



# E C L I P S E 9 9

## Les éclipses et l'éclipse du 11 août 1999

F. Mignard

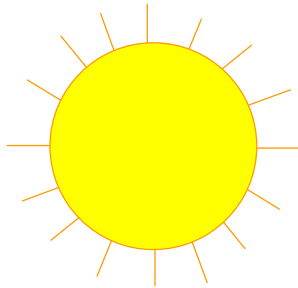
- Les éclipses : principes et caractéristiques
- Succession des éclipses
  - Eclipses récentes et à venir
  - Eclipses en France de -1000 à +3500
  - Eclipses à Nice et Paris de -1000 à +3500
- L'éclipse du 11 août 1999
- Intérêts scientifiques
  - Physique solaire
  - Rotation de la terre
  - Chronologie historique





## Les Acteurs

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



S/L

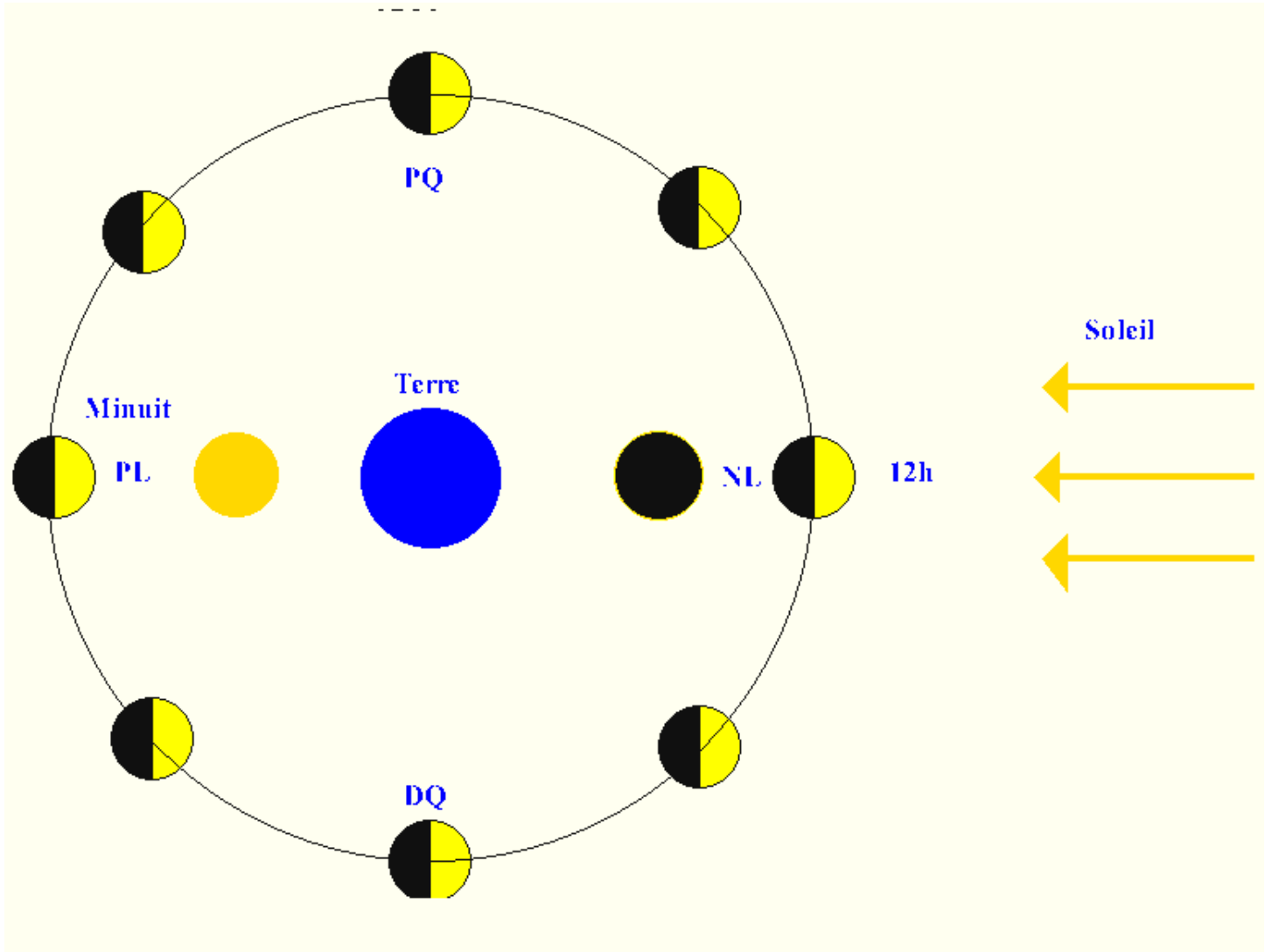
Diamètre (km)	Distance (km)	Rapport
1 400 000	150 millions	107
3500	385 000	110
<b>400</b>	<b>390</b>	



# Phases de la Lune



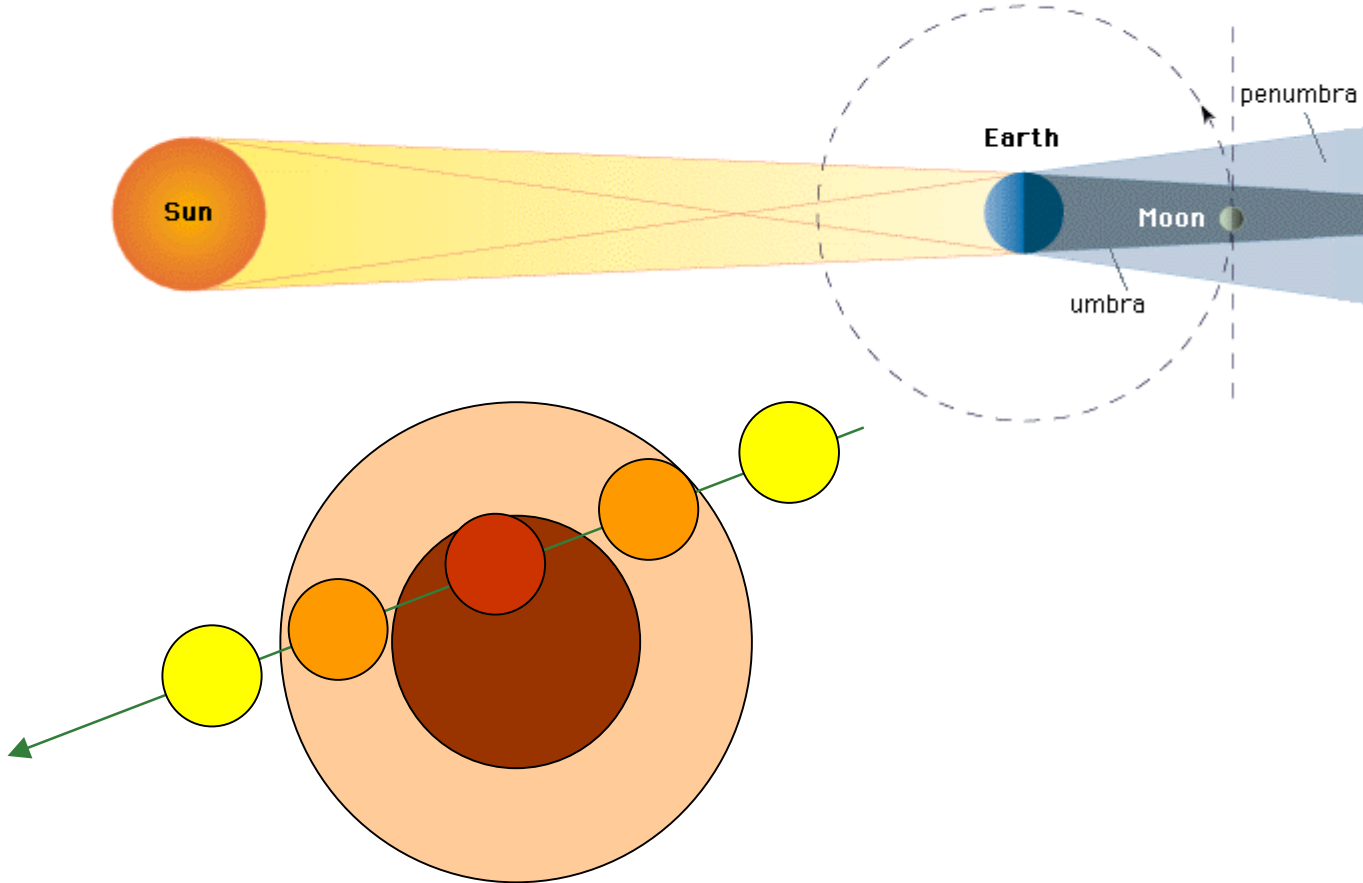
E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



# Schéma d'une éclipse de Lune



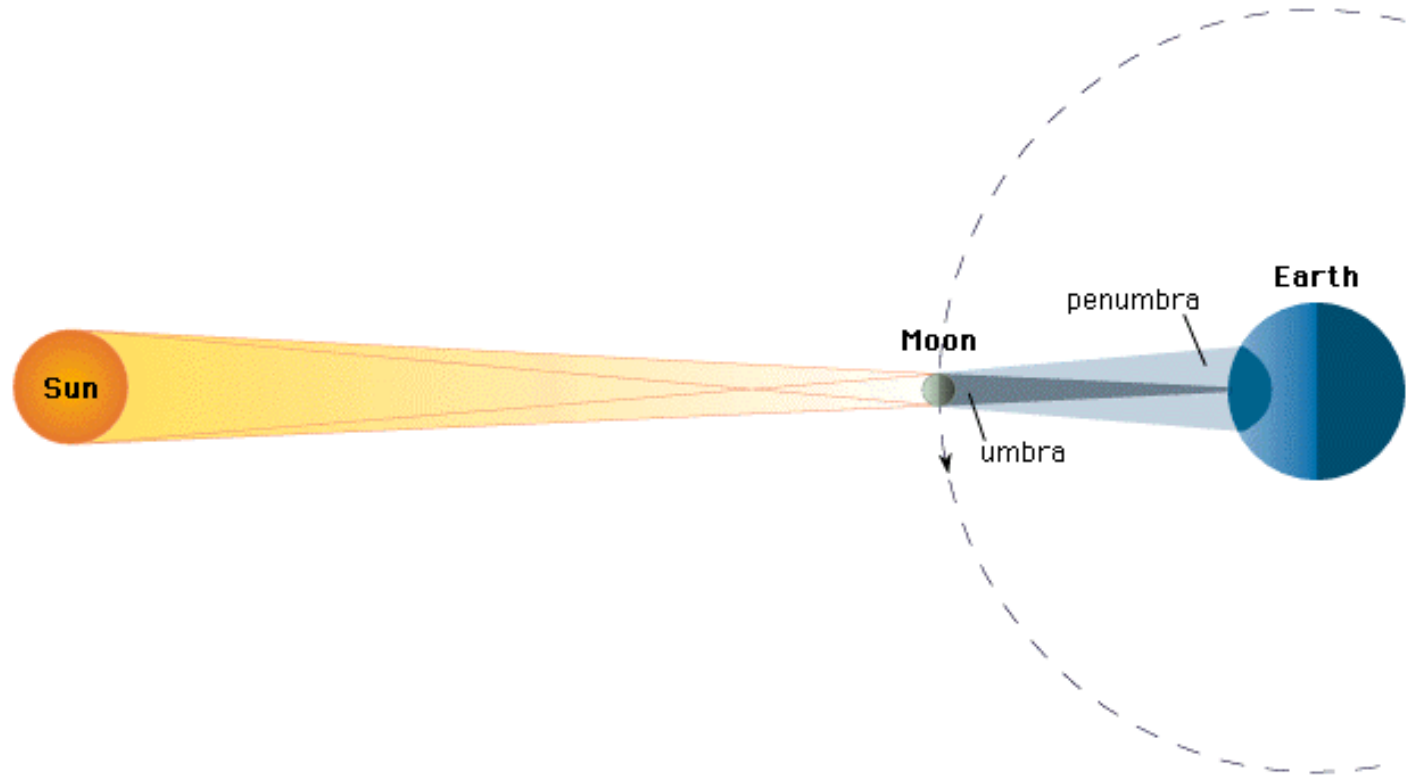
E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



# Schéma d'une éclipse de Soleil



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9





**E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9**

## Eclipses Totales de plus de 7 mn (1000 - 3000)

	Durée	Ombre		Durée	Ombre
29 mai 1044	7m 18s	253.2 km	<b>16 juillet 2186</b>	<b>7m 35s</b>	<b>262.2</b>
9 juin 1062	7m 26s	255.1	27 juillet 2204	7m 28s	258.7
20 juin 1080	7m 24s	254.6	8 août 2222	7m 12s	253.2
1 juillet 1098	7m 11s	251.3	2 juin 2486	7m 05s	249.2
16 mai 1398	7m 05s	243.1	14 juin 2504	7m 16s	251.6
27 mai 1416	7m 02s	243.3	25 juin 2522	7m 18s	251.6
8 juin 1937	7m 10s	246.2	5 juillet 2540	7m 09s	248.9
20 juin 1955	7m 13s	253.6	12 juin 2849	7m 05s	244.9
30 juin 1973	7m 09s	258.5	23 juin 2867	7m 15s	250.5
13 juin 2132	7m 00s	257.3	3 juillet 2885	7m 16s	254.1
25 juin 2150	7m 20s	261.5	16 juillet 2903	7m 09s	255.0
5 juillet 2168	7m 32s	263.0			



# Eclipses Totales de plus de 7 m 20s



## E C L I P S E 9 9

	Durée	Ombre km	Lat deg	D_lune km	z deg
• 16 Juillet 2186	7m 35s	262.2	7	357350	15
• 15 Juin -743	7m 32s	257.9	-2	357530	25
• 5 Juillet 2168	7m 32s	263.0	13	357410	10
• 5 Juin -761	7m 29s	259.4	-8	357420	30
• 27 Juin 363	7m 29s	262.1	13	357380	11
• 27 Juillet 2204	7m 27s	258.7	1	357350	18
• 8 Juillet 381	7m 27s	257.3	8	357320	15
• 9 Juin 1062	7m 26s	255.1	-5	357740	28
• 20 Juin 1080	7m 24s	254.6	0	358000	24
• 26 Juin -725	7m 24s	253.7	3	357700	21
• 3 Juin 699	7m 22s	258.8	-2	357560	25
• 16 Juin 345	7m 22s	264.2	17	357500	7
• 13 Juin 717	7m 21s	255.0	-6	357760	30
• 1 Juin 132	7m 20s	253.2	10	358730	12
• 25 Juin 2150	7m 20s	261.5	18	357520	5



## Eclipses Totales Récentes



- 26 Février 1998 : 4m 14s  
Marquises, Galapagos, Panama, Antilles
- 9 mars 1997 : 2m 54s  
Sibérie du nord
- 24 Octobre 1995 : 2m 15s  
Iran, Inde, Thaïlande, Malaisie, Indonésie
- 3 Novembre 1994 : 4m 27s  
Pérou, Bolivie, Brésil, Atlantique sud
- 30 Juin 1992 : 5m 27s  
Uruguay, Atlantique sud, Angola
- 11 Juillet 1991 : 6m 58s  
Hawaï, Mexique, Equateur
- 22 Juillet 1990 : 2m 36s  
Finlande, Sibérie du nord, Alaska

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9







# E C L I P S E 9 9

## Eclipses Totales Futures




- **21 Juin 2001:** 5m 01s  
Atlantique sud, Angola, Zambie, Zimbabwe
- **4 Décembre 2002 :** 2m 08s  
Angola, Zambie, Mozambique, Madagascar
- **23 Novembre 2003 :** 2m 00s  
Antarctique
- **8 Avril 2005 :** 0m 46s  
Pacifique sud, Galapagos, Nicaragua
- **29 Mars 2006 :** 4m 10s  
Ghana, Niger, Libye, Turquie, Georgie
- **1 Août 2008 :** 2m 31s  
Groenland, Arctique, Nouvelle Zemble, Sibérie du nord
- **22 Juillet 2009 :** 6m 43s  
Inde, Chine, Pacifique, Mariannes

# Eclipses Totales en France (-1000 - 500)

• 30/04/-983	14h00	5m 25s	Biarritz - Turin
• 18/01/-922	07h10	1m 04s	St Brieuc - Digne
• 13/07/-884	09h30	5m 12s	Bordeaux - Neuchâtel
• 06/08/-802	05h55	0m 06s	Bordeaux - Pontarlier
• 28/05/-584	15h20	4m 54s	Noirmoutier - Genève
• 01/06/-408	09h40	4m 40s	Pas de Calais
• 21/06/-399	18h40	2m 27s	Calais - Maubeuge
• 13/07/-363	07h30	3m 30s	Bayonne - Genève
• 19/02/-347	09h30	3m 35s	Bagnères - Nice
• 06/08/-281	06h57	2m 40s	Bagnères - Digne
• 15/03/-162	15h50	3m 00s	Lourdes - Sisteron
• 28/05/ - 63	12h30	5m 12s	Brest - Lille
• 21/06/ 19	11h05	4m 30s	Cherbourg - Luxembourg
• 01/06/ 113	09h20	2m 20s	Royan - Strasbourg
• 28/01/ 138	15h20	2m 10s	Vannes - Maubeuge
• 12/04/ 237	16h50	3m 20s	Quimper - Mulhouse
• 04/05/ 292	06h40	3m 10s	Lourdes - Luxembourg
• 06/05/ 319	15h55	2m 54s	Boulogne - Maubeuge
• 20/11/ 393	09h50	2m 30s	Boulogne - Mulhouse
• 19/07/ 418	10h40	3m 45s	Perpignan - Bastia

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

## Eclipses Totales en France (500 - 2000)



• 23/12/ 447	14h02	2m 20s	St Nazaire - Lille
• 12/04/ 655	07h10	1m 40s	Foix - Chambéry
• 05/10/ 693	06h40	2m 00s	La Rochelle - Grenoble
• 05/05/ 840	12h40	5m38s	Royan - Lausanne
• 22/12/ 968	08h50	1m 55s	Nantes - Barcelonnette
• 19/09/1178	11h15	3m 50s	La Rochelle - Marseille
• 03/06/1239	12h00	6m 03s	Perpignan - Nice
• 26/06/1321	05h12	0m 25s	Bayonne - Colmar
• 01/01/1386	09h45	2m 20s	La Rochelle - Toulon
• 16/06/1406	06h00	3m 02s	Bordeaux - Charleville
• 07/06/1415	05h58	3m 35s	Bayonne - Annecy
• 16/03/1485	15h45	3m 22s	Rochefort - Mulhouse
• 24/01/1544	08h30	0m 12s	Bordeaux - Genève
• 12/10/1605	12h55	2m 45s	Arcachon - Perpignan
• 12/05/1706	09h15	4m 03s	Perpignan - Annecy
• 22/05/1724	18h38	2m 39s	Dieppe - Colmar
• 08/07/1842	05h38	2m 24s	Montpellier- Gap
• 17/04/1912	12h 05	0m 03s	La Roche s.Yon - Valenciennes
• 15/02/1961	07h35	2m 00s	la Rochelle - Menton
• 11/08/1999	10h25	2m 15s	Le Havre - Strasbourg

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



# E C L I P S E 9 9

## Eclipses Totales en France (2000 - 3500)

• 11/08/1999	10h25	2m 15s	Le Havre - Strasbourg
• 03/09/2081	07h38	3m 54s	St Brieux - Mulhouse
• 23/09/2090	17h32	2m 55s	St Lô - Evreux
• 25/05/2142	08h40	2m 57s	Quimper - Valenciennes
• 04/06/2160	18h08	1m 54s	Lannion - Toulon
• 08/11/2189	08h30	2m 20s	Avranches - Nice
• 28/06/2299	13h56	2m 51s	Royan - Nice
• 20/04/2433	10h50	3m 25s	Perpignan - Chamonix
• 07/05/2627	15h30	4m 18s	Biarritz - Marseille
• 21/07/2726	11h20	5m 40s	Dieppe - Charleville
• 13/08/2808	06h14	0m 20s	Rennes - Luxembourg
• 26/07/2902	05h20	2m 45s	Andorre - Turin
• 07/06/3026	14h30	5m 03s	Rochefort - Modane
• 25/10/3195	08h25	0m 19s	la Rochelle - Sète
• 12/06/3202	07h48	3m 36s	Lorient - Bruxelles
• 15/04/3354	11h26	0m 09s	Narbonne - Turin
• 29/05/3426	19h02	0m 40s	Boulogne - Cambrai
• 09/08/3441	11h50	1m 50s	Cherbourg - Annecy

# Eclipses Totales autour de Nice

Date	TU	Durée	
• 30/04/ -983	14h21	5m 07s	
• 18/01/ -922	09h20	1m 12s	
• 19/02/ -347	09h38	3m 38s	Centralité à Nice
• 06/08/ -281	07h00	2m 54s	
• 15/03/ -162	15h50	2m 38s	
• 19/07/ 418	10h50	3m 51s	Nord de la ligne de centralité
• 19/07/ 939	07h45	4m 31s	Nord de la ligne de centralité
• 03/06/1239	12h12	5m 58s	Nombreuses chroniques médiévales
• 01/01/1386	09h52	2m 45s	Juste au nord de la centralité
• 08/07/1842	05h37	2m 21s	
• 15/02/1961	07h34	2m 01s	Souvenir .. Souvenir
• 08/11/2189	08h33	2m 33s	En plein dans le mille
• 28/06/2299	14h05	2m 42s	Calern et Nice sur la ligne
• 07/05/2627	15h33	4m 00s	Nice à la limite nord
• 07/06/3026	14h42	4m 48s	Totalité 10 km au nord de Nice
• 24/07/3247	05h45	2m 55s	Début d 'éclipse à Calern

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

# Eclipses Totales autour de Paris



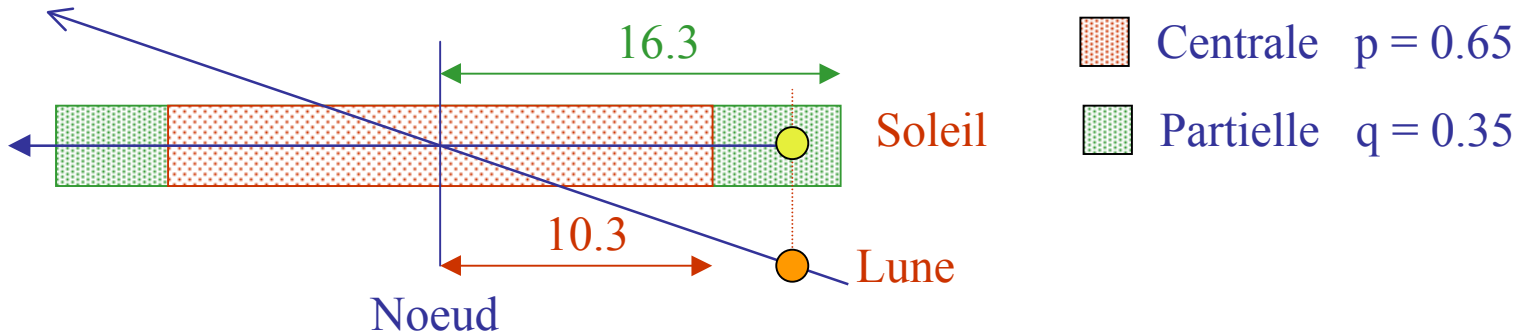
E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

Date	TU	Durée	
• 28/05/ - 63	12h30	5m 10s	
• 21/06/ 19	11h04	4m 30s	Totale sur Paris
• 28/01/ 138	15h21	1m 57s	
• 20/11/ 393	09h44	2m 21s	Nord de Paris
• 23/12/ 447	14h03	2m 06s	Totale au nord de Paris
• 16/06/1406	06h00	2m 40s	Lever du Soleil à Paris
• 22/05/1724	18h36	2m 34s	Totale à l'Observatoire
• 17/04/1912	12h10	0m 03s	Juste au nord-ouest de Paris
• 11/08/1999	10h23	2m 15s	Total au nord de Paris
• 03/09/2081	07h37	3m 50s	Centrale un peu au sud de Paris
• 21/07/2726	11h18	5m 44s	Sud de l'ombre sur Paris
• 13/08/2808	06h13	0m 21s	En plein sur Paris
• 12/06/3202	07h49	3m 38s	Totale au nord de Paris
• 09/08/3341	11h44	1m 50s	Totale a Paris (sud)





# Suites d'Eclipses



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E

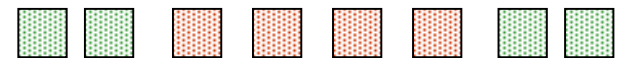
9  
9

- Sur une lunaison :  $\Delta(1 - \Omega) = 30.67$  degrés  $\Rightarrow$  1 ou 2 éclipses ( $p_1=0.94, p_2=0.06$ )
- Six mois plus tard :  $\Delta(1 - \Omega) = 184.02$  degrés  $\Rightarrow$  éclipse décalée de +4.02deg
- Un an plus tard :  $\Delta(1 - \Omega) = 368.04$  degrés  $\Rightarrow$  éclipse décalée de +8.04deg

Séquence :      0            8            16            24            32             $\Omega$   
                           4            12            20            28             $\bar{\Omega}$



Suite de 8 ou 9 éclipses sur 4 ans



# Suites longues : Saros

- Répétition des éclipses

→ Retour des nouvelles lunes  $P_1 = 29.530\ 588\ 85$  jours

→ Retour au nœud  $P_2 = 27.212\ 220\ 82$  jours

Retour des irrégularités  $P_3 = 27.554\ 549\ 88$  jours

$P_1$ : 1 12 13 38 51 **242** 777 4127

$P_2$ : 1 11 12 35 47 **223** 716 3803

$223 * P_1 = 6585.321$  j

$242 * P_2 = 6585.357$  j

$239 * P_3 = 6585.537$  j

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9





# Autres cycles

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

$P_1 = \text{lunaison} : 29.53$

$P_2 = \text{nœud} : 27.21$

$P_3 = \text{périgée} : 27.55$

jours	l	m	n	Durée (ans)
6585	223 .321	242 .357	239 .537	18.03
63430	2148 1.705	2331 1.684	2302 0.574	173.7
70016	2371 1.026	2573 1.042	2541 0.112	191.7

→ Saros

$$l * P_1 \sim m * P_2 \sim n * P_3$$

jours	l	m	n	Durée (ans)
3986	135 .629	146.5 .590	145 9.41	10.92
31715	1074 .852	1165.5 .842	1151 .287	86.83
38300	1297 1.174	1407.5 1.199	1390 0.824	104.86

→ « Saros chinois »

$$l * P_1 \sim 2 * m * P_2 / 2 \sim n * P_3$$

# Contenu du Saros

• Saros = 18 ans 11.33 jours

• 38 passages du Soleil aux nœuds

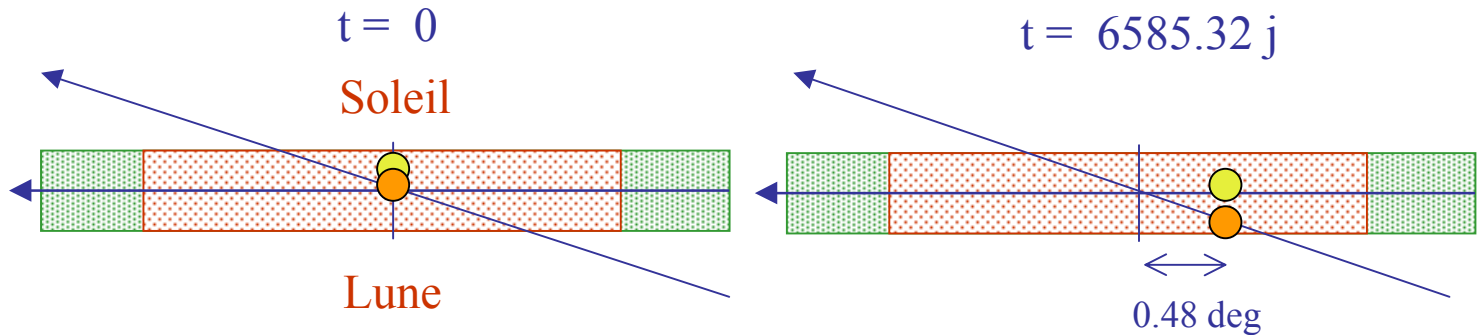
• 42 éclipses de Soleil

42 éclipses de Lune

•  $p \cdot 42 = 26-27$



•  $q \cdot 42 = 15-16$



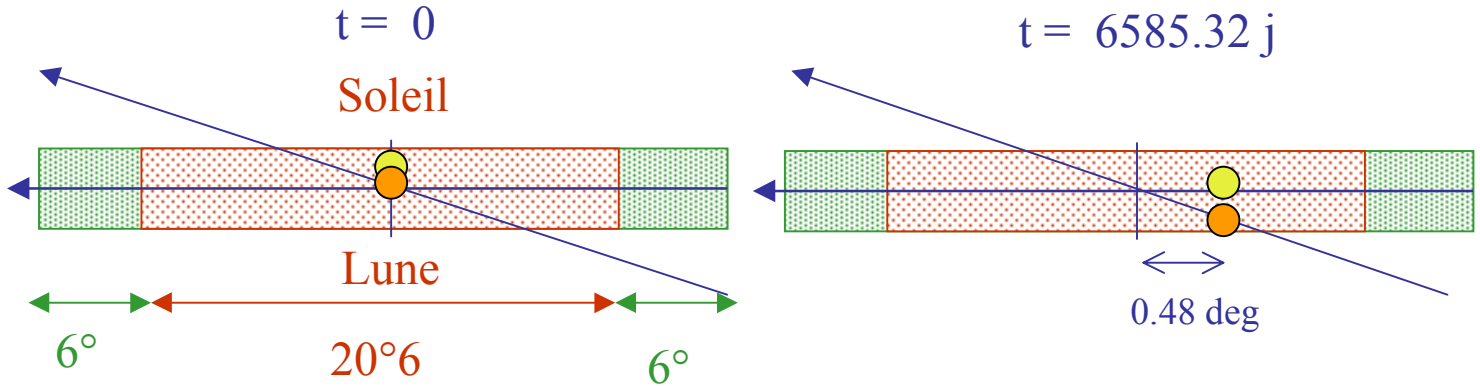
• Saros riches : 84 éclipses




• Saros pauvres : 78 éclipses ( ==> éclipse du 11/08/99)

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E

9  
9

# Evolution des éclipses homologues



$6/0.48 \sim 12 - 13$    
 $20.6/0.48 \sim 42 - 43$    
 $6/0.48 \sim 12 - 13$  



**70 cycles de 18.03 ans = 1200 ans**

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9





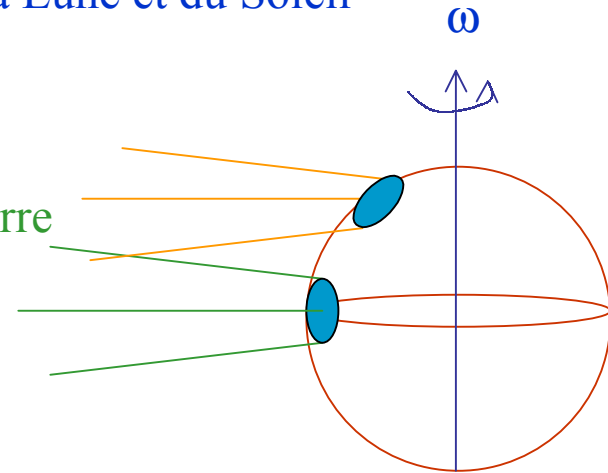
# ECLIPSE 99

## Durée des Eclipse totales

- Temps de passage de l'ombre en un lieu
- Temps entre les contacts intérieurs de la Lune et du Soleil

- Dimension de l'ombre :

Intersection du cône et de la Terre



- Diamètre maximum :

Lune la plus proche 357 200 km

Soleil éloigné 152 200 000 km

Position équatoriale - 6378 km

→ ● 269 km

- Vitesse de l'ombre : Lune - Terre =  $1.03 - 0.463 = 0.568$  km/s

Durée maximum théorique :  $269/0.568 = 7\text{m } 53\text{ s}$





# E C L I P S E 9 9

Mais :

• Soleil est à l'apogée : début juillet →  $\delta = 22^\circ$

•  $V = 1.032 - 0.463 \cdot \cos(\phi)$

• Durée maximale pour les éclipses zénithales :

le 18 juillet  $\tau = 7\text{m } 28\text{s}$

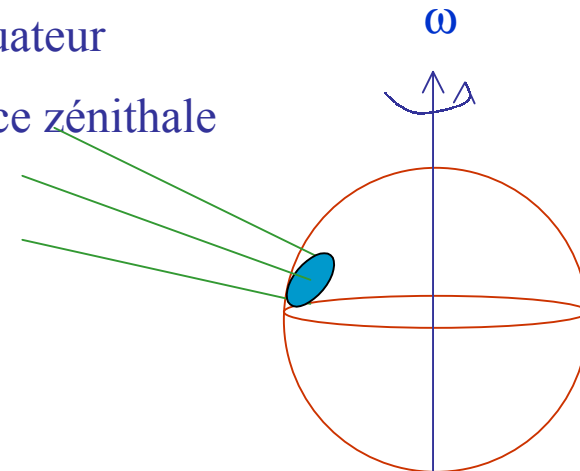
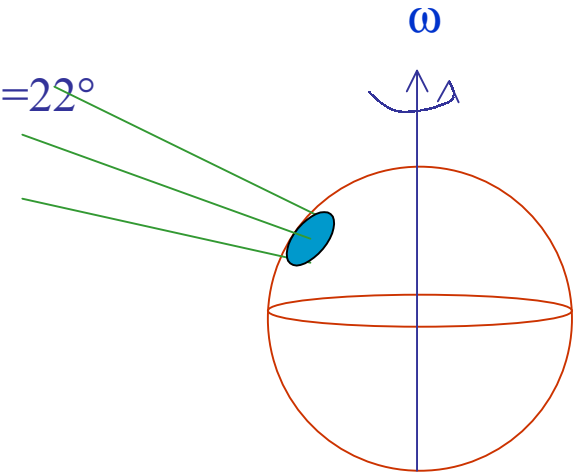
• On peut faire mieux en se rapprochant de l'équateur

• Le diamètre de l'ombre diminue avec la distance zénithale

• La vitesse de l'ombre diminue vers l'équateur

• Maximum atteint à  $\phi = 4.8$  degrés

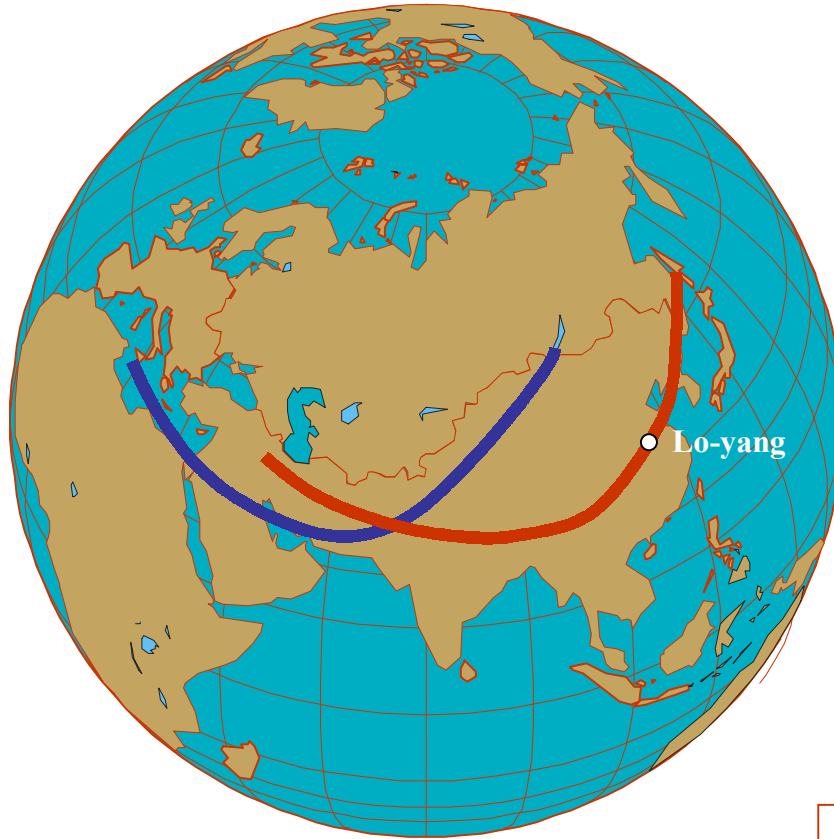
le 5 juillet  $\tau = 7\text{m } 45\text{s}$





# Eclipses et rotation de la Terre

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



Eclipse totale du 18 janvier 120  
observée en Chine, à Lo-yang

— Calcul à durée du jour constante

— Calcul avec allongement du jour

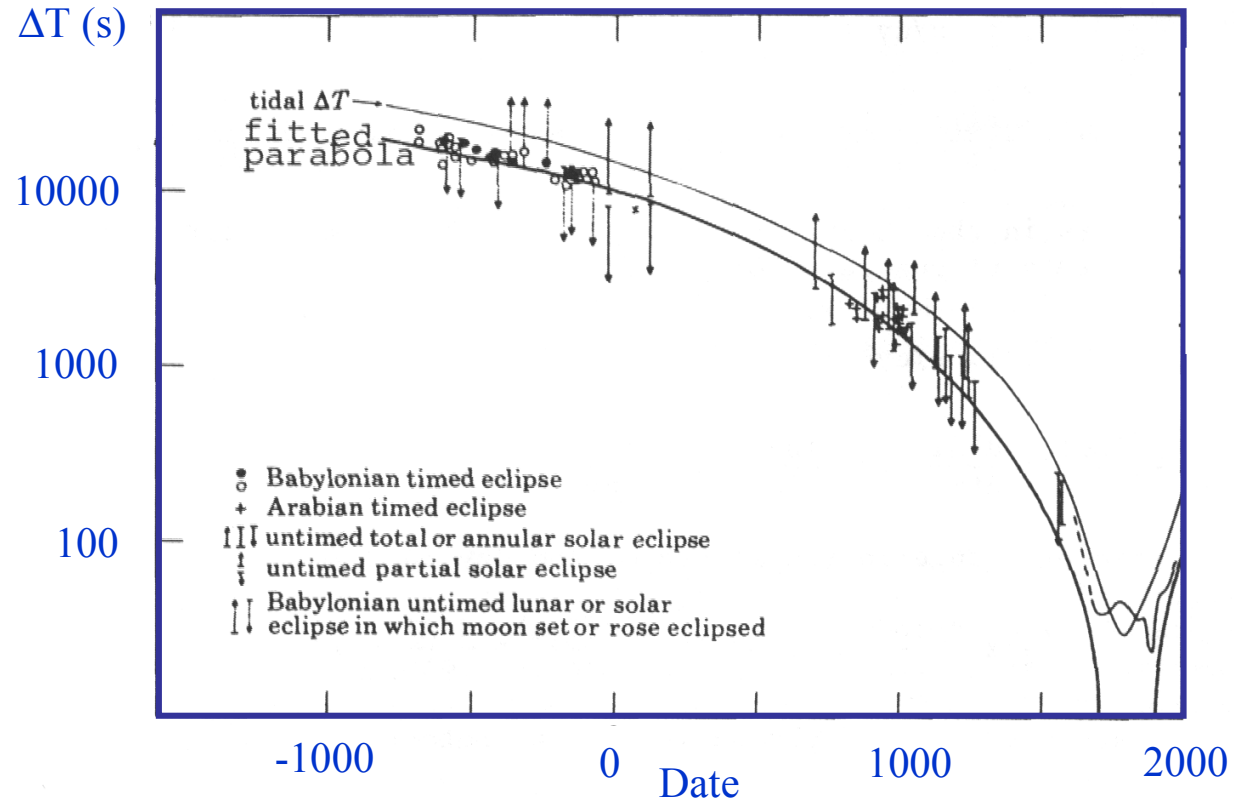
Durée du jour = + 1.6 ms/siècle





# Histoire de la Rotation de la Terre

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

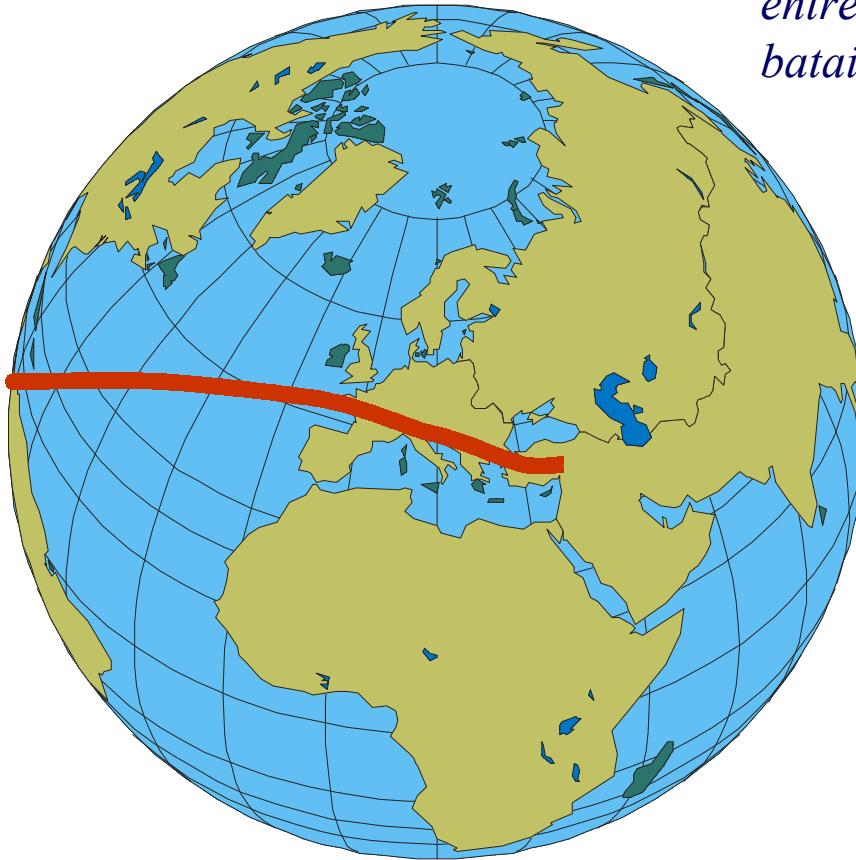




## Application à la chronologie historique

Événement rapporté par Hérodote :

« *Durant la sixième année de la guerre entre les Lydiens et les Mèdes, lors d'une bataille [nocturne] l'obscurité se fit* » .



Contraintes historiques ~ - 600

Contraintes astronomiques :

15/04/-656	10h	
06/04/-647	11h	
<b>25/05/-584</b>	<b>18h</b>	<b>4 mn</b>
30/04/-462	15h	
10/10/-173	11h	

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9





## Eclipse d'Hérodote (suite)

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



### Solution de Baily en 1811

éclipse du 30/09/-609

— Rotation constante

— Solution Baily

— Solution actuelle

..... éclipse du 25/05/-584

Mélange délicat entre :

- la chronologie,
- la rotation de la Terre,
- le mouvement de la Lune



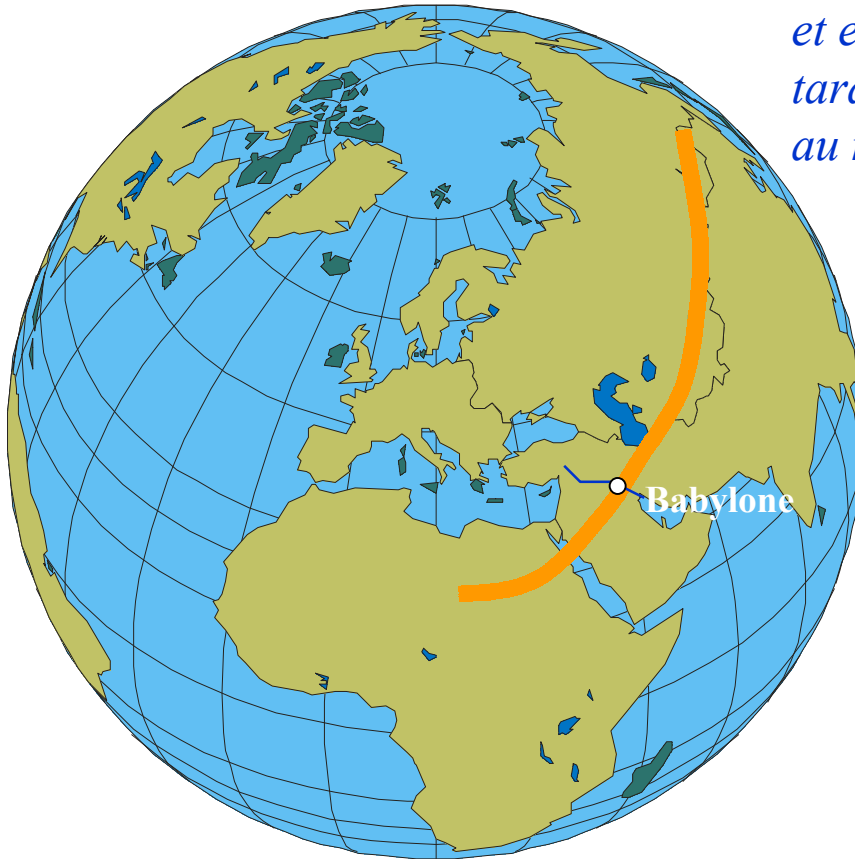
# Application à la chronologie historique



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

Texte sur deux tablettes en cunéiforme :

*« Une éclipse solaire a débuté au sud-ouest 96 minutes après le lever du Soleil et est devenue totale 72 minutes plus tard. L'ombre se déplaçait du sud-ouest au nord-est. Au total 140 minutes » .*



Date identifiée : 15 avril -135

Contraintes astronomiques

18/01/-401	11h00	
15/08/-241	12h30	
<b>15/04/-135</b>	<b>08h30</b>	<b>3 mn</b>

Lever du soleil 05h36

Début 07h12

Totalité 08h24

# Eclipses et rotation de la Terre



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



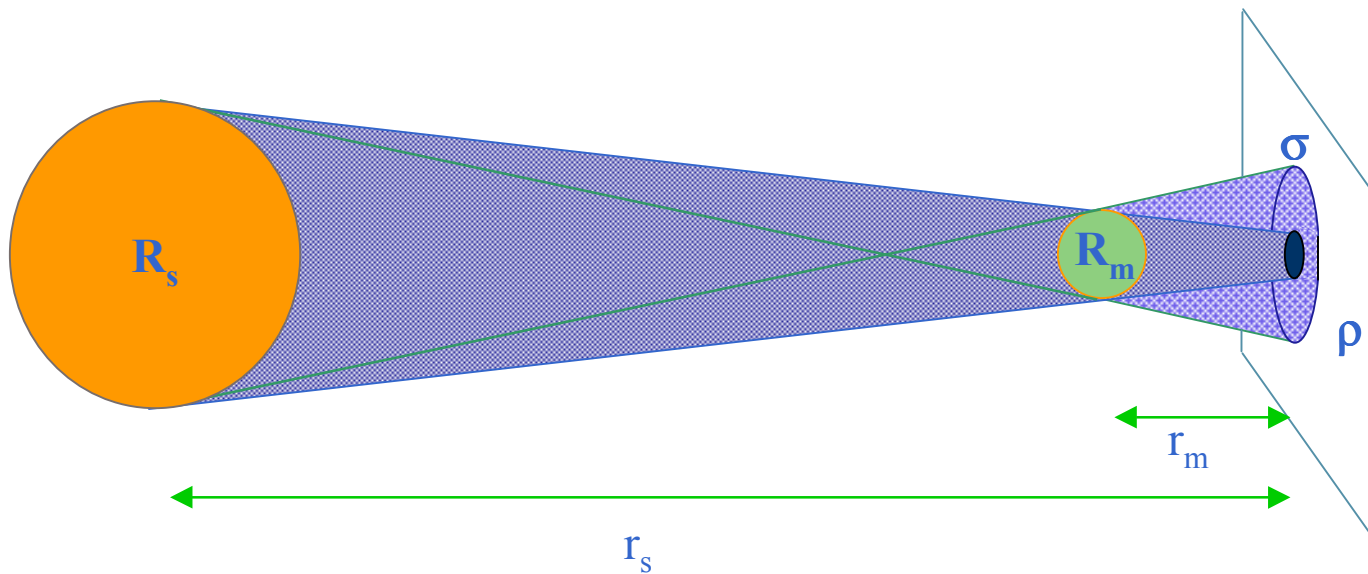
**Vitesse constante**



**Ralentissement**



## Géométrie d'une éclipse de Soleil



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E

9  
9

Ombre

$$\rho = R_m - r_m \frac{R_s - R_m}{r_s - r_m}$$

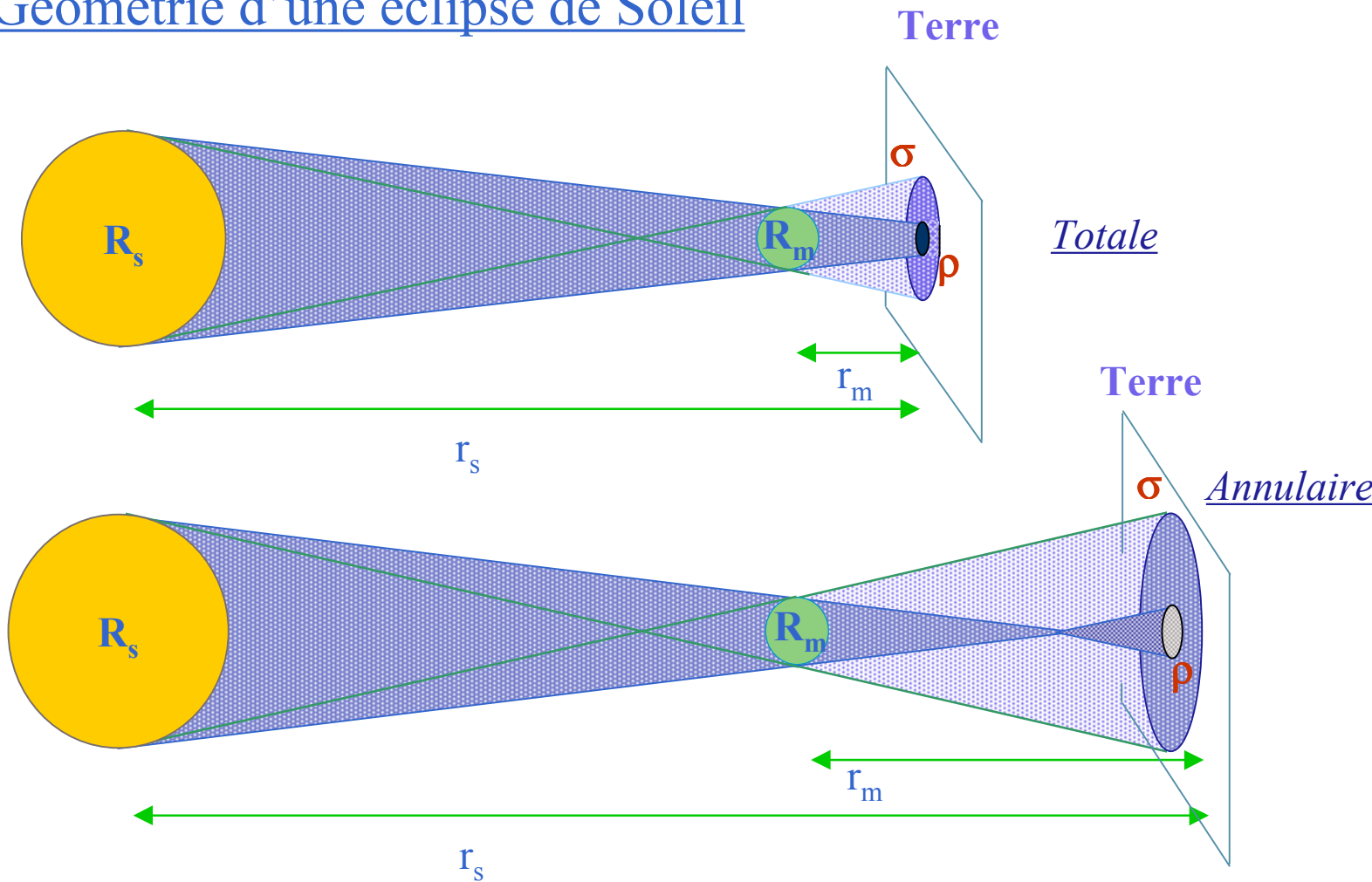
Pénombre

$$\sigma = R_m + r_m \frac{R_s + R_m}{r_s - r_m}$$

# Géométrie d'une éclipse de Soleil



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



## Dimensions de l'ombre et de la pénombre

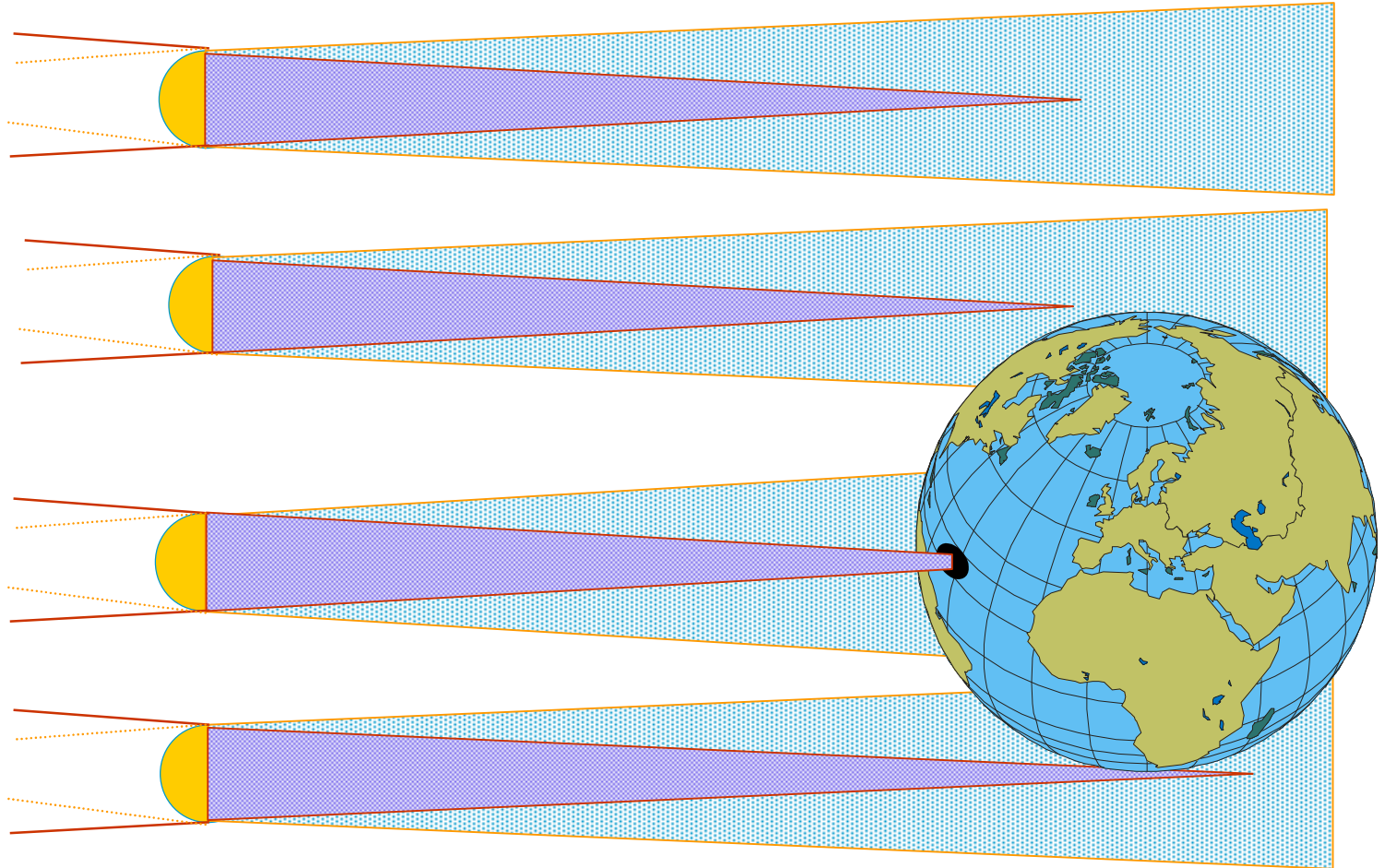
	Périgée	Moyenne	Apogée
$r_m$ $r_s$	357 200 $1.52 \times 10^8$	381 300 $1.50 \times 10^8$	407 000 $1.48 \times 10^8$
$R_m$ $R_s$	1738.1 696 000	1738.1 696 000	1738.1 696 000
$\rho$ (km) $\rho$ (")	104.9 60.5	-34.7 -18.7	-187.4 -94.8
$\sigma$ (km) $\sigma$ (")	3379 1948	3520 1901	3673 1859
$r_m - R_e$	350 800	374 900	400 600
$\rho$ (km) $\rho$ (")	134.1 78.7	-5.0 -2.8	-157.1 -80.8
$\sigma$ (km) $\sigma$ (")	3350 1966	3490 1918	3643 1873

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

# Eclipses totales - Eclipses partielles



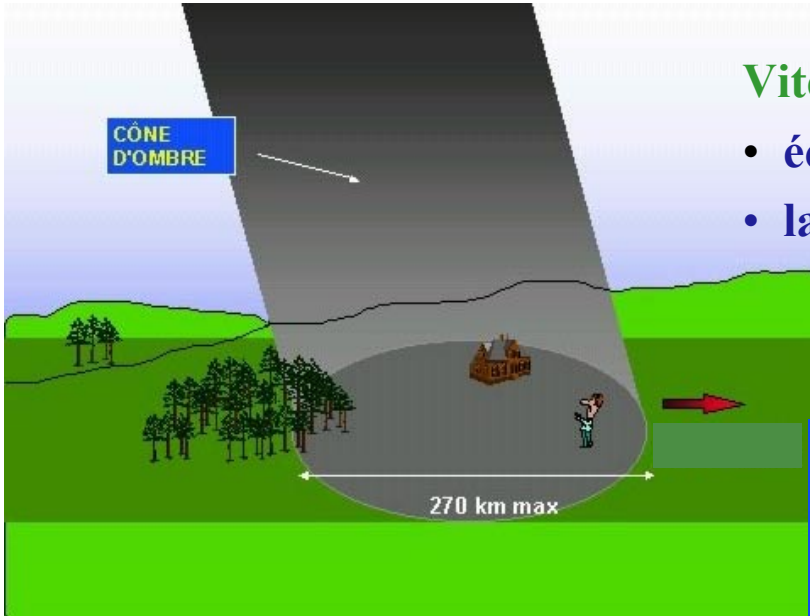
E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



# Durée d'une éclipse totale



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

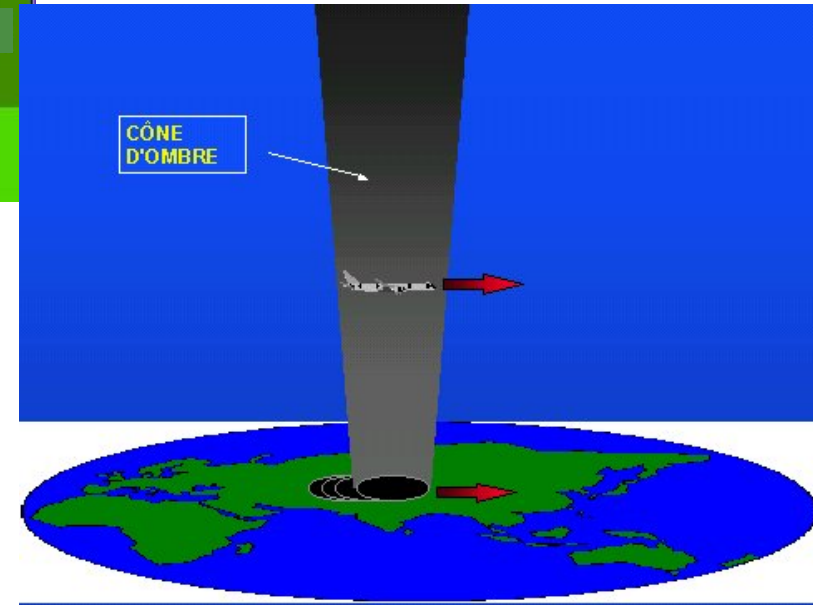


Vitesse du cône :  $1 \text{ km/s} = 3600 \text{ km/h}$

Vitesse de rotation de la Terre :

- équateur =  $0.462 \text{ km/s} = 1660 \text{ km/h}$
- latitude  $45^\circ = 0.326 \text{ km/s} = 1170 \text{ km/h}$

On peut suivre l'ombre en avion



illustrations : J.P. Caussil, Ph. Simonnet



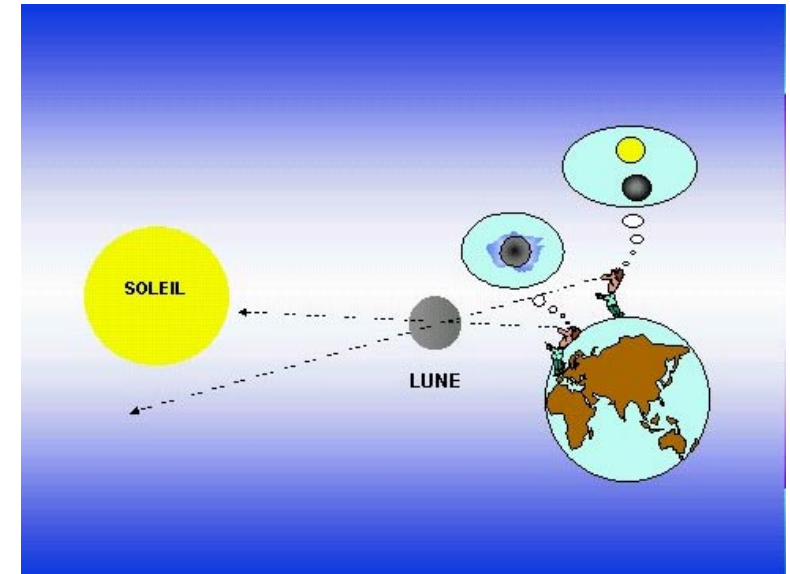
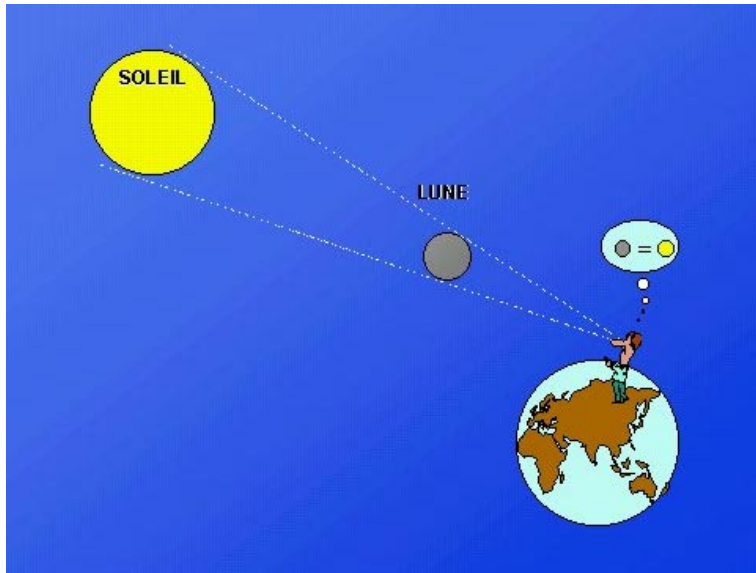


# Visibilité d'une éclipse de Soleil



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

La Lune est beaucoup plus proche que le Soleil

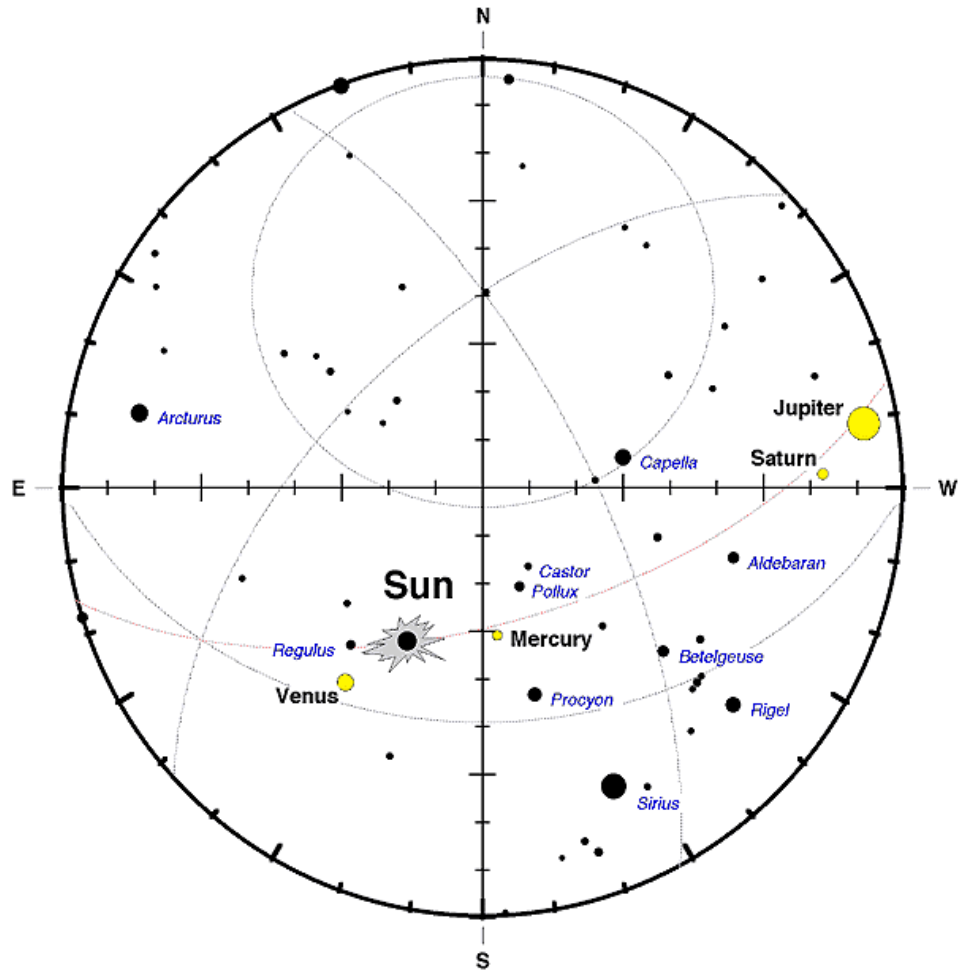


illustrations : J.P. Caussil, Ph. Simonnet



# Le Ciel pendant l'Eclipse du 11 août

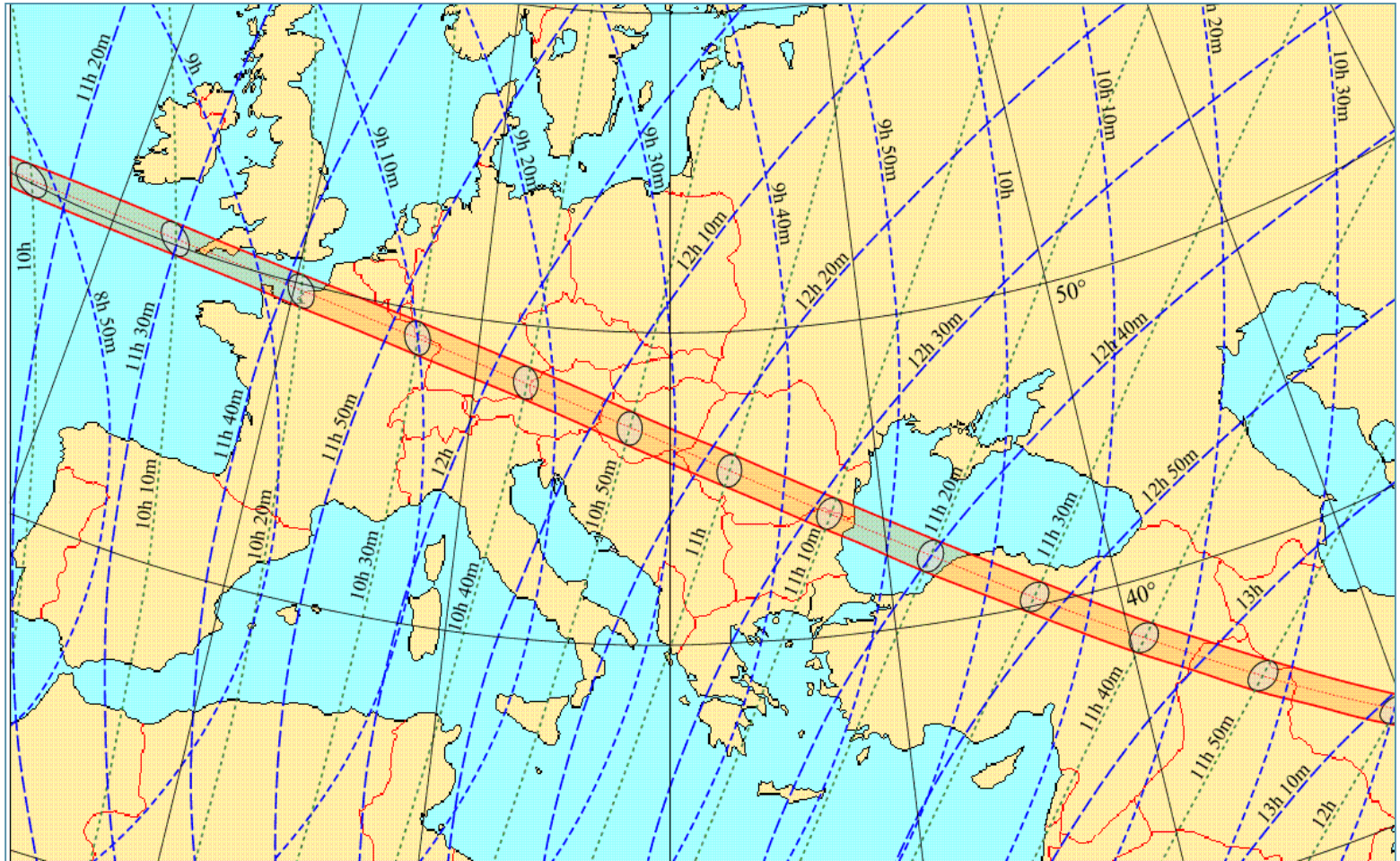
- 10h30 TU
- lat : 49°
- long : 8° Est
- mag < 2.5



Source : F. Espenak

E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

# Eclipse du 11 Août 1999 : Europe



Source : BDL/IMCCE



# Eclipse du 11 Août 1999 : France



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



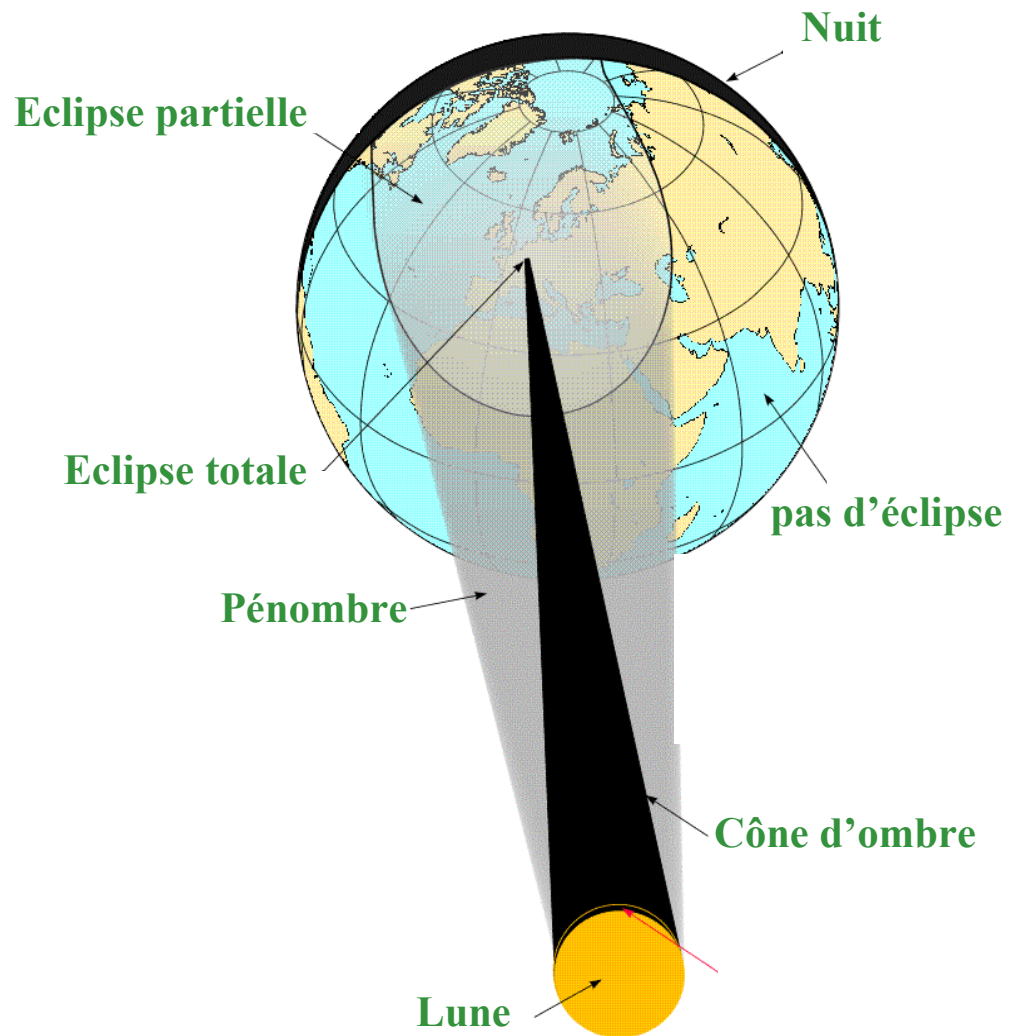
Source : BDL/IMCCE

# Eclipse totale du 11 Août 1999



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

- Géométrie à 10h30 TU
- Déplacement vers l'est
- Ombre de 120 km



Source : BDL/IMCCE

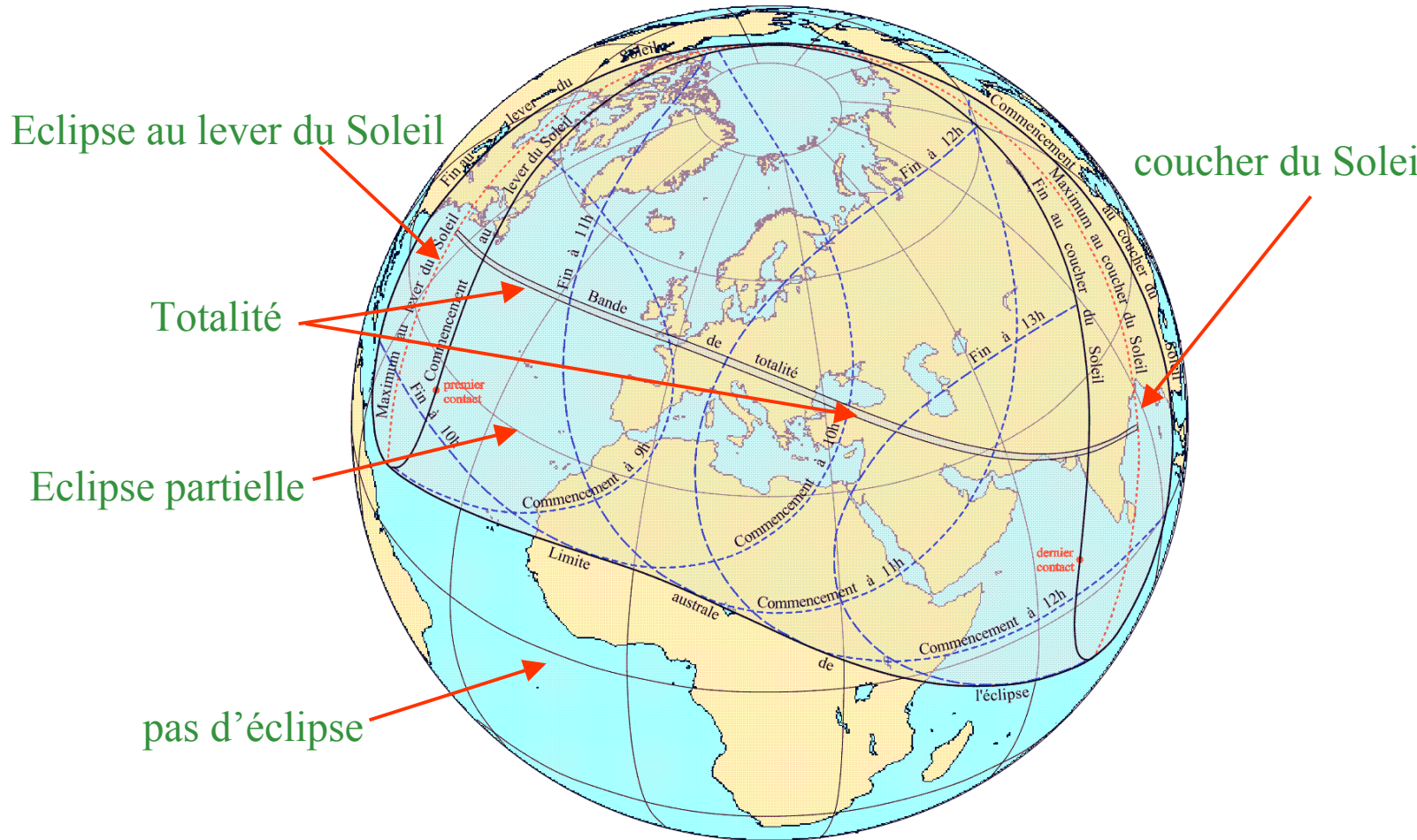
Observatoire de la Côte d'Azur



# Carte Générale de l'éclipse du 11 Août 1999



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



Source : BDL/IMCCE

## La couronne solaire



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



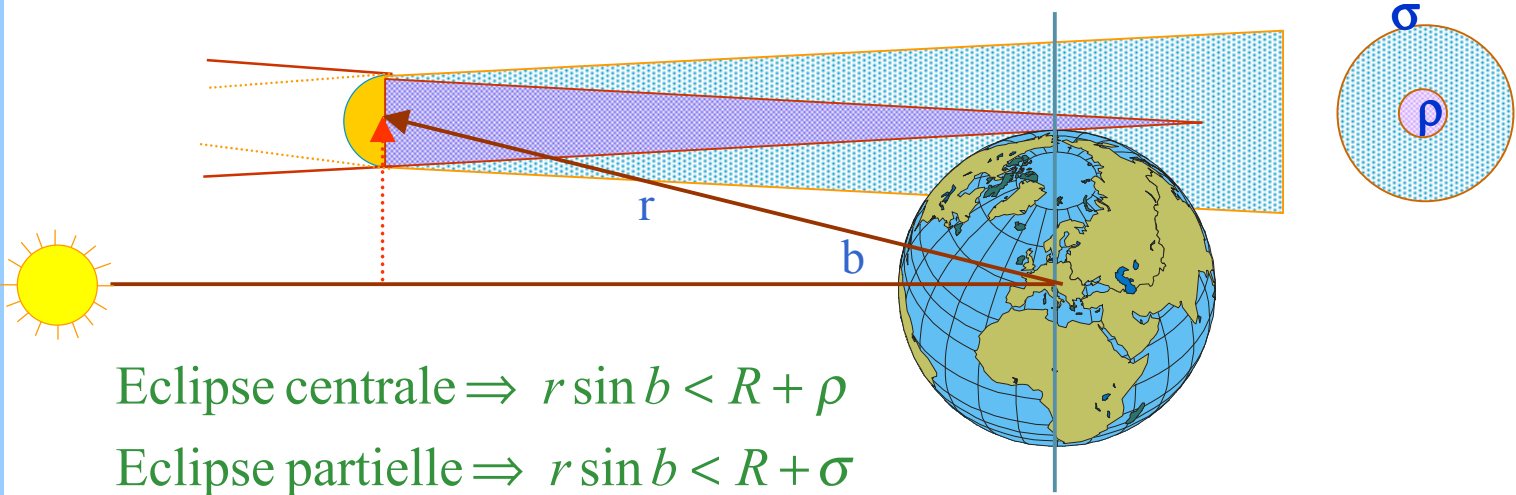
26 février 1998



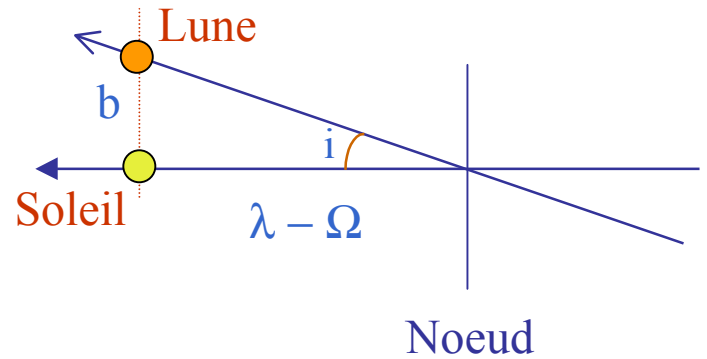
# Conditions en latitude et longitude



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9



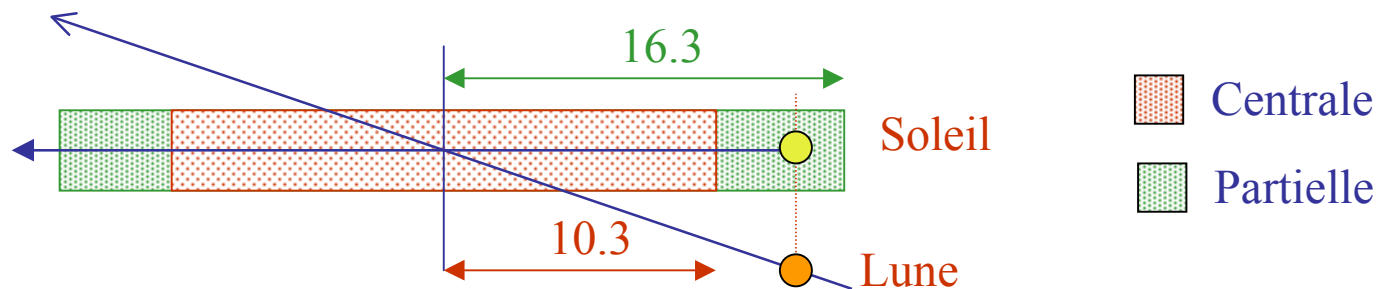
$$\sin(\lambda - \Omega) = \tan b / \tan i$$





## Conditions en latitude et longitude

	Périgée	Moyenne	Apogée
$r_m$ (km)	357 200	381 300	407 000
$\rho$ (km)	104.9	-34.7	-187.4
$ b  <$	1.040	0.953	0.871
$ \lambda - \Omega  <$	11.28	<b>10.33</b>	09.43
$\sigma$ (km)	3379	3520	3673
$ b  <$	1.564	1.487	1.415
$ \lambda - \Omega  <$	17.11	<b>16.25</b>	15.44

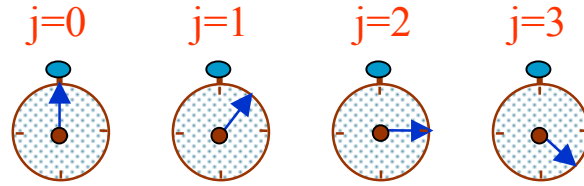
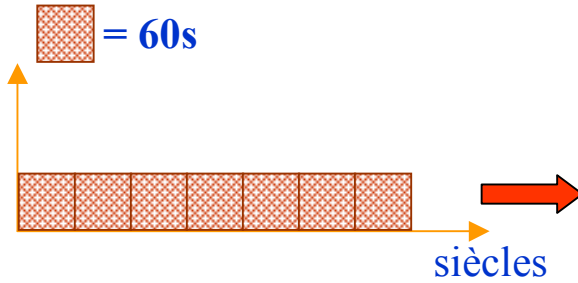




# Ralentissement de la Terre

• 1 jour = 24 h + 1.6 ms

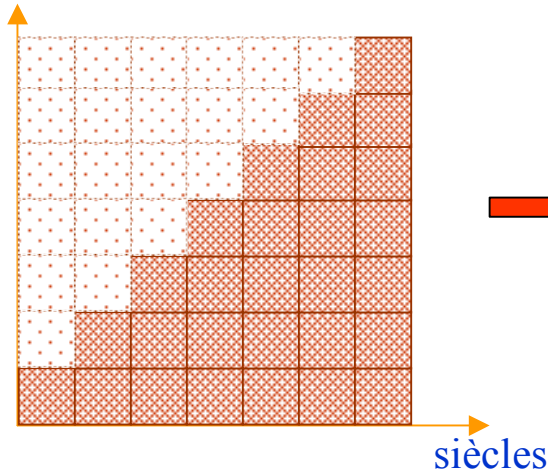
1.6 ms /jour = 60 s/siècle



*Décalage horloge-Terre*

20 siècles = 60x20= 1200 s = 20 mn

• Mais le jour **augmente** de 1.6 ms par siècle



*Décalage horloge-Terre*

20 siècles = 60x(20x20/2) = 12000 s ~ 3h



Times 7 nov. 1919



E  
C  
L  
I  
P  
S  
E  
  
9  
9

**REVOLUTION IN SCIENCE.**

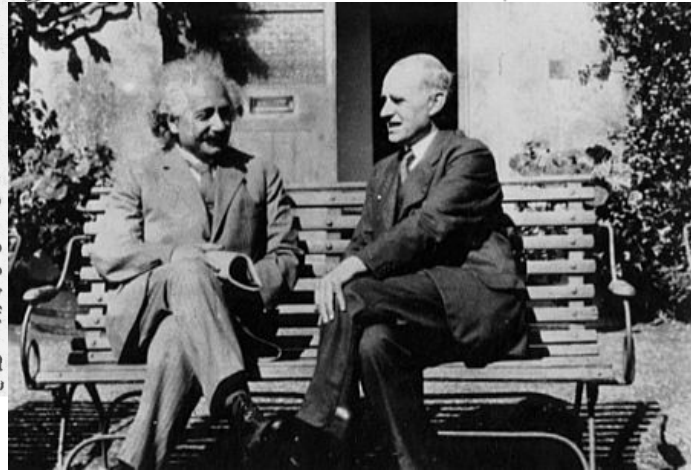
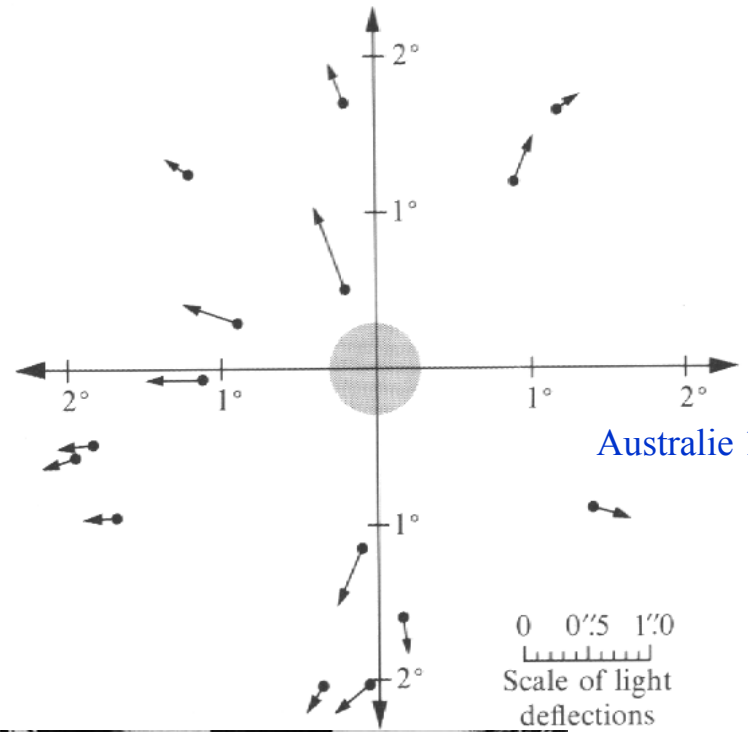
**NEW THEORY OF THE UNIVERSE.**

**NEWTONIAN IDEAS OVERTHROWN.**

Yesterday afternoon in the rooms of the Royal Society, at a joint session of the Royal and Astronomical Societies, the results obtained by British observers of the total solar eclipse of May 29 were discussed.

The greatest possible interest had been aroused in scientific circles by the hope that rival theories of a fundamental physical problem would be put to the test, and there was a very large attendance of astronomers and physicists. It was generally accepted that the observations were decisive in the verifying of the prediction of the famous physicist, Einstein, stated by the President of the Royal Society as being the most remarkable scientific event since the discovery of the predicted existence of the planet Neptune. But there was difference of opinion as to whether science had to face merely a new and unexplained fact, or to reckon with a theory that would completely revolutionize the accepted fundamentals of physics.

SIR FRANK DYSON, the Astronomer Royal, described the conditions sent, respectively to



Einstein et Eddington