7 Novembre 1631

== > Première observation d'un transit par Pierre Gassendi
à Paris.

Il utilise une lunette de 2 pieds de longueur focale (65cm)

L'image projetée a un diamètre de 24 cm ($\frac{3}{4}$ de pied).

Il estime le diamètre solaire à 30 minutes d'arc, et il prépare
un gabarit circulaire divisé en 60 parties égales (30").



P. Gassendi
1592 - 1655

Il observe dès le 5, mais mauvais temps le 5 et 6 !

Le 7, dès le lever du Soleil, Gassendi aperçoit une tache noire : Mercure

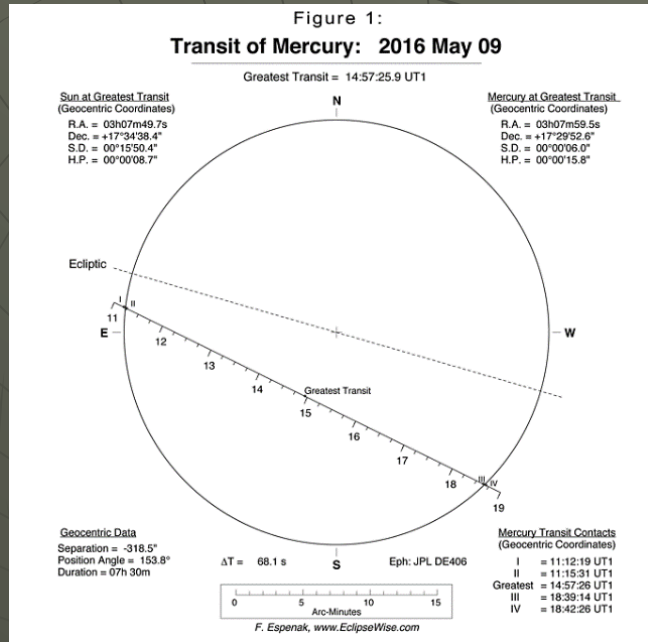
Il estime alors le diamètre de Mercure à 20" (valeur réelle : 10").

Il note un décalage de 5h (en avance) par rapport aux prévisions de Kepler

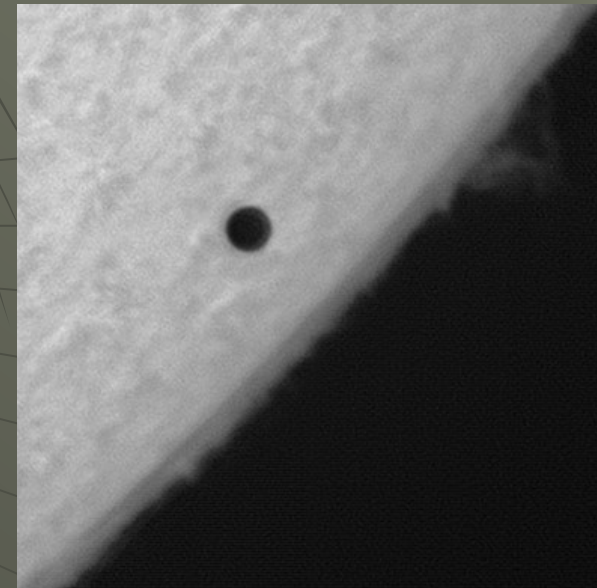
Il écrit à son ami Wilhelm Schickard, professeur à Tübingen :

"Le rusé Mercure voulait passer sans être aperçu, il était entré plus tôt qu'on ne s'y attendait, mais il n'a pu s'échapper sans être découvert, je l'ai trouvé et je l'ai vu; ce qui n'était arrivé à personne avant moi, le 7 novembre 1631, le matin".

Le précédent Transit : Transit du 9 Mai 2016



Transit au Nœud descendant
Diam Mercure = 12 '' d'arc
Distance Terre = 0,5569 UA
Distance Soleil = 0 4529 UA
Durée du transit = 7h28min
(Dèbut = 13h12m19 s - Fin = 20h40m31s)



Transit du 9 Mai 2016-Reaumont

Nuages , Nuages !!!

**Temps d'observation
à Reaumont :
de 15h 25 à 15h 45
soit #20 min sur 7h30
(4% du temps)**

Transit Mercure

**9 Mai 2016
Reaumont**

Mercure



**Lunette Vixen Fluorite
100/900**

Le transit du 11 Novembre 2019

(nœud ascendant –périhélie- petit diamètre)

- Entrée (Ingress) : 13 h 35 m TL-

Voiron: Soleil à + 25 ° au-dessus de l'horizon – Azimuth = 200 ° (SSO)

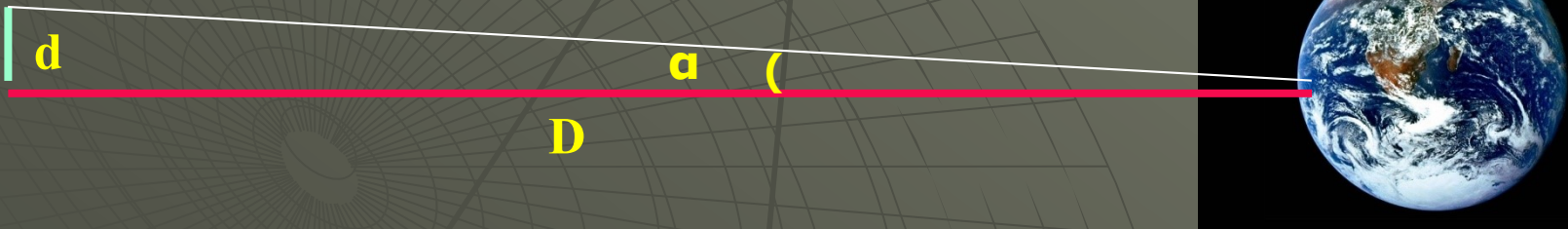
- Fin d'observation à Voiron # 16 h 35 Soleil à + 5 ° au-dessus de l'horizon

Maximum : 16 h 20 m TL

Distance Mercure-Soleil = 0,314 UA (Mercure proche du périhélie)

Distance Terre - Mercure D = 0,676 UA

Illumination = 0 %



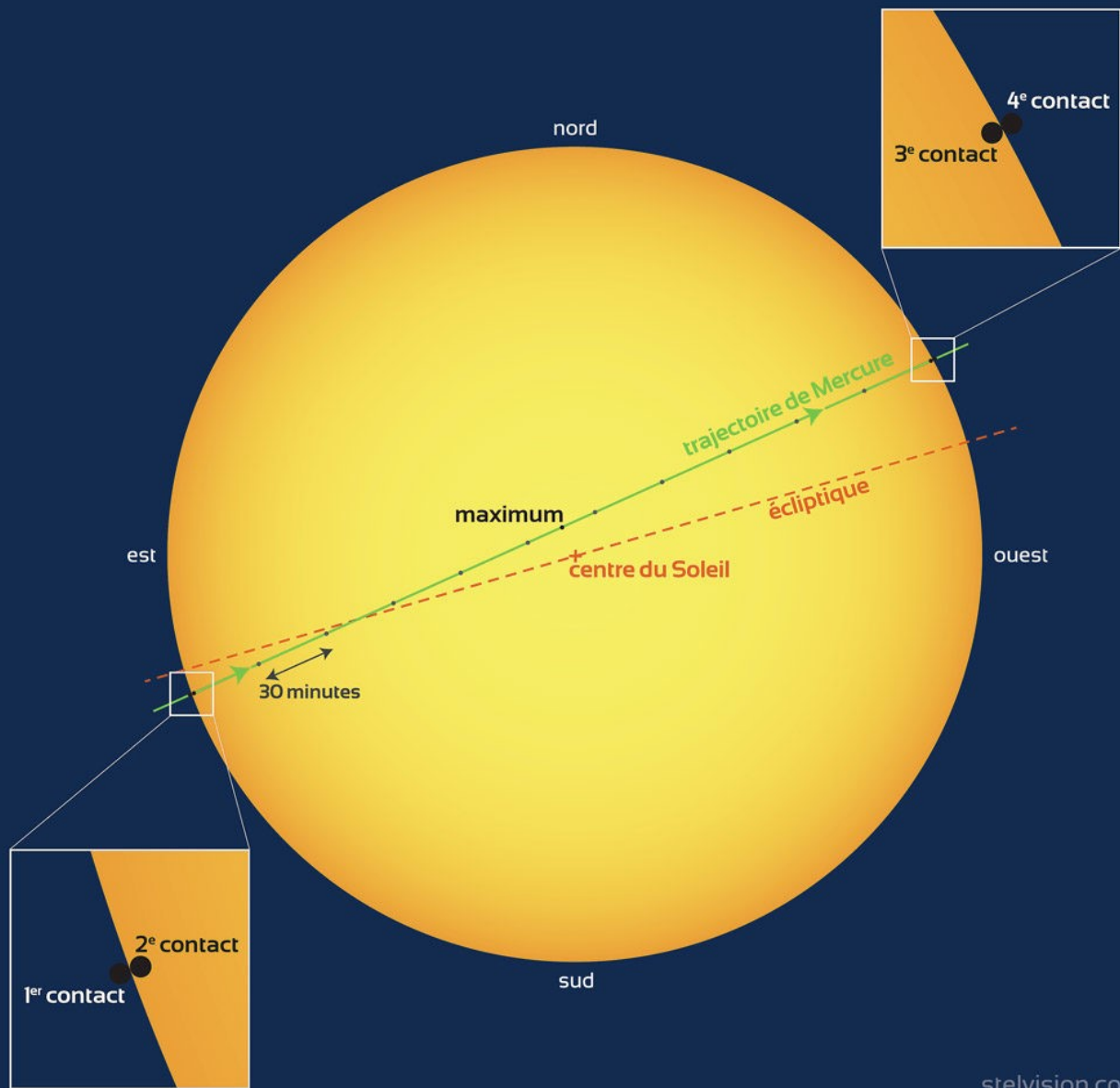
$$\text{tg } \alpha = d/D = (4879 \text{ km}) / (0,676 \times 150 \cdot 10^6 \text{ km}) = 0,00004812$$

$$\alpha = 0,00004812 \text{ radian} = 0,00004812 \cdot (360^\circ / 2\pi)$$

$$\alpha = 0,002758^\circ = 0,002758 \cdot 3600''$$

$$\alpha = 9,93 \text{ secondes d'arc} \# \underline{10 \text{ sec d'arc}}$$

(1/192 éme de Diamètre solaire)



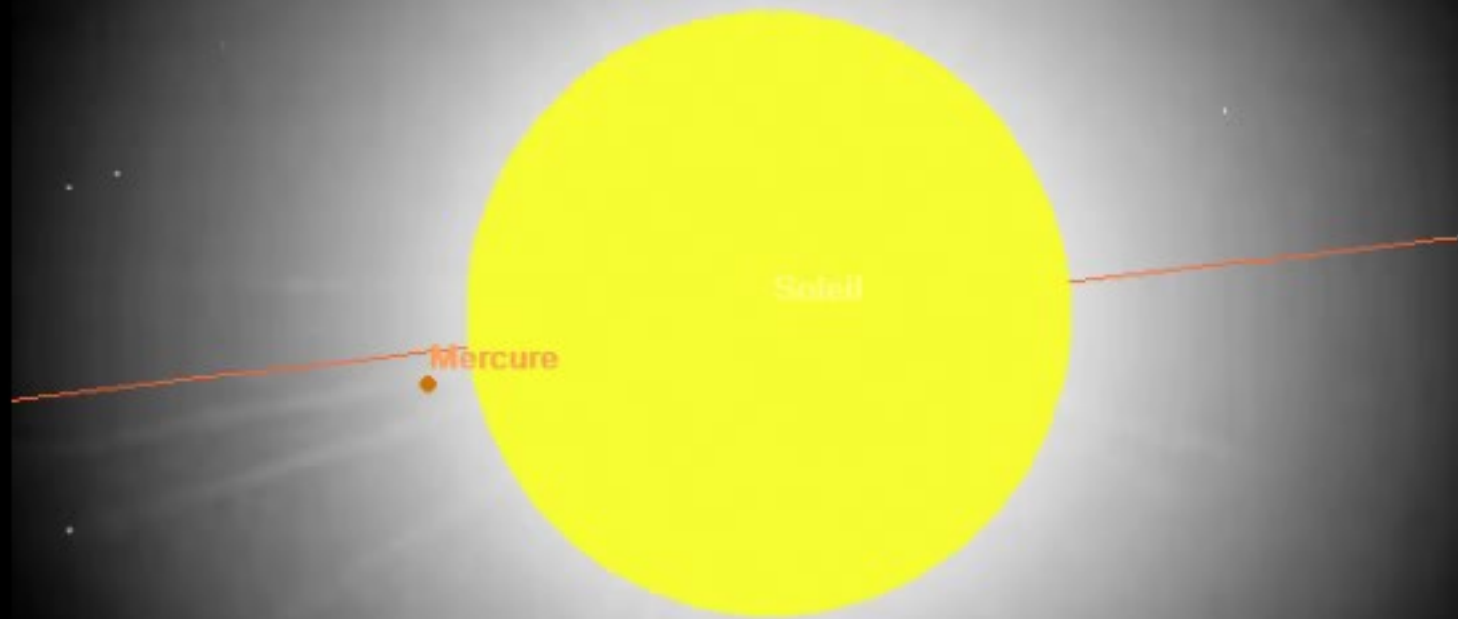
t1 = 13 h 35 TL
t2 = 13 h 37 TL

M = 16 h 20 TL
 (à 76 ' du centre du Soleil)

t3 = 19 h 02 TL
t4 = 19 h 04 TL

**Passage au Nœud
 Ascendant
 (Novembre)**

Temps universel : 11/11/2019 ap. J.-C. 12:10
Position : Rester sur la surface de Terre
Lat = 45° 21' 57" N Lon = 005° 34' 39" E
Vue : Verrouiller sur Soleil
Azim = 192° 53' 32" Alt = +26° 15' 48"
Zoom = 16.06



Passage de Mercure du 11 nov. 2019

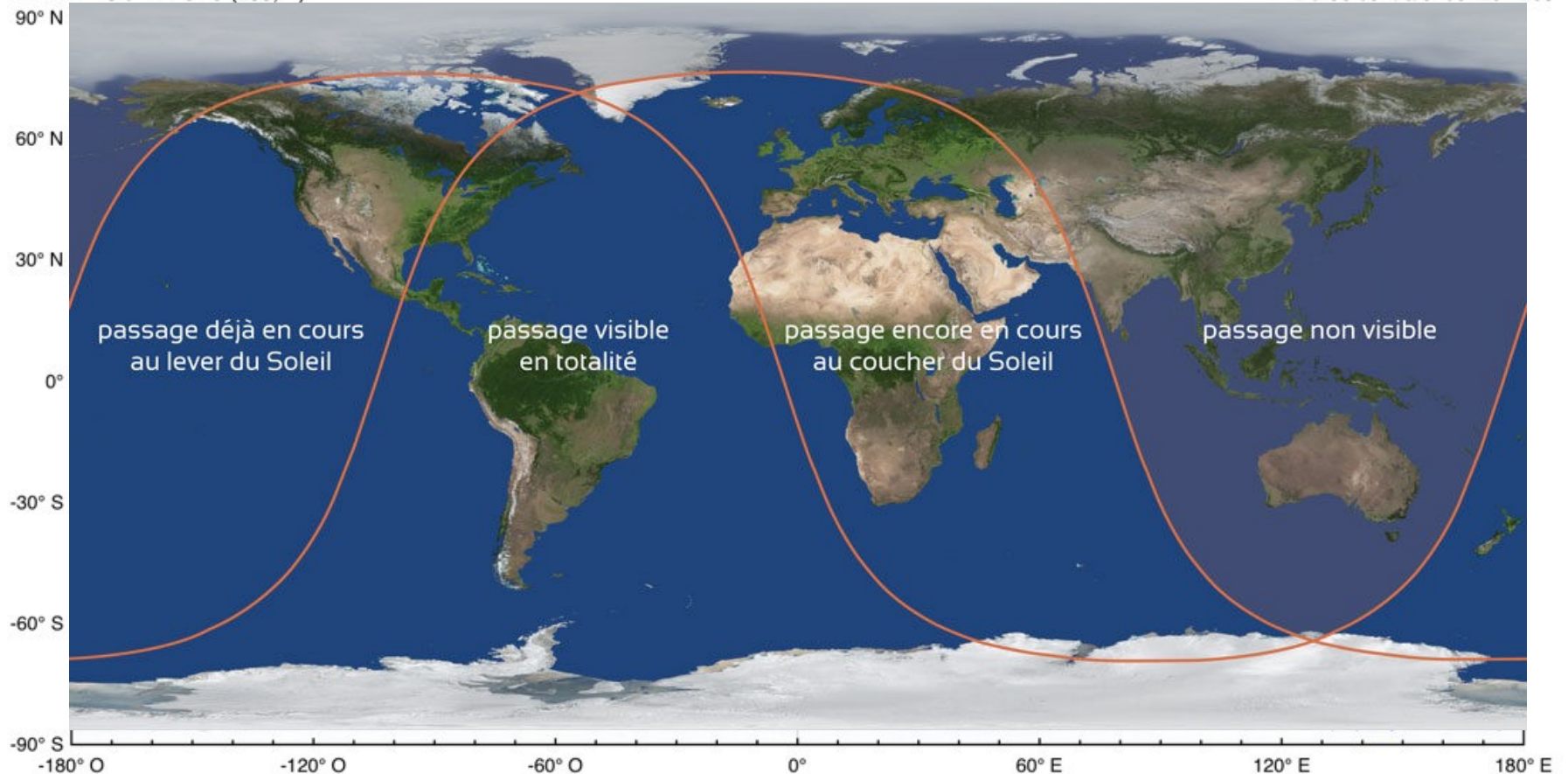
Maximum du passage: 15:19:47,4 TU J.J.: 2458799,138743
 ΔT : 69,70s

Instants de contact géocentriques

I: 12:35:26 UTC (109,8°)
II: 12:37:08 UTC (109,8°)
M: 15:19:47 UTC (24,3°)
III: 18:02:33 UTC (298,8°)
IV: 18:04:14 UTC (298,7°)

Données géocentriques

Séparation minimale: 75,9"
Durée générale: 05h28m47s
Durée centrale: 05h25m25s



Les Prochains Transits de Mercure devant le Soleil

– **13 novembre 2032**

Durée= 4 h 28 min

Nœud ascendant

– **7 novembre 2039**

Durée = 3h

Nœud ascendant

Dangers de l'observation du Soleil

Rayonnement solaire au niveau du sol :

51 % dans le visible (380 à 780 nm)

43 % dans l'Infrarouge (780 à 1400 nm)

6 % dans l'Ultraviolet (principalement UVA de 315 à 380 nm)

- Si exposition à l'IR trop importante = brûlure de la rétine (indolore car la rétine n'est pas innervée) == > mouche noire (scotome) dans le champ de vision (généralement irréversible)
- Si exposition aux UV trop importante = atteinte à la cornée et au cristallin == > inflammation (coup d'arc), kératite (généralement réversible)

Règles de protection : filtrage du rayonnement

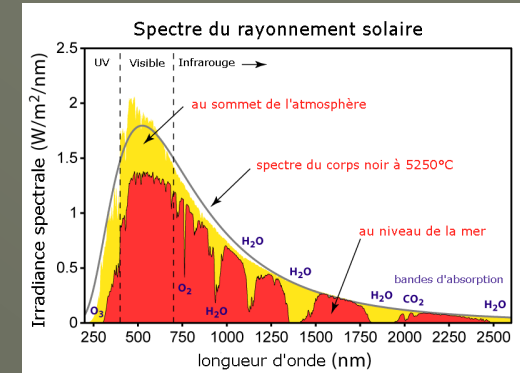
jugée efficace pour observation à l'œil nu si le filtre ne laisse passer que

0,003% de la lumière visible

0,0032 % des UV

0,0027% des IR

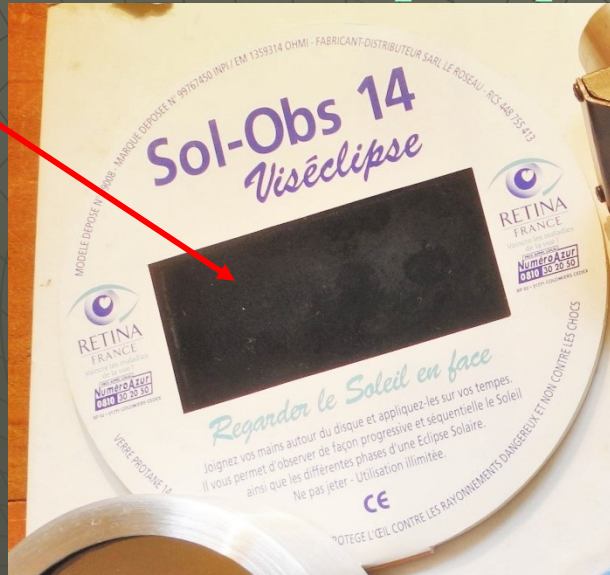
correspond à un filtre de densité 5 (ne laisse passer que 1/100000ème)



Exemples de filtres solaires pour observations visuelles

En visuel il faut une densité 5 ne laissant passer que 1/100 000 éme du rayonnement solaire (pour photographie $d=4$ plus adapté !)

Verre
Soudeur
grad 14



Polymère noir

Polymère Noir $T: 10^{-5}$



Prisme de Herschell-
(nécessite un filtre)



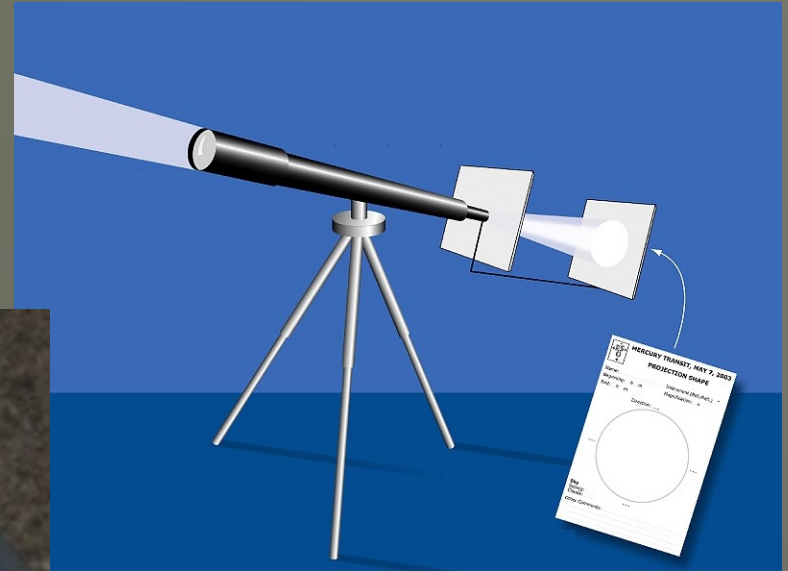
Polyester
Astrosolar Baader



Filtre
Métallique
Dépôt de
Nickel



**Sécurité maximale :
par projection**



En situation lors du transit du 7 Mai 2003



**Lunette courte Vixen 60/400
avec filtre métallique objectif**



**Transit Mercure 7 Mai 2003 (nœud descendant)
(noter la présence d'une tache solaire)**

