



Matériel sur les Passages de Vénus sur le Soleil

F. Mignard

Observatoire de la Côte d'Azur
Version 4. - 03 juin 2004

Avertissement

- Matériel prévu pour des présentations de différents niveaux
- L'ensemble n'est pas une présentation mais un ensemble de documents didactiques
- Beaucoup de planches sont arrangées pour des animations et non des vues statiques.
- La version PDF ne peut pas inclure les animations et superpose les images
- Les GIF animés ne sont visibles qu'avec Power-Point 2000 en mode diaporama
- Documents libres, à utiliser avec des classes ...crédit apprécié en cas d'utilisation.

V
é
n
u
s

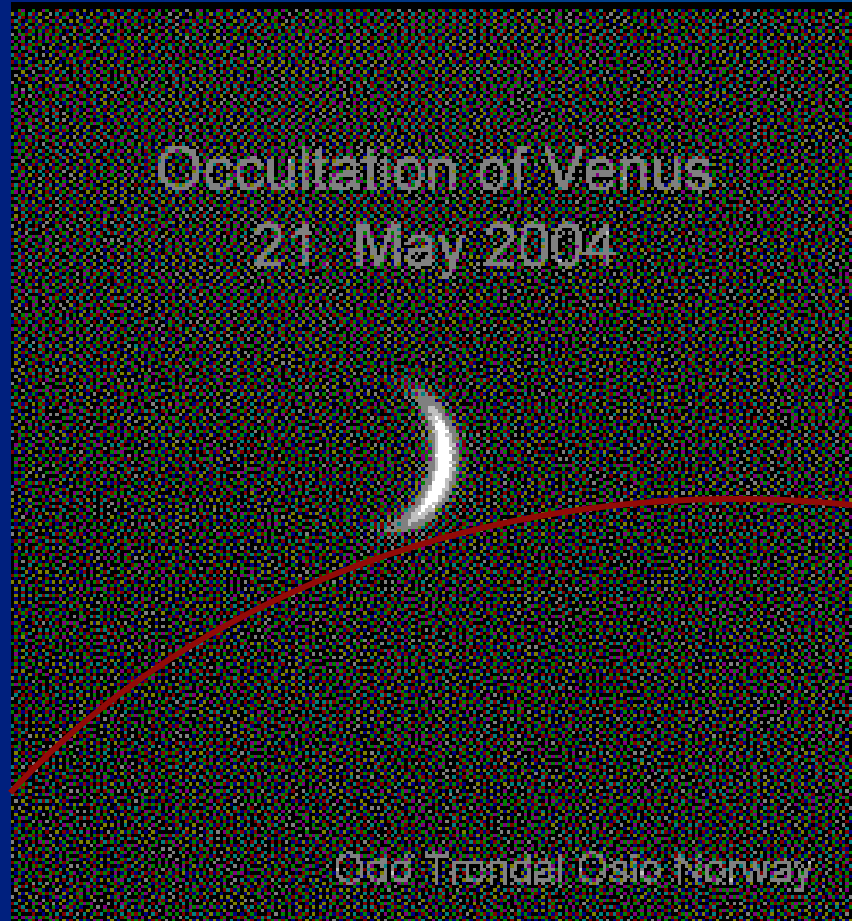
2
0
0
4

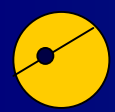


L'occultation de Vénus par la Lune du 21 mai

V
é
n
u
s

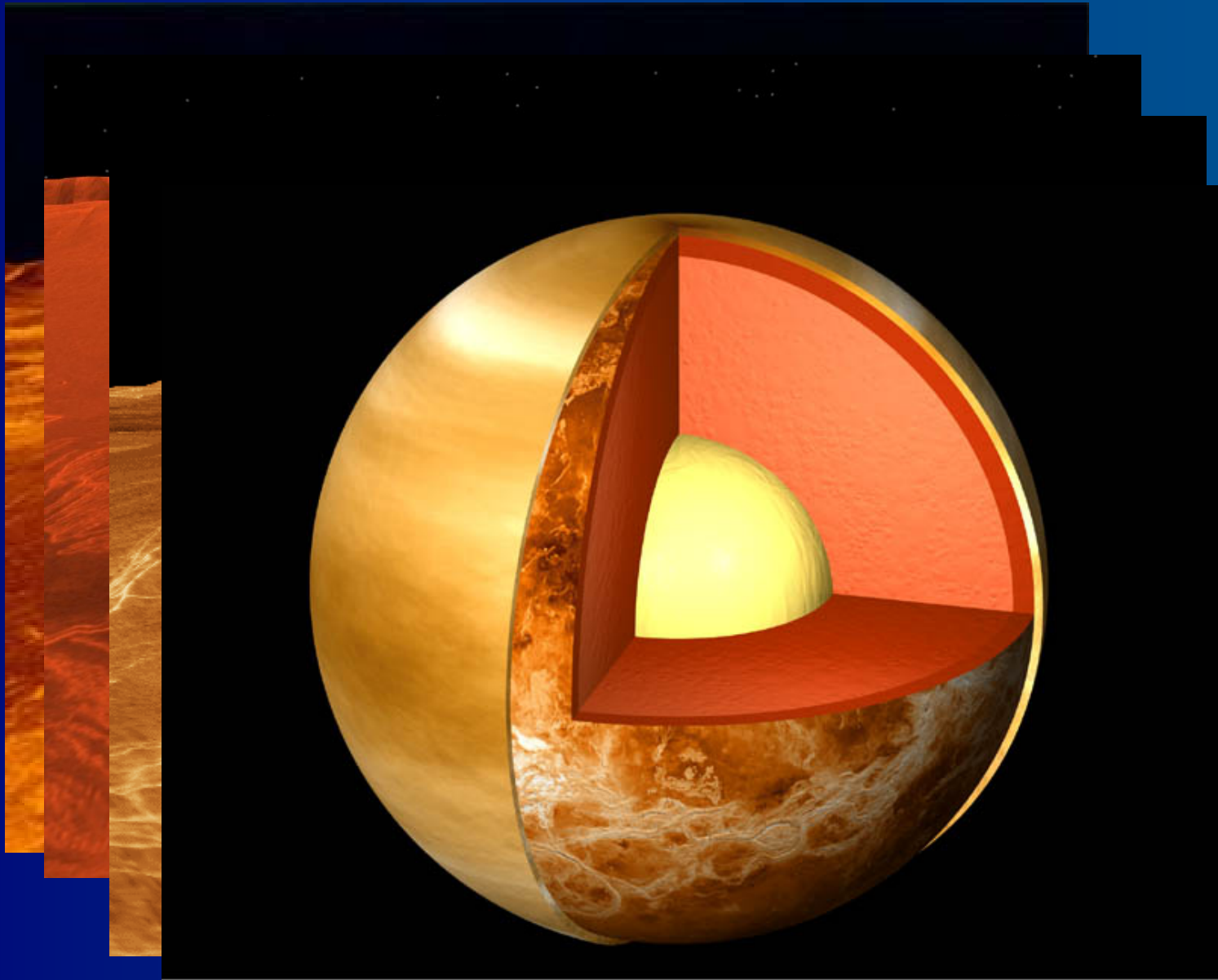
2
0
0
4





V
é
n
u
s

2
0
0
4



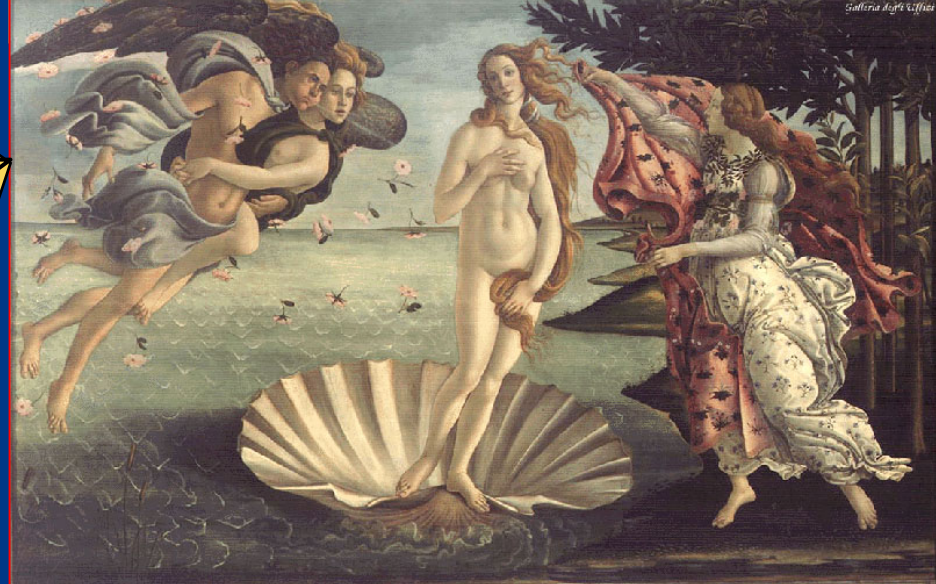
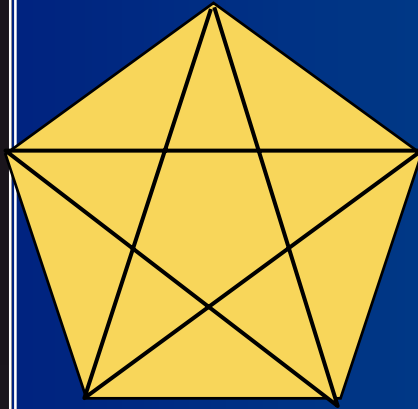
The Interior of Venus

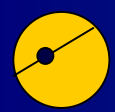
© Copyright 2000 by Calvin J. Hamilton

Autres représentations ...

V
é
n
u
s

2
0
0
4

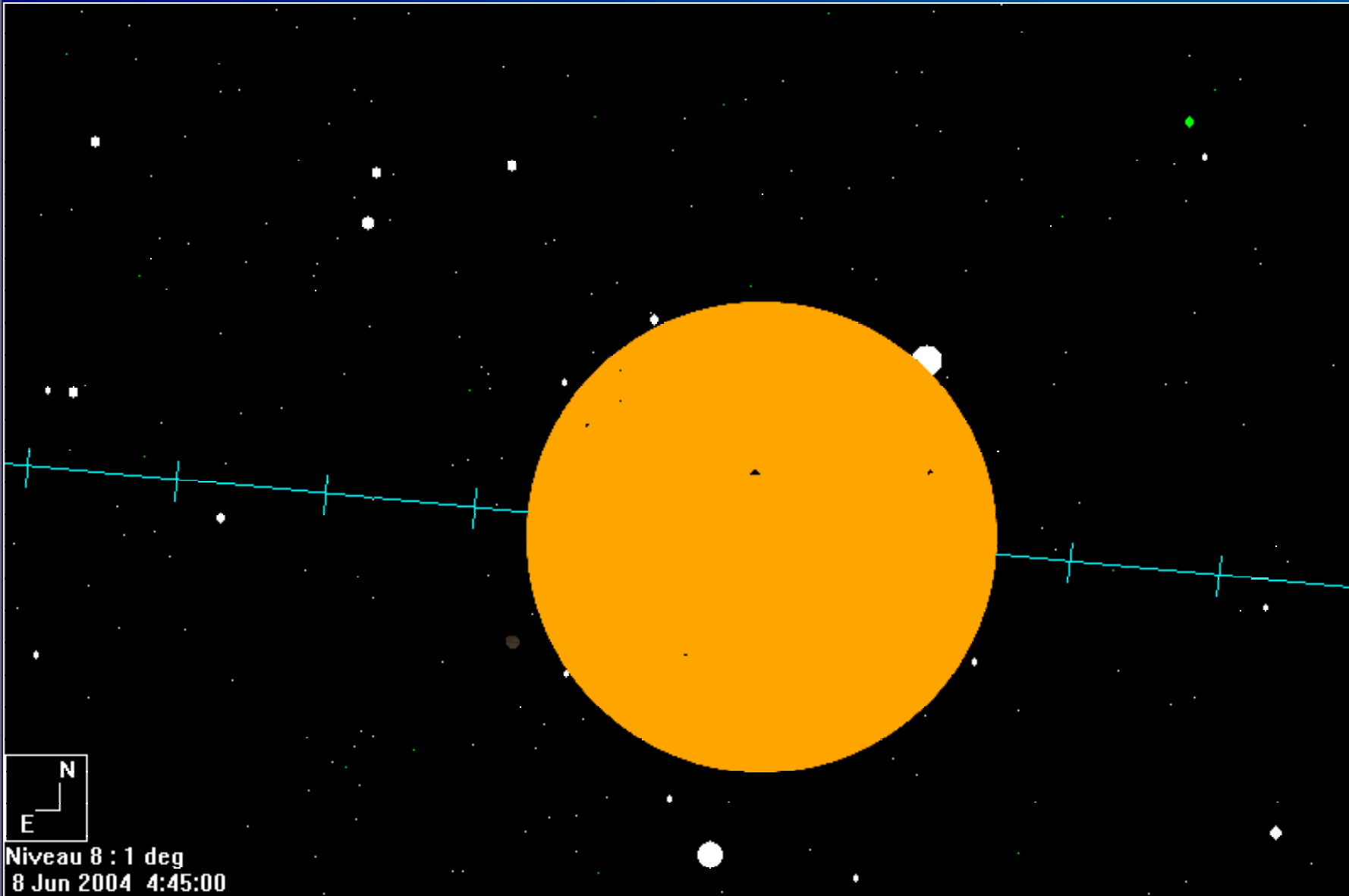




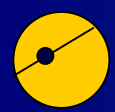
Mouvements absolus

V
é
n
u
s

2
0
0
4



Animation de Roland Boninsegna : une image toutes les 15 minutes.

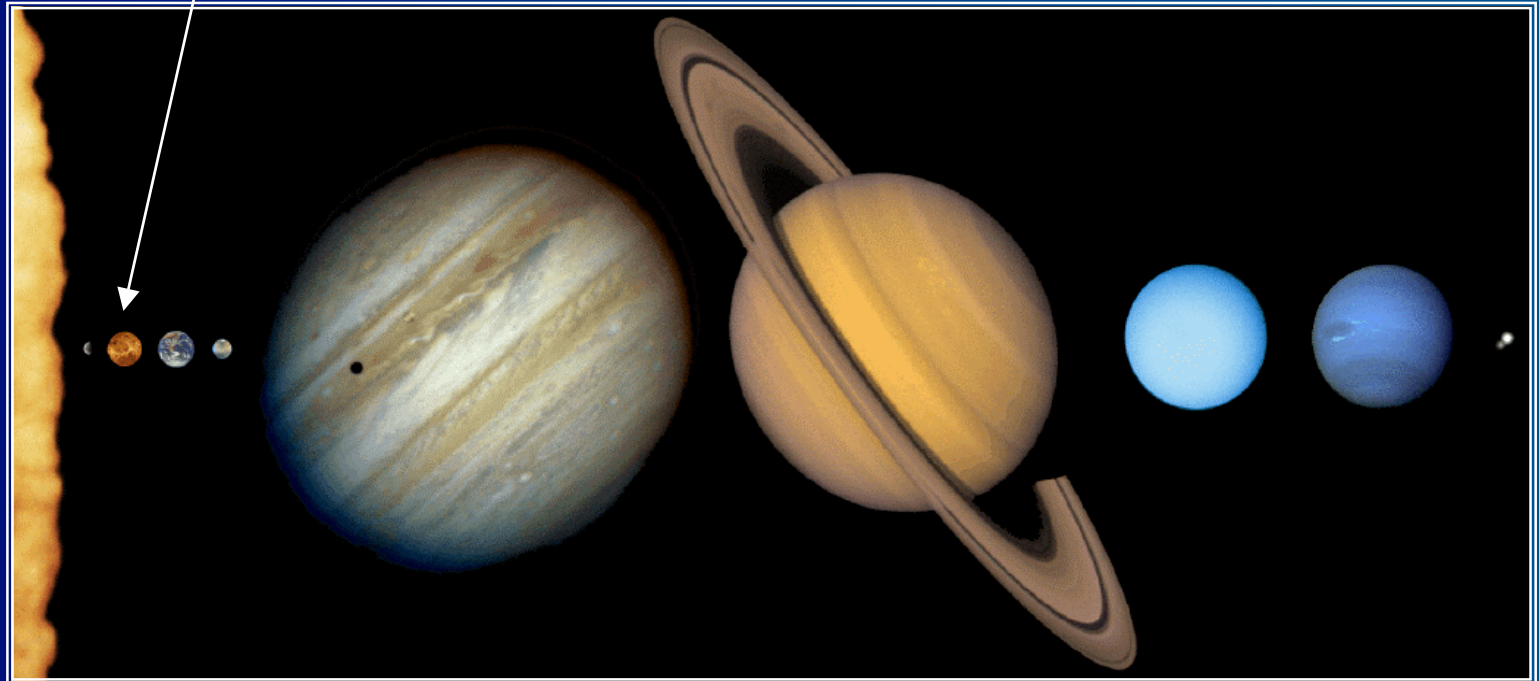


La Planète Vénus

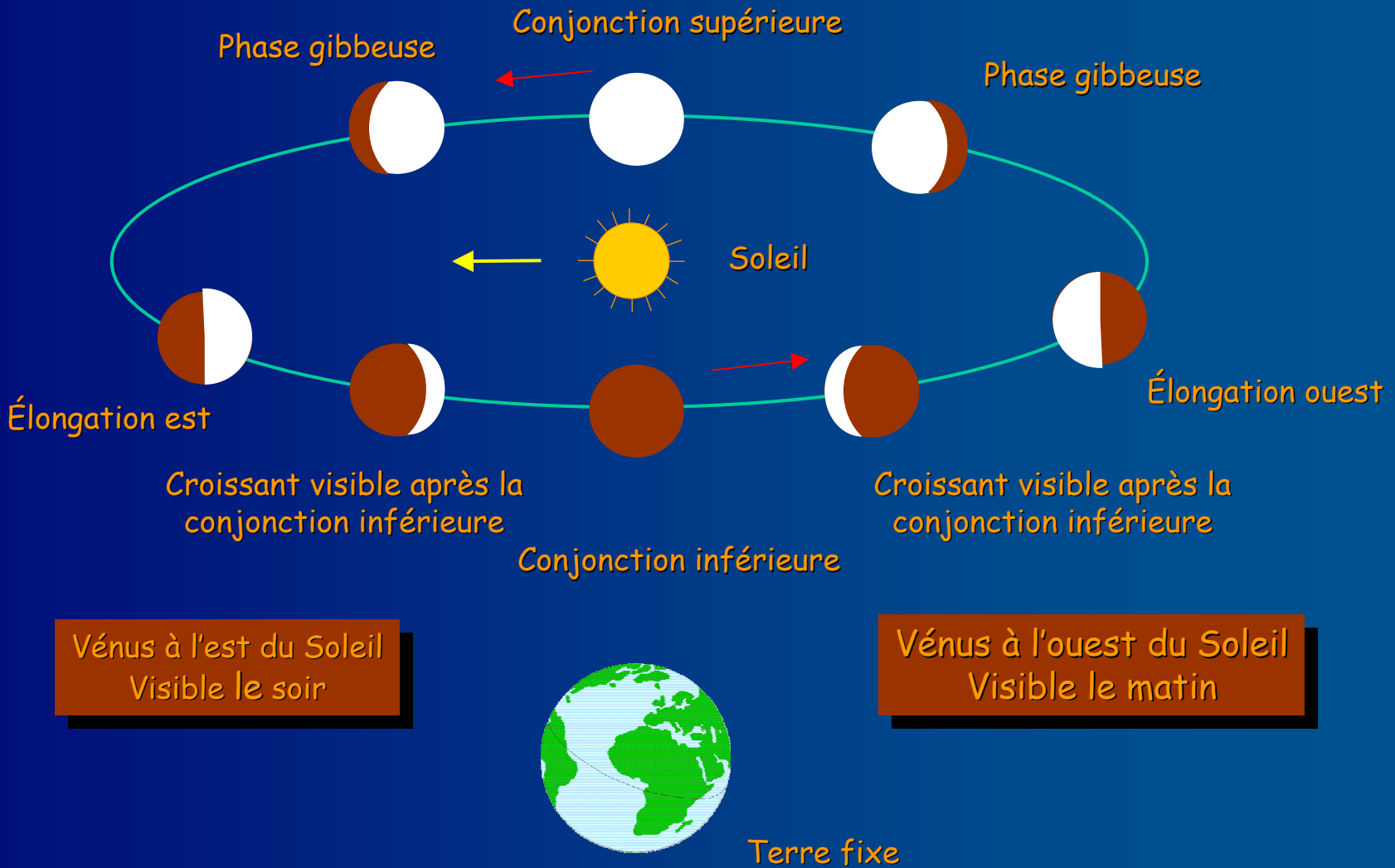
V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Seconde planète en partant du Soleil
- Taille comparable à la Terre

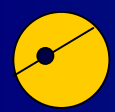


Visibilité de Vénus



V
é
n
u
s

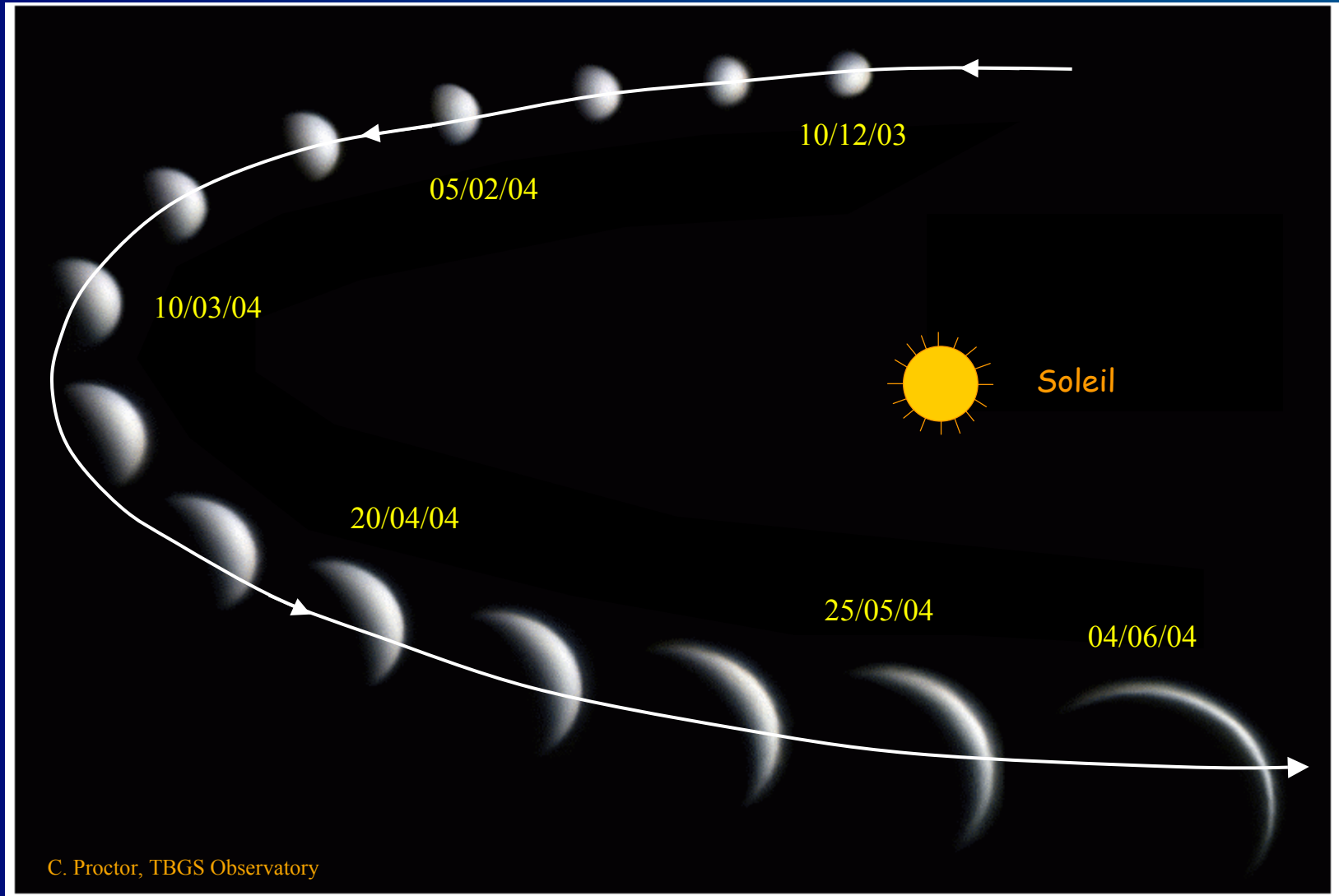
2
0
0
4



Phases de Vénus en 2004

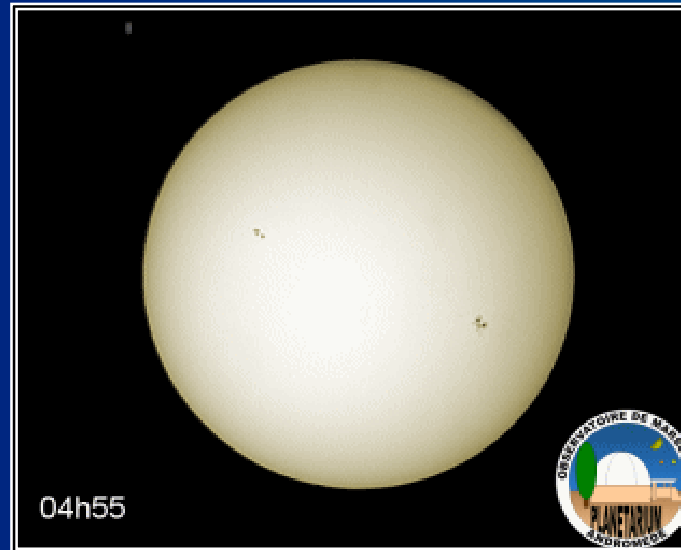
V
é
n
u
s

2
0
0
4



Petite introduction

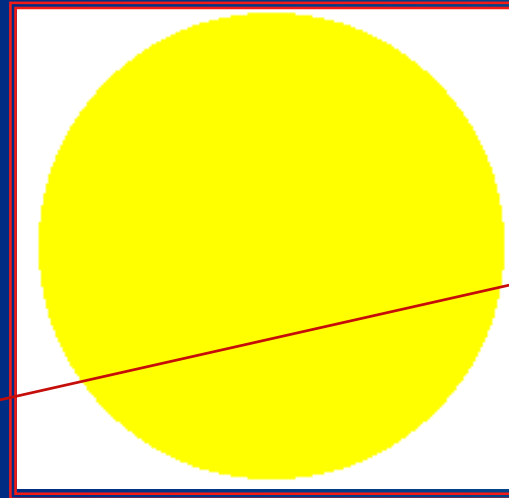
- Si Vénus et le Soleil sont parfaitement alignés, Vénus apparaît sur le disque solaire
- La planète traverse le Soleil en ~ 8 heures



- Ces passages sont très rares :
 - derniers en 1874-1882
 - prochains en 2004 - 2012, puis en 2117
- Ils ont permis de connaître les dimensions du Système Solaire
- Passage de Mercure en mai 2003

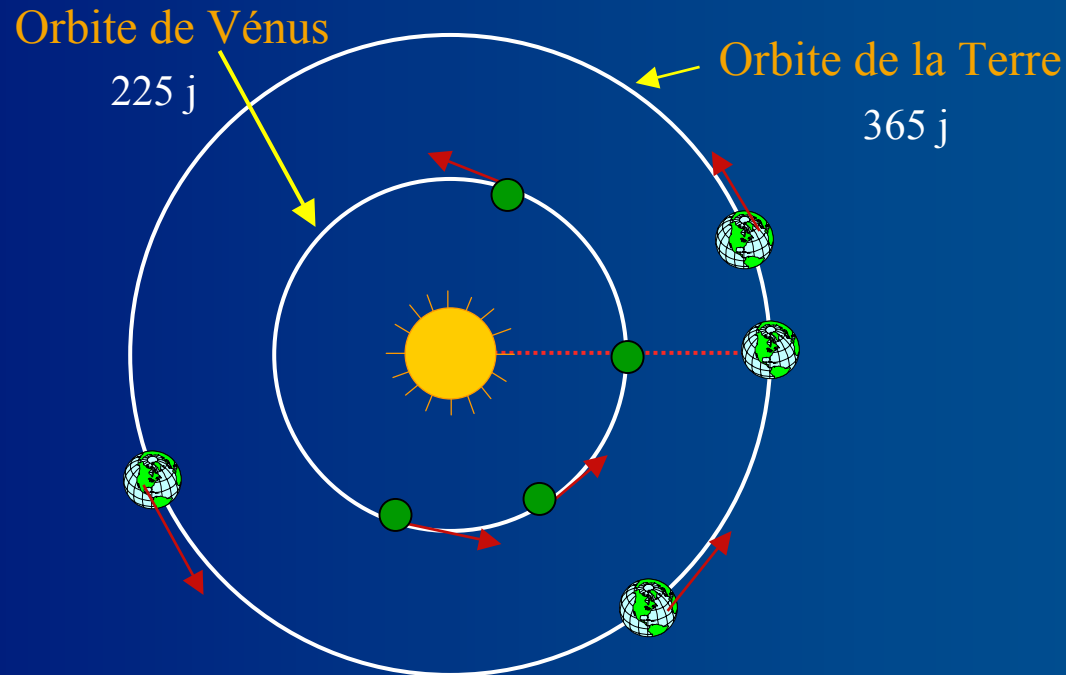
Petite introduction

- Si Vénus et le Soleil sont parfaitement alignés, Vénus apparaît sur le disque solaire
- La planète traverse le Soleil en ~ 8 heures



- Ces passages sont très rares :
 - derniers en 1874-1882
 - prochains en 2004 - 2012, puis en 2117
- Ils ont permis de connaître les dimensions du Système Solaire
- Passage de Mercure en mai 2003

Comment est-ce possible ?



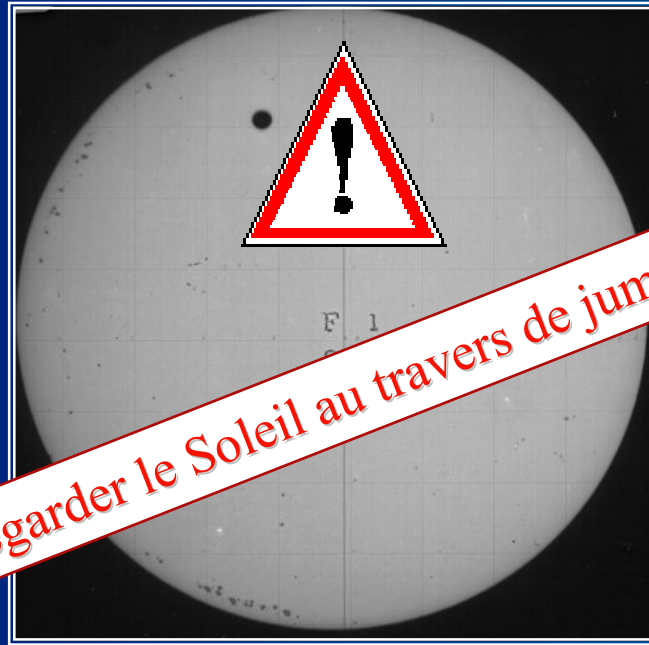
Cela peut donc arriver pour Mercure vue de la Terre...
... mais aussi Mercure vue de Vénus ...
... ou la Terre vue de Mars !

V
é
n
u
s

2
0
0
4

Que peut on voir et faire ?

- Profiter d'un événement exceptionnel
- Observations à effectuer par projection d'une image
- Mesure des instants du début et de la fin du passage
- Comparaison avec des observateurs distants



Ne jamais regarder le Soleil au travers de jumelles ou d'une lunette

Photographie (rare) du passage de 1882

Et avec un peu d'imagination ...

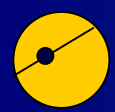


Mercuré devant le Soleil vue au télescope

Giacomo Balla (1914)

- Passage du 7 novembre 1914 ?
 - Visible en totalité en Europe
 - entrée : 10h sortie : 14h

G. Balla (Turin 1871 - Rome 1958)



Histoire des premiers passages



Mercure : 7 novembre 1631

Vénus : 4 décembre 1639

Qui a eu l'idée ?

V
é
n
u
s

- Ptolémée mentionne cette possibilité dans son système
- Un passage de Mercure est mentionné en 807
 - pas de passage possible
 - dates les plus proches 23/04/806 et 24/10/809
- Copernic indique que les transits sont possibles
 - invisibles en raison de la taille des planètes



2
0
0
4

- Kepler prévoit un passage de Mercure pour le 29 mai 1607
 - il observe avec une chambre noire le 28.
 - il note une tache noire sur le Soleil et annonce l'observation
 - en fait il n'y a pas eu de passage à cette date
 - dates les plus proches : 01/11/1605 et 03/05/1615



- Observation systématique des taches par projection après 1610

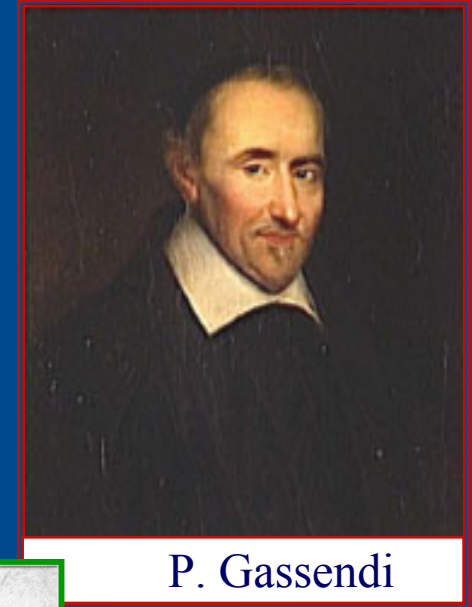
Les prédiction des passages

- Avec les modèles planétaires anciens → prévisions qualitatives
- Cela s'applique aussi au modèle de Copernic
- Képler découvre les lois du mouvement des corps célestes
- Publication des Tables Rudolphines en 1627
 - Calculs beaucoup plus précis
- Annonce de Képler : (*Admonitio ad astronomos ...*)
 - passage de Mercure le 7 novembre 1637
 - passage de Vénus le 6 décembre 1631
 - Passage suivant en 1761

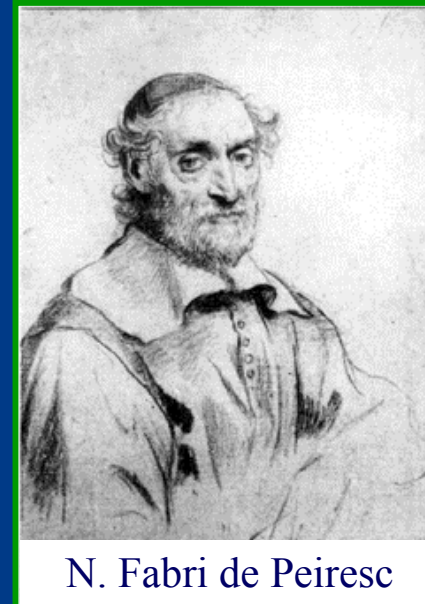


P. Gassendi (1592-1655)

- Né à Champtercier (près de Digne)
- Etudes 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
- Fait une expérience célèbre sur le principe d'inertie

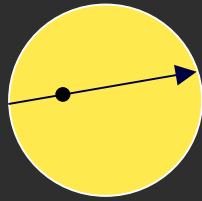


P. Gassendi



N. Fabri de Peiresc

Observation de P. Gassendi à Paris



Passage de Mercure du 7 Nov 1631

Calcul pour Paris

	heure	Soleil
	(Temps solaire vrai)	
2e contact	5h 06	-21°
3e contact	10h28	+22°

- Première observation d'un passage
- Utilisation d'une chambre noire (et peut être d'un objectif)
- Observation dès le 5 (mauvais temps le 5 et 6)
- Dès le lever du Soleil, Gassendi aperçut une tache noire
 - Diamètre de Mercure : 20" (valeur réelle : 10")
- Décalage de 5h par rapport aux prévisions de Kepler
- Trois autres observations connues en Europe

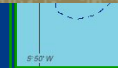
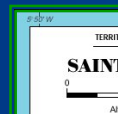
Mercurius in sole visus et venus invisus Parissius anno 1631.

"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 "

Passage de Mercure de 1677

V
é
n
u
s

2
0
0
4



Passage du 7 novembre 1677

- Observé par E. Halley durant son séjour sur l'Ile
 - beau temps inespéré
 - Durée du Passage : 5h 14m 20s
- Observé à Avignon par l'abbé J.C. Gallet
 - mauvais temps pour l'entrée
 - il trace la ligne de transit
 - J. Cassini calcule la durée du passage : 5h 27m 28s

Calcul moderne de la durée

St Hélène	Avignon
5h 13m 30s	5h 14m 06s



E. Halley (1656-1742)

- Halley rencontre Gallet à Avignon durant l'été 1681
- Ils observent l'éclipse partielle de Lune du 28-29 août
- Différence initialement attribuée à la parallaxe
- Estimation de la parallaxe du Soleil : 45"
- Il est conscient que c'est beaucoup trop fort
- Halley met en doute la qualité de la méthode de Gallet

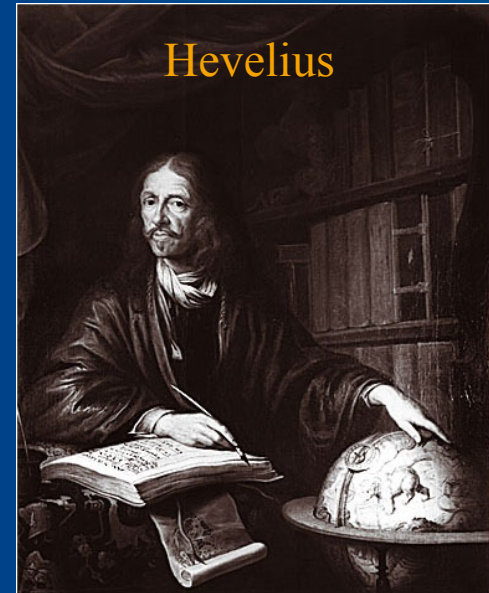
Les Passages suivants

V
é
n
u
s

2
0
0
4

- 9 nov 1644 Invisible en Europe
- 3 nov 1651 Invisible en Europe
- 3 mai 1661 Hevelius à Dantzic
- 4 nov 1664

vu en Inde



- 7 nov 1674 Invisible en Europe
- 7 nov 1677 Halley à Sainte Hélène
- 10 nov 1690 Invisible en Europe

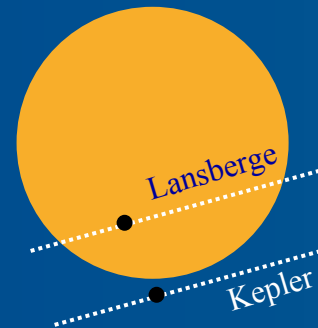
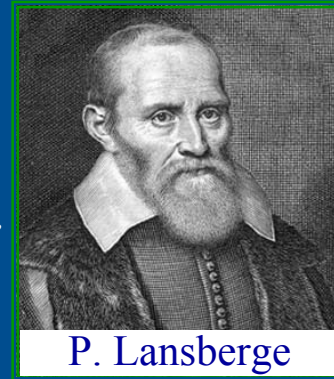
vu à Canton

J. Horrocks (1619-1641)

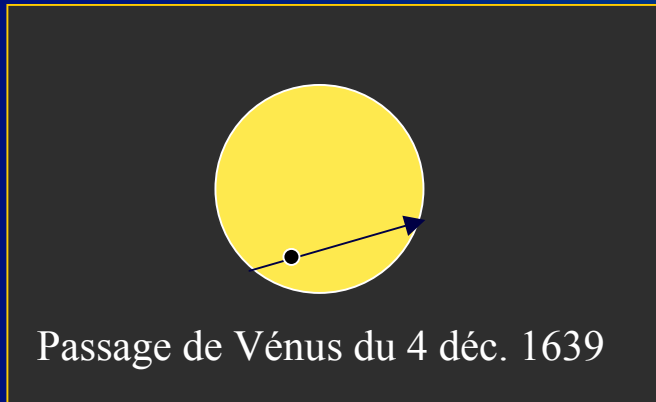
V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Né à Liverpool dans un milieu très modeste
- Education élémentaire et largement autodidacte
- En 1635 il applique les lois de Kepler au mouvement de la Lune
- Il corrige les tables planétaires de Lansberge
 - le transit de 1631 figure dans les deux tables
 - celui du 4 décembre 1639 est omis par Kepler
 - Il refait les calculs et confirme la prédiction en octobre 1639
 - Il avertit des proches et les astronomes comme il peut
- Le 5 novembre il informe son ami W. Crabtree, de Manchester.
- Horrocks a en charge en 1639 une église à Hoole
- Il disparaît brutalement le 3 janvier 1641 à 22 ans.

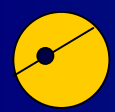


Observation de J. Horrocks et W. Crabtree



	heure locale	Soleil
2e contact	15h15	+ 4°
3e contact	21h30	- 47°
Coucher du soleil	15h50	

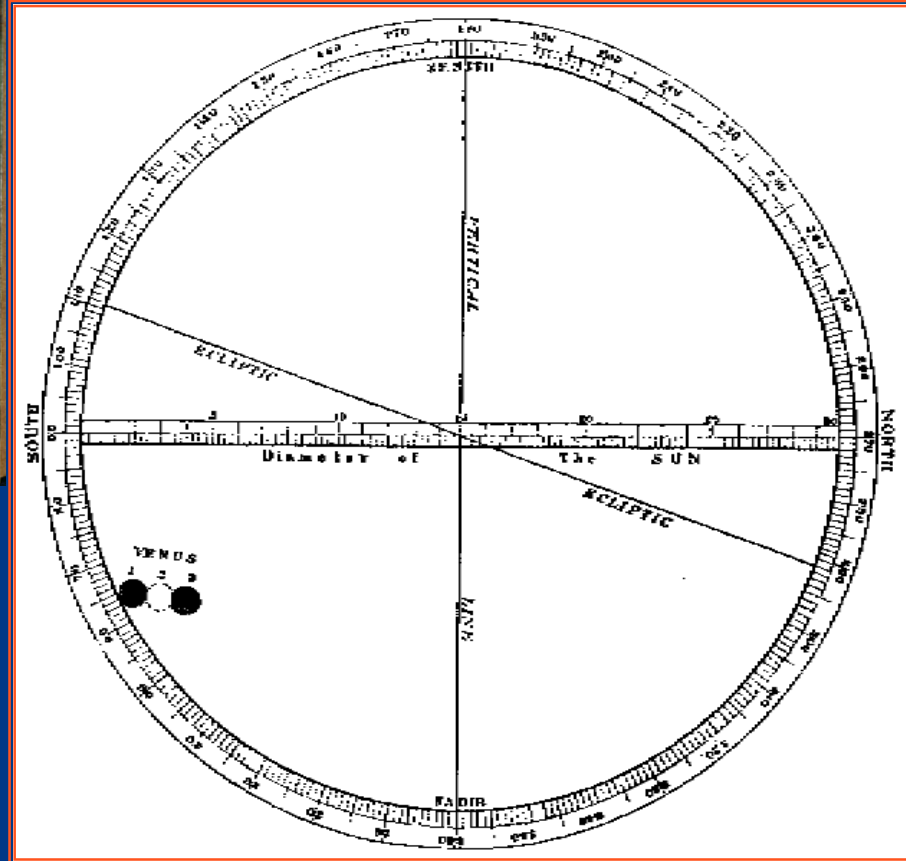
- Première observation d'un passage de Vénus
- Utilisation d'une chambre noire avec une lunette
- Observations le samedi 3 → rien de visible
- Le dimanche 4 il observe dès le matin, par temps couvert
- Il est occupé ensuite, apparemment par des activités liturgiques
- A 3h15 il reprend les observations et le ciel se dégage



Les Observations (*Venus in Sole Visa*)

- Il effectue trois mesures à la hâte avant le coucher du Soleil

V
é
n
u
s



2
0
0
4

t	distance (")
3h15	864
3h35	810
3h45	780
3h50	Coucher

Diamètre de Vénus: 1' 16"

Observations de Crabtree

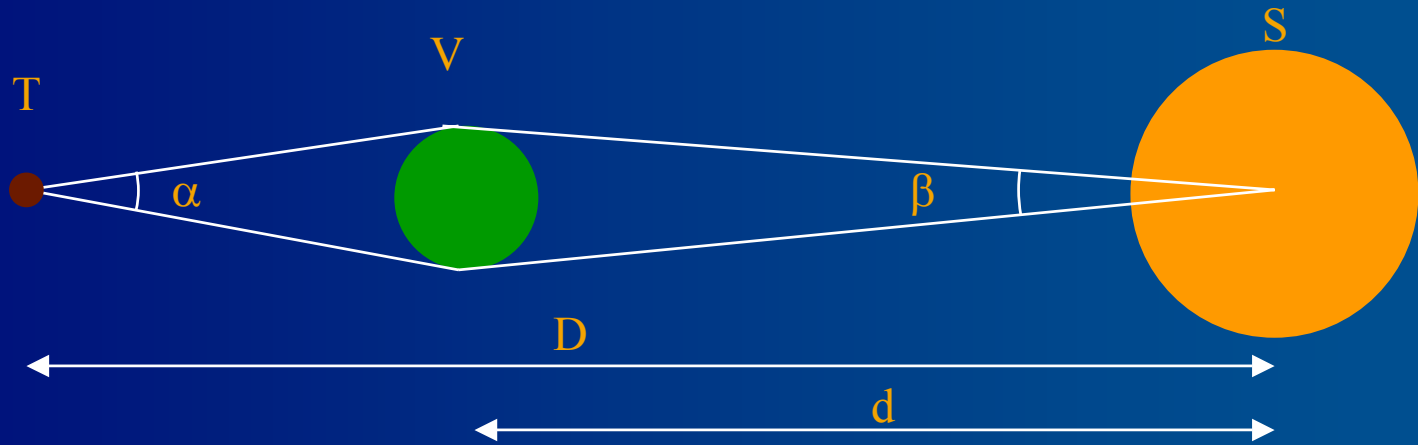
- Observations faites à Manchester
- Nuageux jusqu'à 3h35 → 10 mn d'observation possibles !
- Stupéfait devant le spectacle, il ne fit aucune mesure



Tableau de F. M. Brown, visible à l'Hôtel de Ville de Manchester

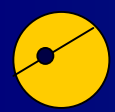
Horrocks et la parallaxe solaire

- Avec une seule observation il estime la parallaxe solaire !



- Mesure : α ($1'16''$)
- Calcul : $\beta = \alpha (D-d)/d = \alpha (D/d-1) = 29''$ (D/d connu)
- De l'observation de Mercure par Gassendi il trouve également $\beta_{\text{mercure}} = 28''$
- Hypothèse : toutes les planètes ont même diamètre apparent vues du Soleil
- Donc pour la Terre $b = 28'' \rightarrow \pi = 14''$

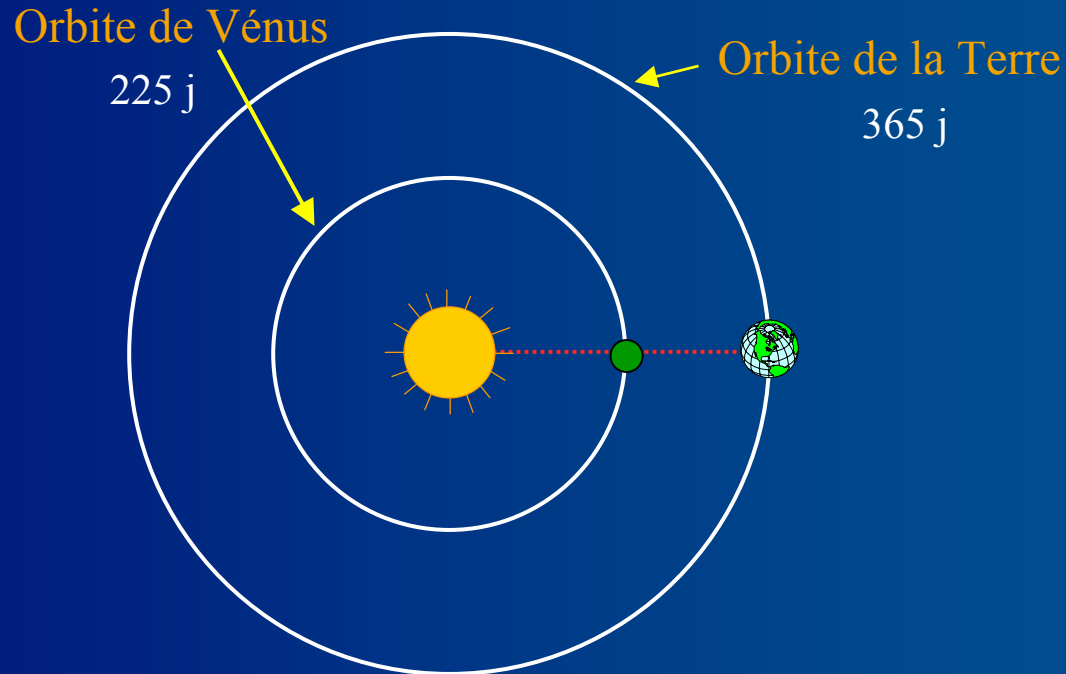
Résultat tout à fait correct, mais sans grande valeur astronomique



Circonstances et visibilité des passages



Retour des alignements



Retour de l'alignement ?

Problème des cyclistes sur une piste :

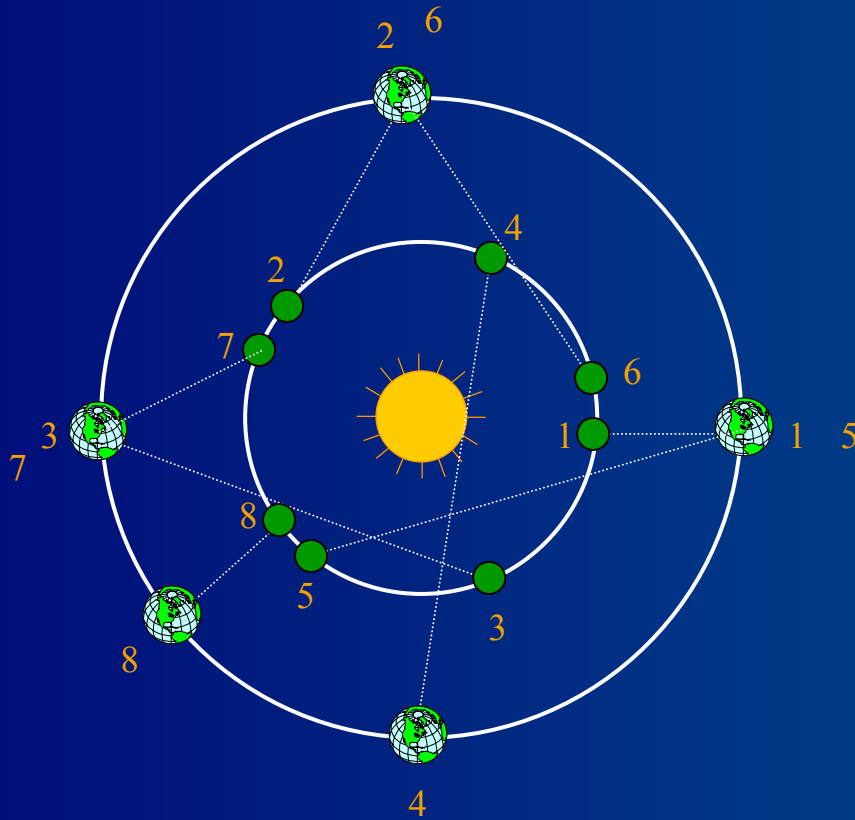
Les planètes se rattrapent tous les 584 jours

Mais il n'y a pas de passage de Vénus tous les 584 jours ????

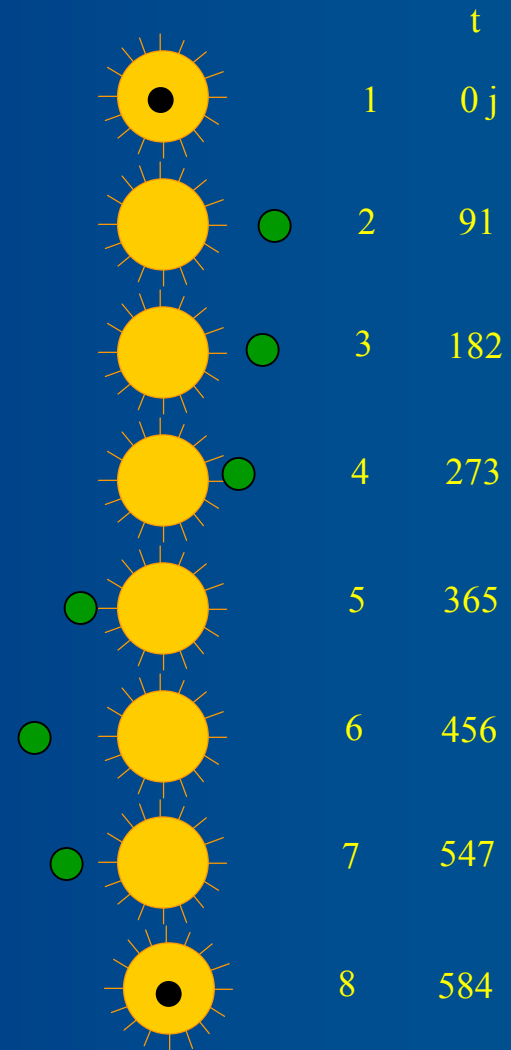
Mouvement de Vénus

V
é
n
u
s

2
0
0
4



Terre	365.25 j
Vénus	224.70 j
P. Synodique	583.92 j



Une petite complication

V
é
n
u
s

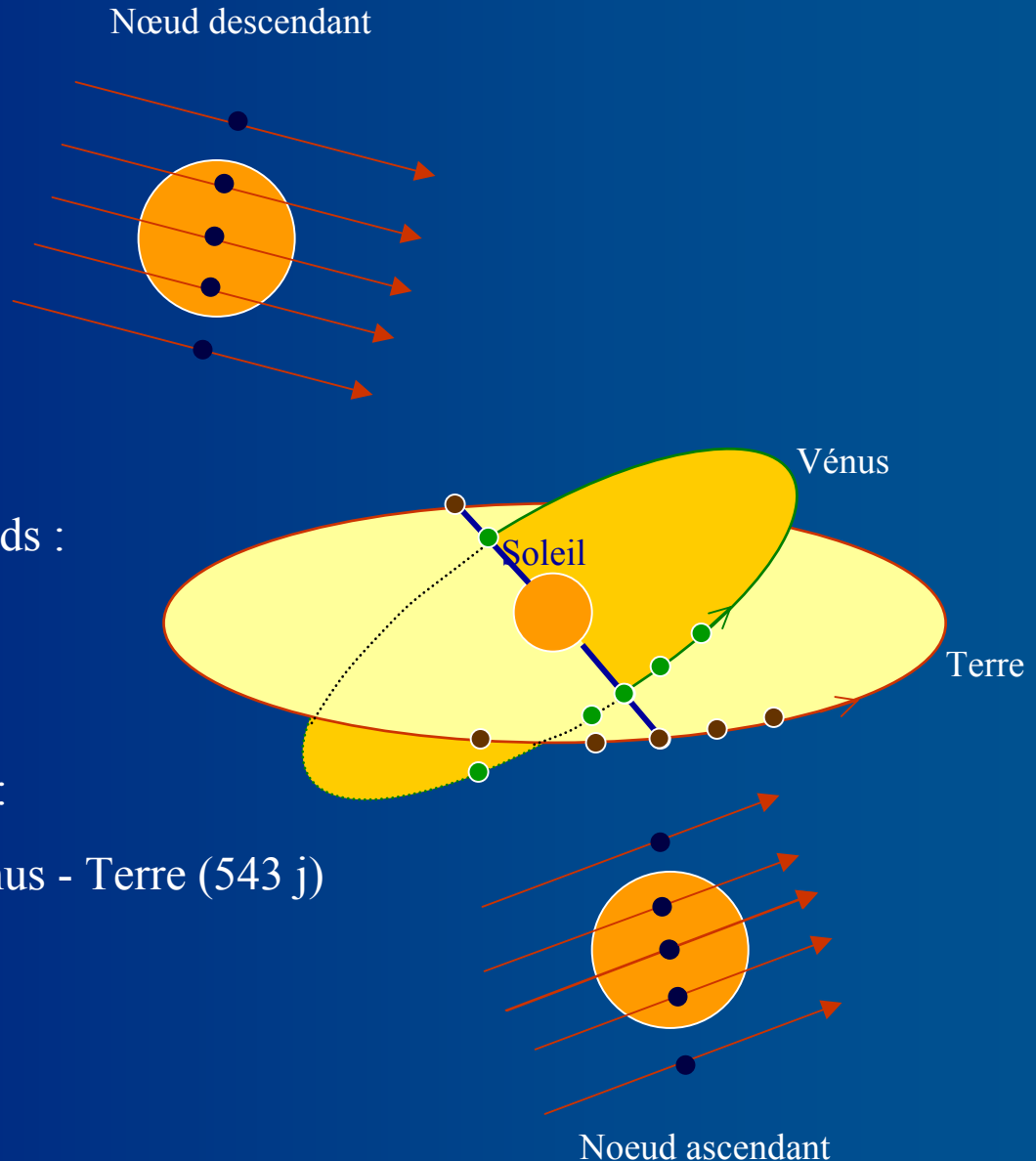
2

0

0

4

- Inclinaison de l'orbite = 3.4°
- Passage de la Terre aux nœuds :
 - 7 décembre
 - 5 juin
- Conditions pour un passage :
 - alignement Soleil - Vénus - Terre (543 j)
 - au voisinage du noeud
- Combinaison très rare



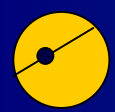
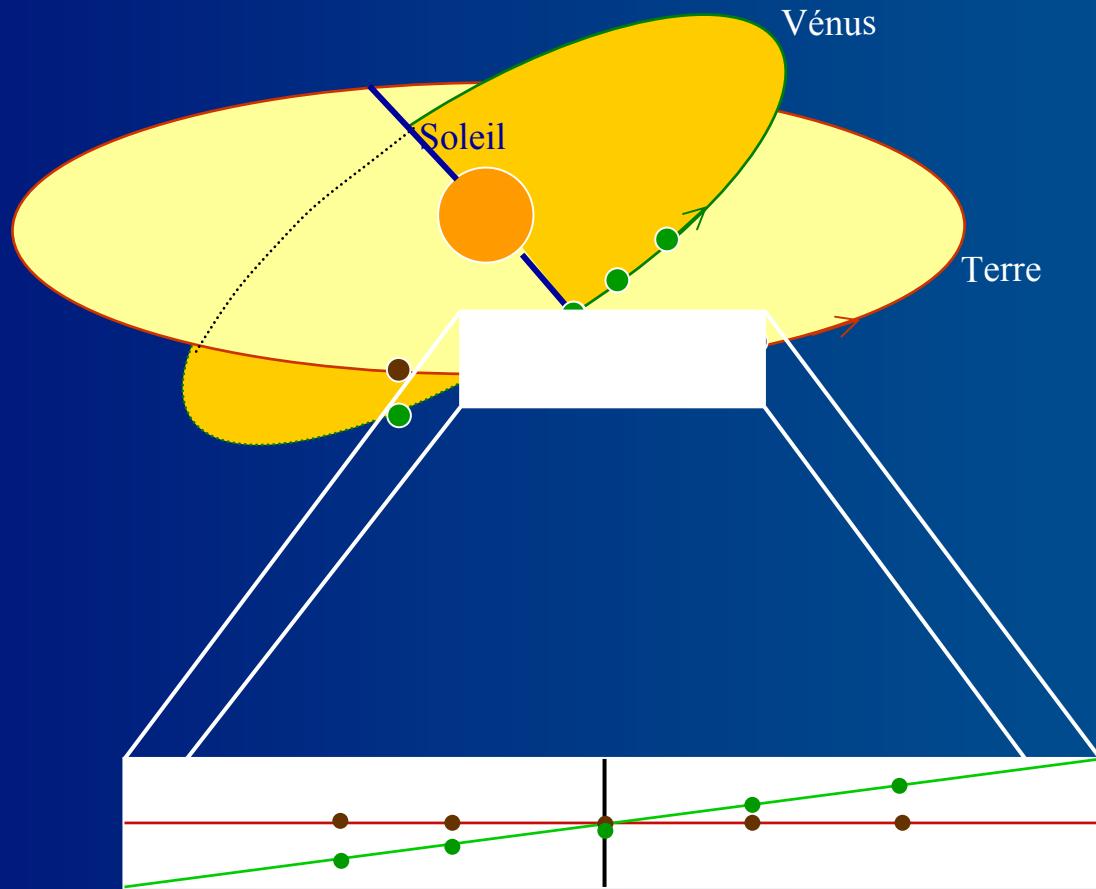


Schéma sur un plan

V
é
n
u
s

2
0
0
4



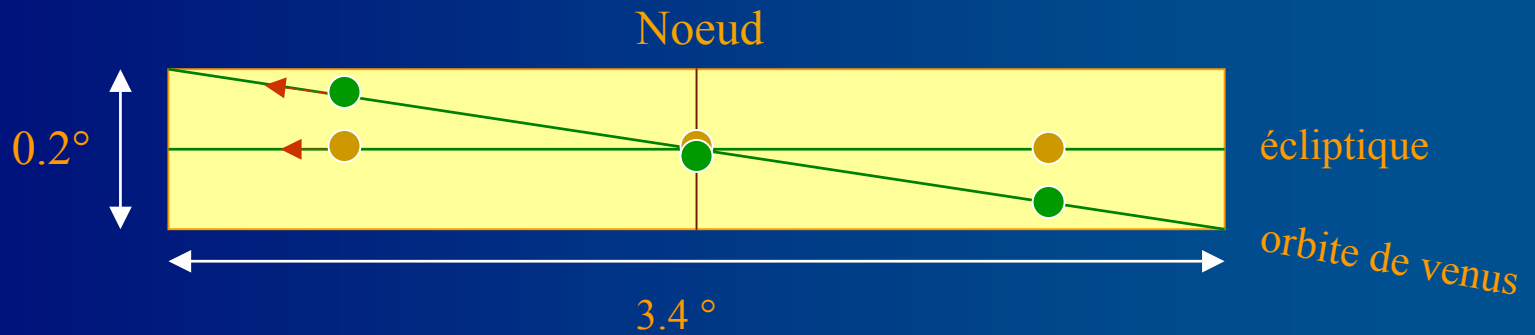


Relation conjonctions - passages

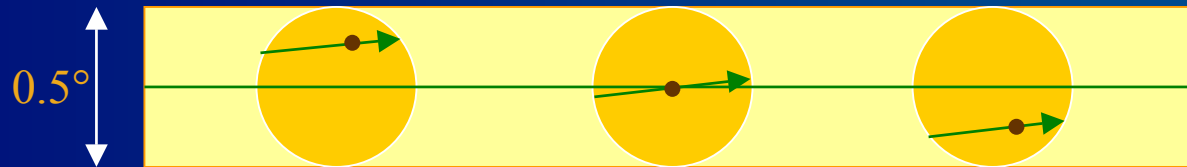
V
é
n
u
s

2
0
0
4

Conjonctions vues du Soleil



Passages vus de la Terre



Description d'un passage

- Un passage de Vénus dure de 5 à 8h
- Un passage de Mercure dure de 3 à 8 h

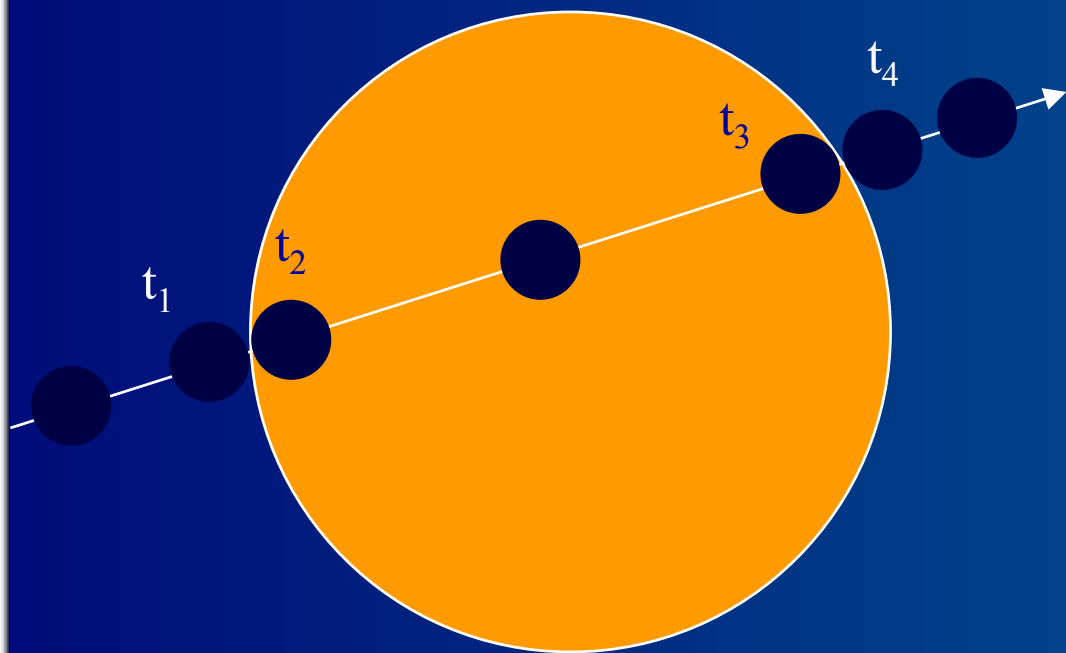
t_1 : 1^e contact
 t_2 : 2^e contact
 t_3 : 3^e contact
 t_4 : 4^e contact

t_1, t_4 : contacts extérieurs

t_2, t_3 : contacts intérieurs

$t_1 - t_2$: entrée de la planète

$t_3 - t_4$: sortie de la planète



Les contacts extérieurs ne sont pas observables

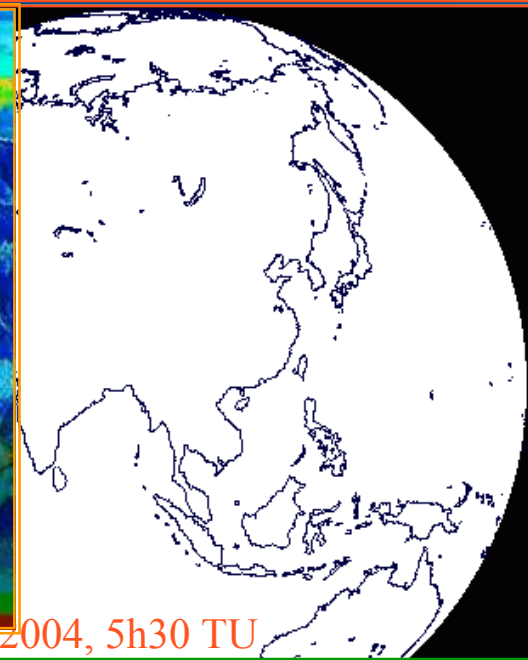
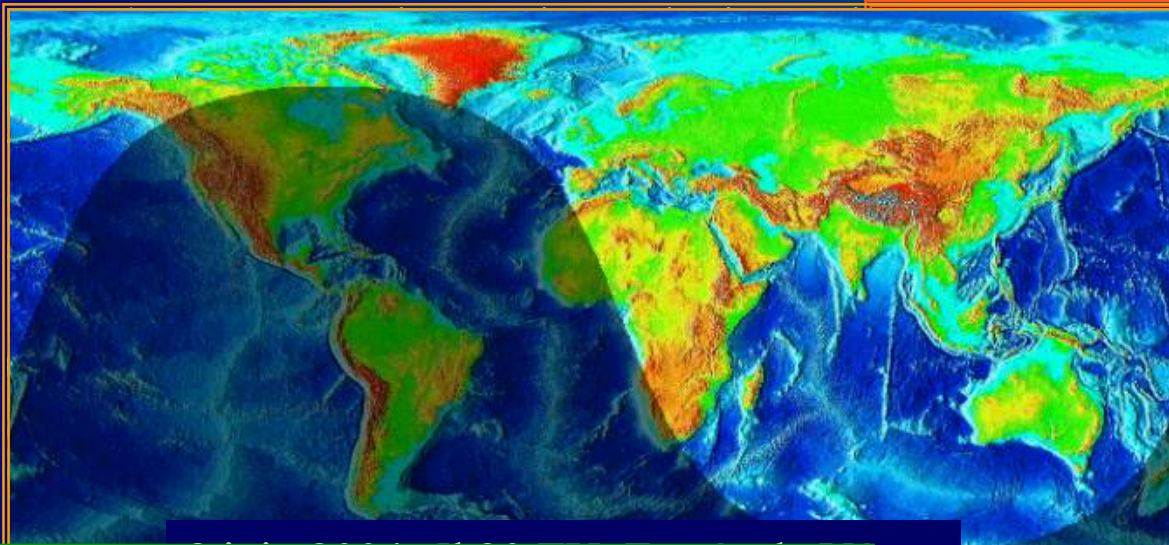
V
é
n
u
s

2
0
0
4

Carte de visibilité

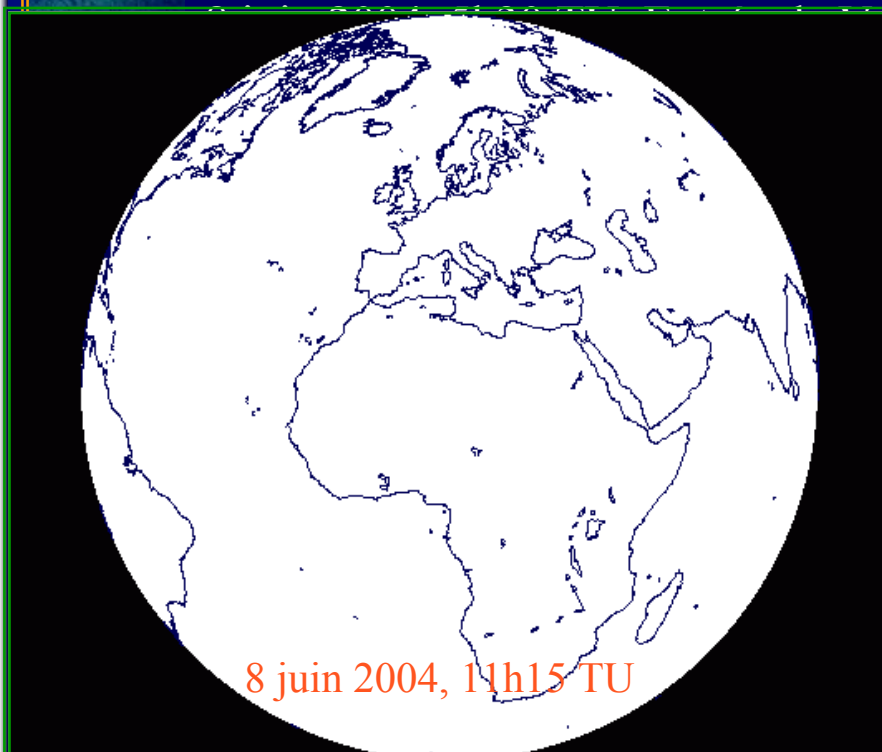
V
é
n
u
s

2
0
0
4



nus

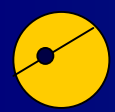
8 juin 2004, 5h30 TU



8 juin 2004, 11h15 TU



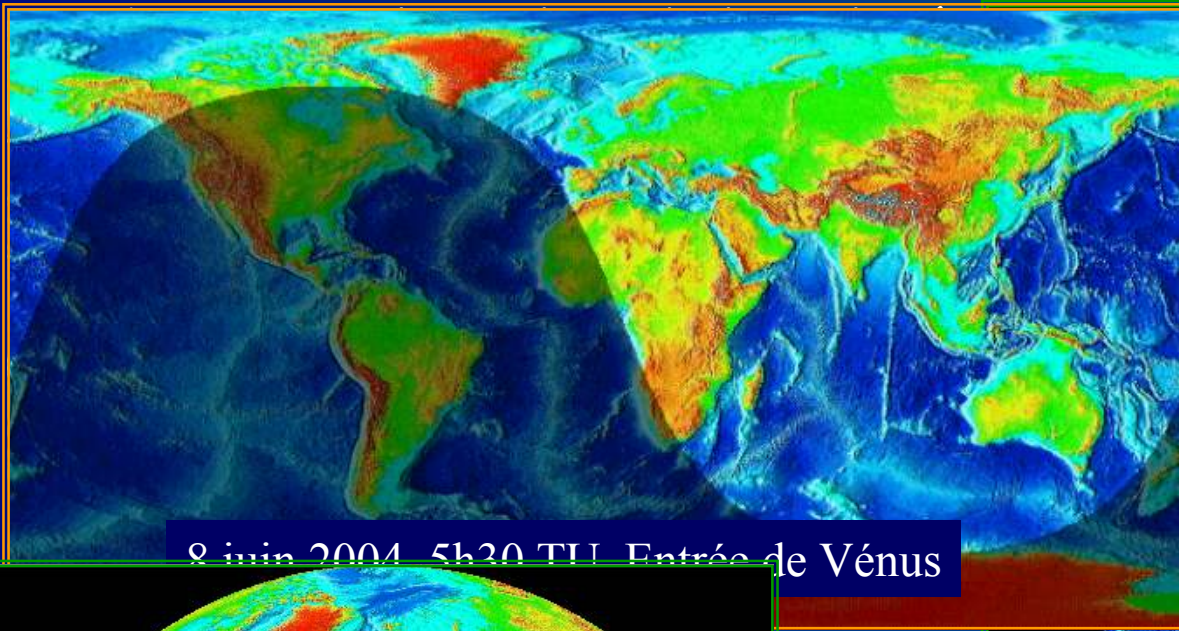
2004, 11h15 TU, Sortie de Vénus



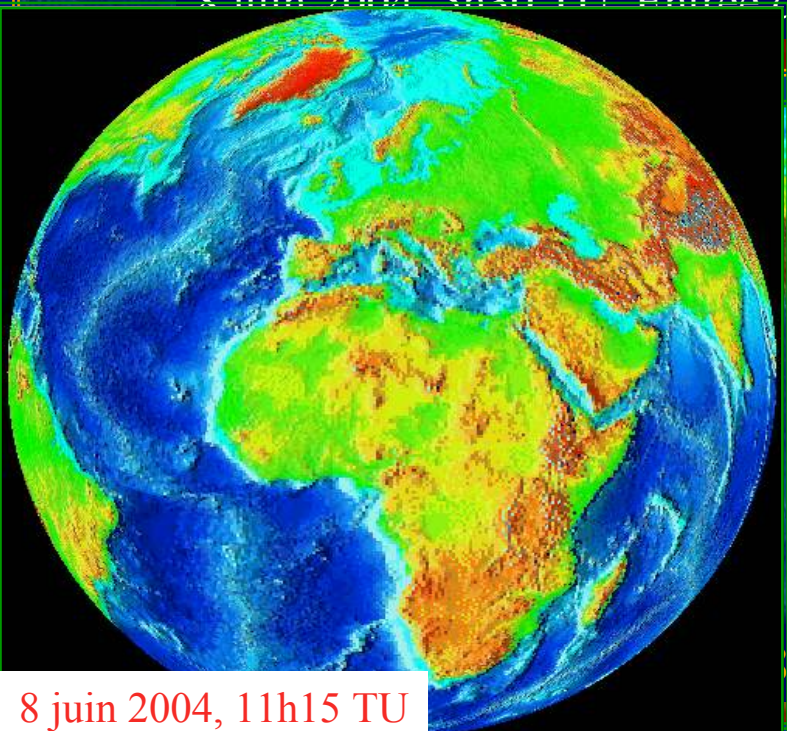
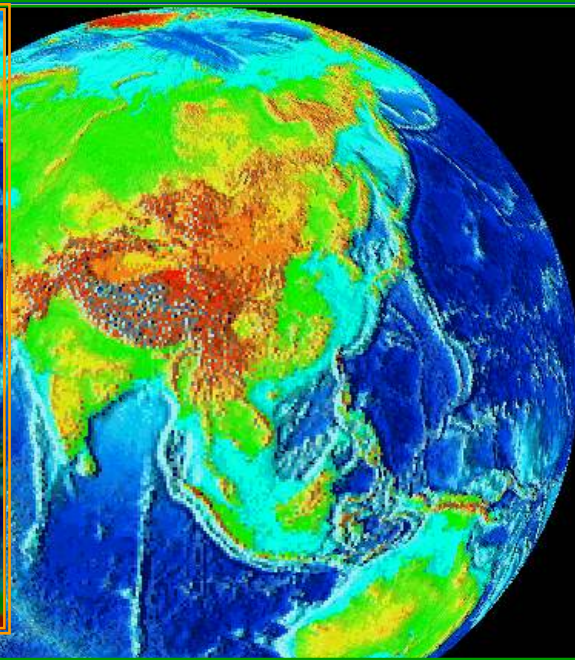
Carte de visibilité

V
é
n
u
s

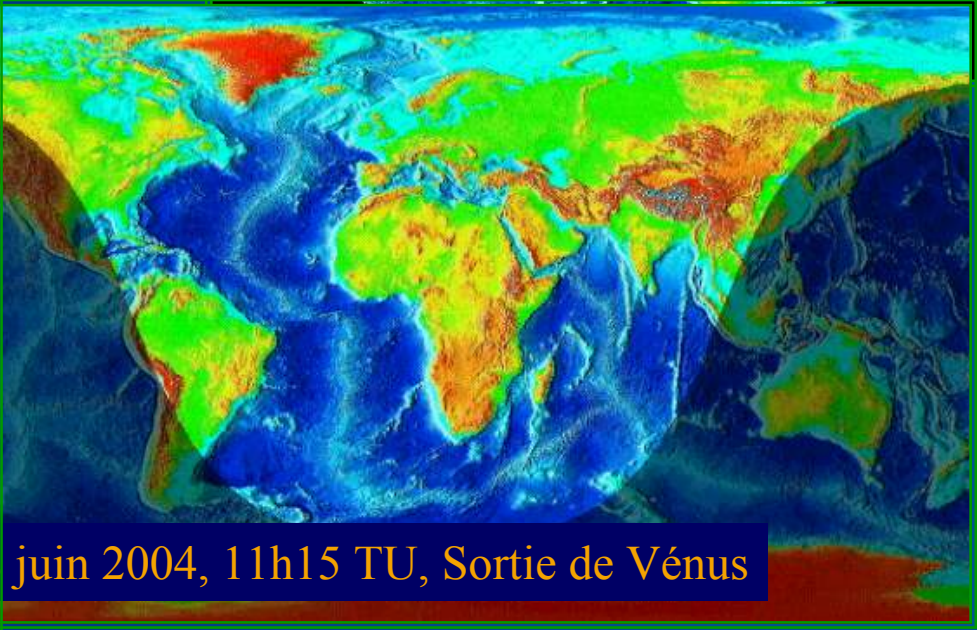
2
0
0
4



8 juin 2004, 5h30 TU, Entrée de Vénus



8 juin 2004, 11h15 TU

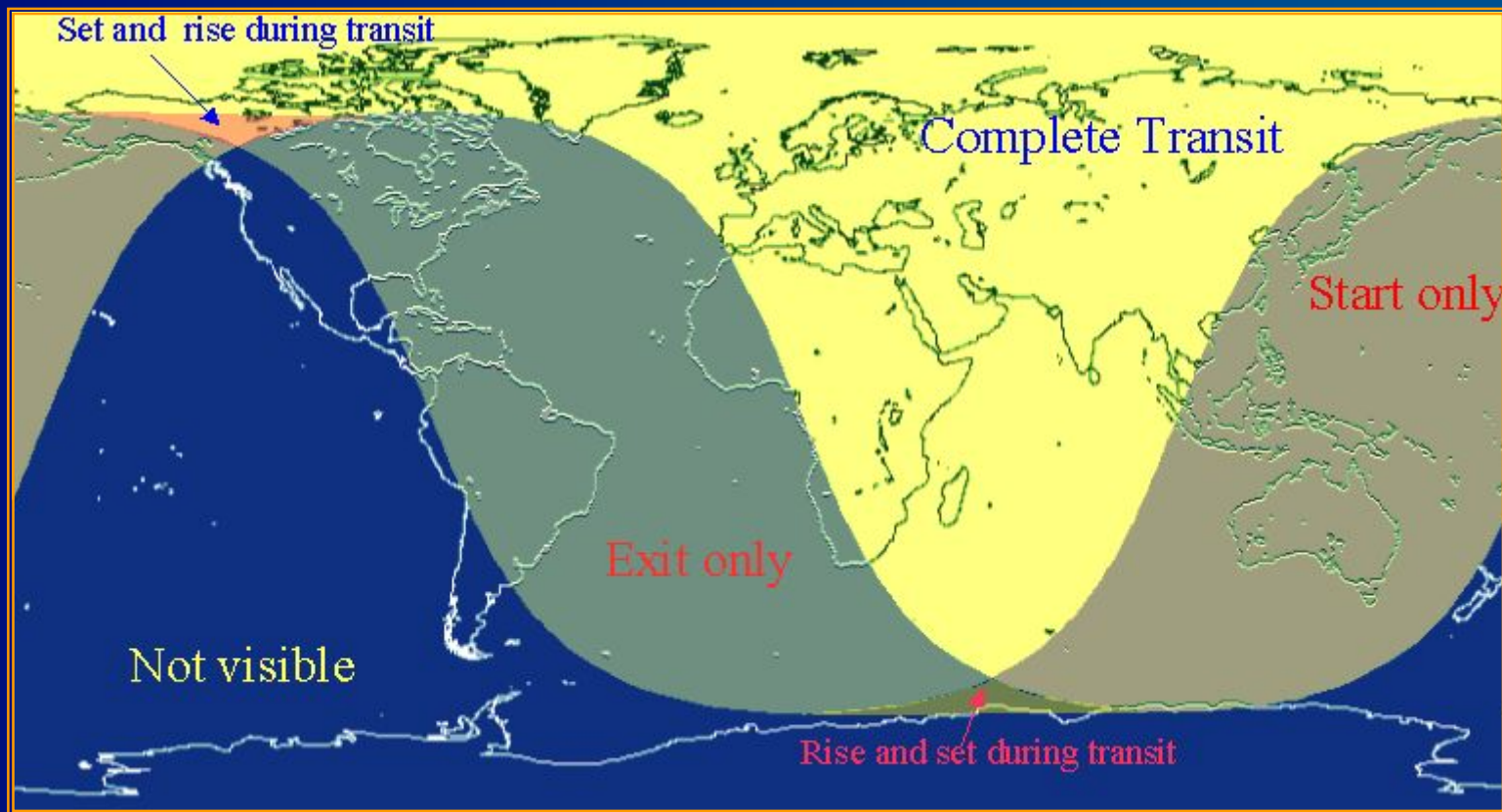


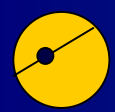
juin 2004, 11h15 TU, Sortie de Vénus

Carte pour le passage de Vénus de 2004

V
é
n
u
s

2
0
0
4



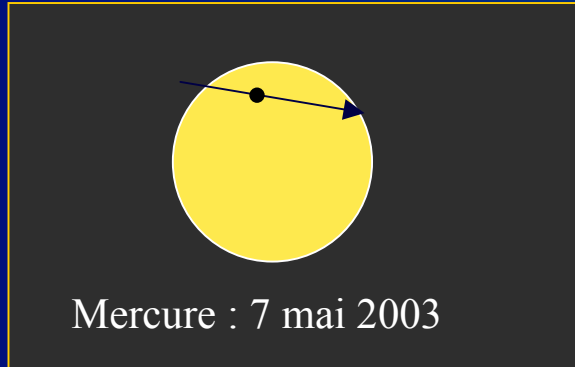


Les passages de 2003 et 2004

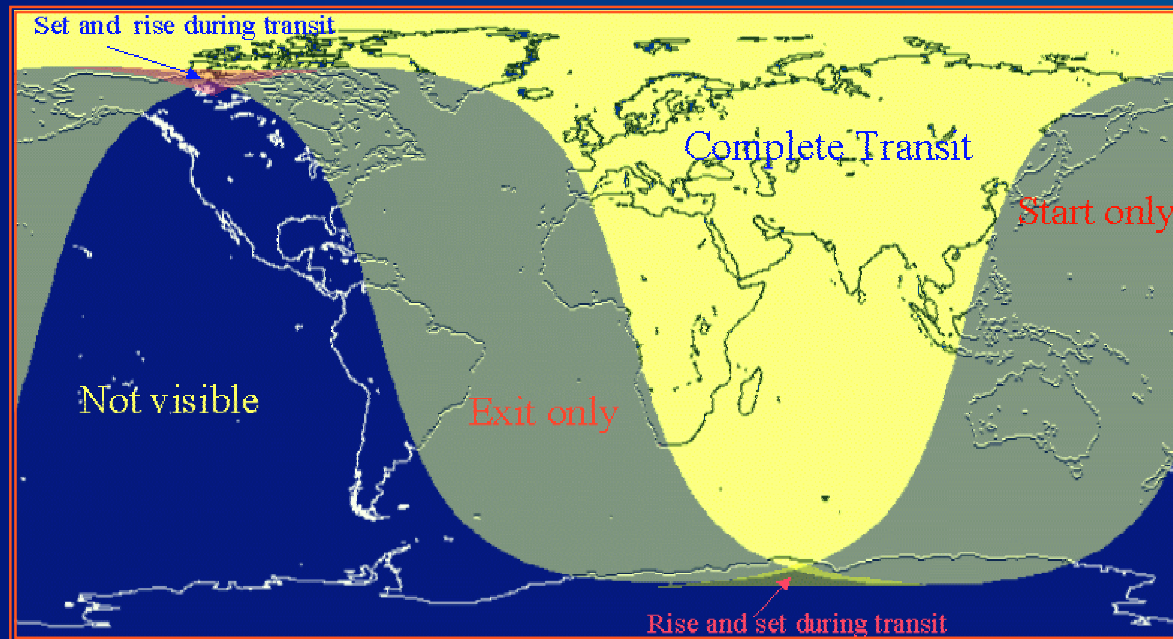


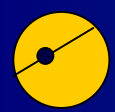
Mercure : 7 mai 2003

- Passage totalement visible en France
 - précédent : 1973
 - suivant : 2016



	NICE	
	heure	Soleil
1e contact	7h11	+ 8°
2e contact	7h16	+ 9°
3e contact	12h28	+60°
4e contact	12h32	+60°



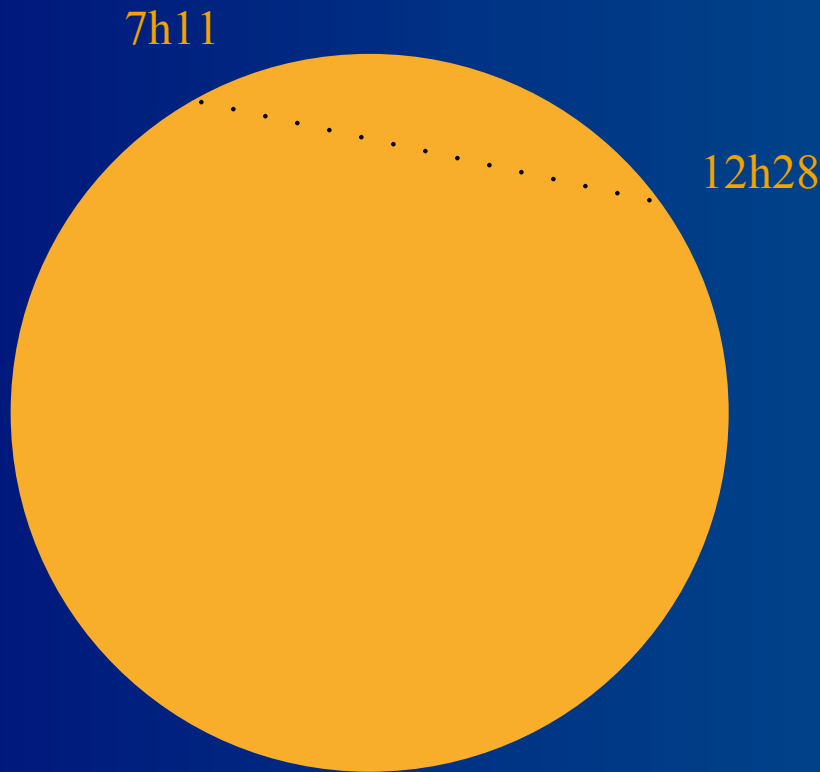


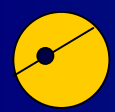
Simulation à l'échelle (Nice)

V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Diamètre du Soleil 1902 "
- Diamètre de Mercure 12 "
- Plus petite distance au centre 708 "

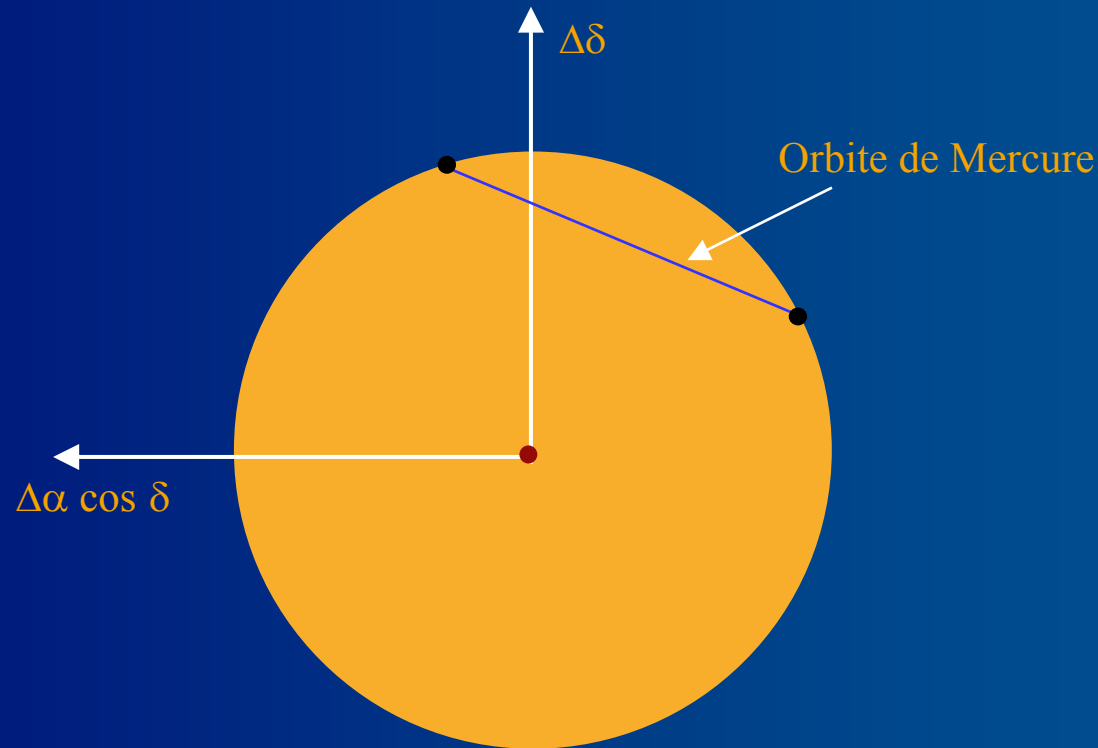




Géométrie du passage de 2003

Coordonnées équatoriales

Les axes sont fixes par rapport à l'orbite



V
é
n
u
s

2
0
0
4

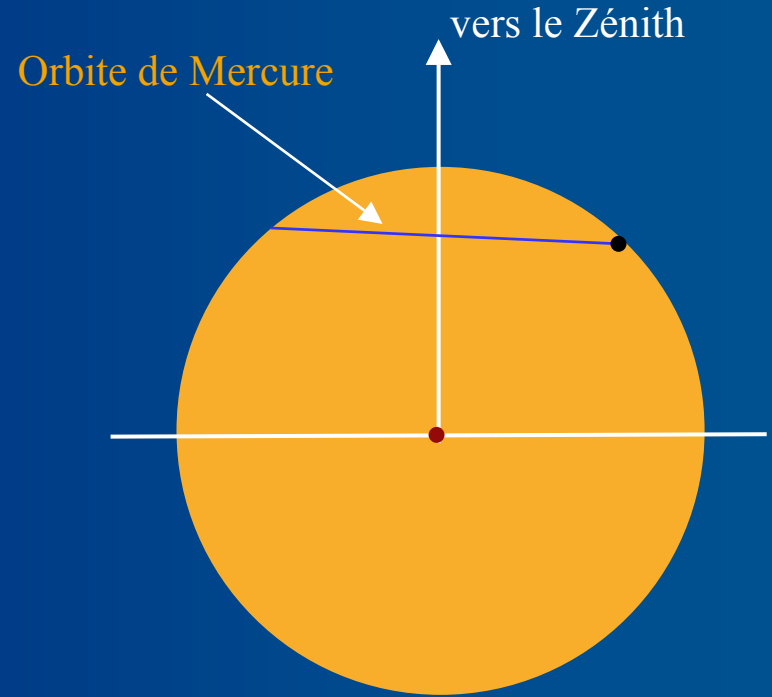
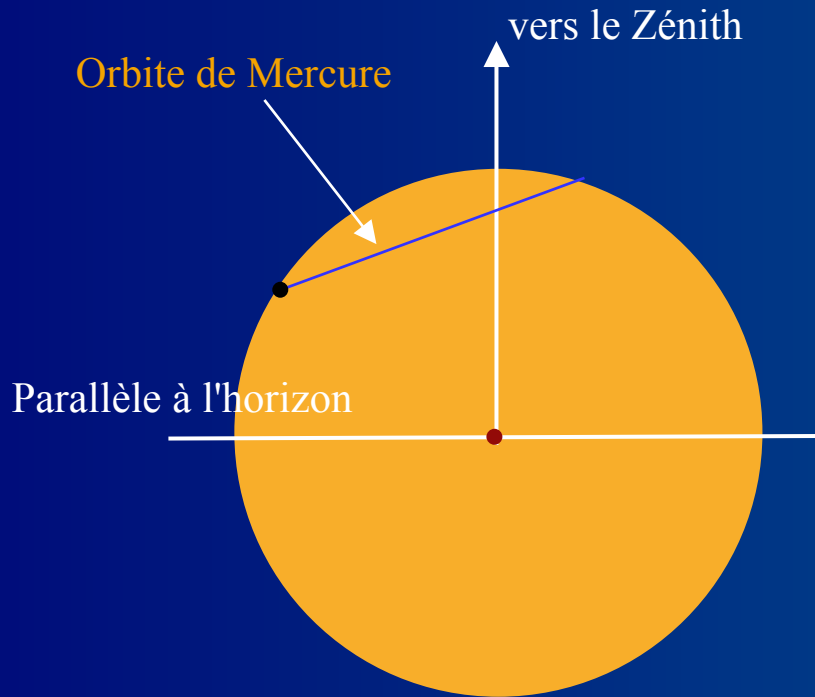
Géométrie du passage de 2003 (Nice)

Coordonnées horizontales

Les axes tournent par rapport à l'orbite

Entrée

Sortie

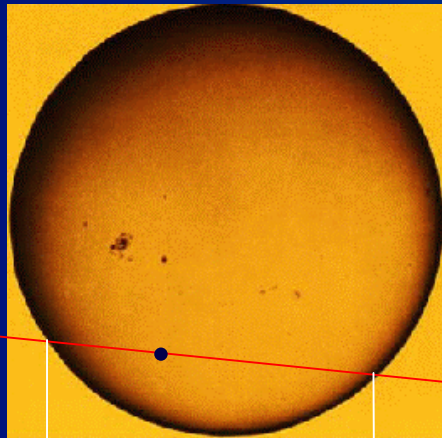


V
é
n
u
s

2
0
0
4

Vénus : 8 juin 2004

- Totalement visible en France
 - précédent : 1283
 - suivant : 2247
 - aucun des passages historiques n'a été dans ce cas
- Partiellement visibles
 - Entrée : 1396, 1526, 1639, 1882, 2125
 - Sortie : 1761, 2012, 2255



8 juin 2004

5h20 TU

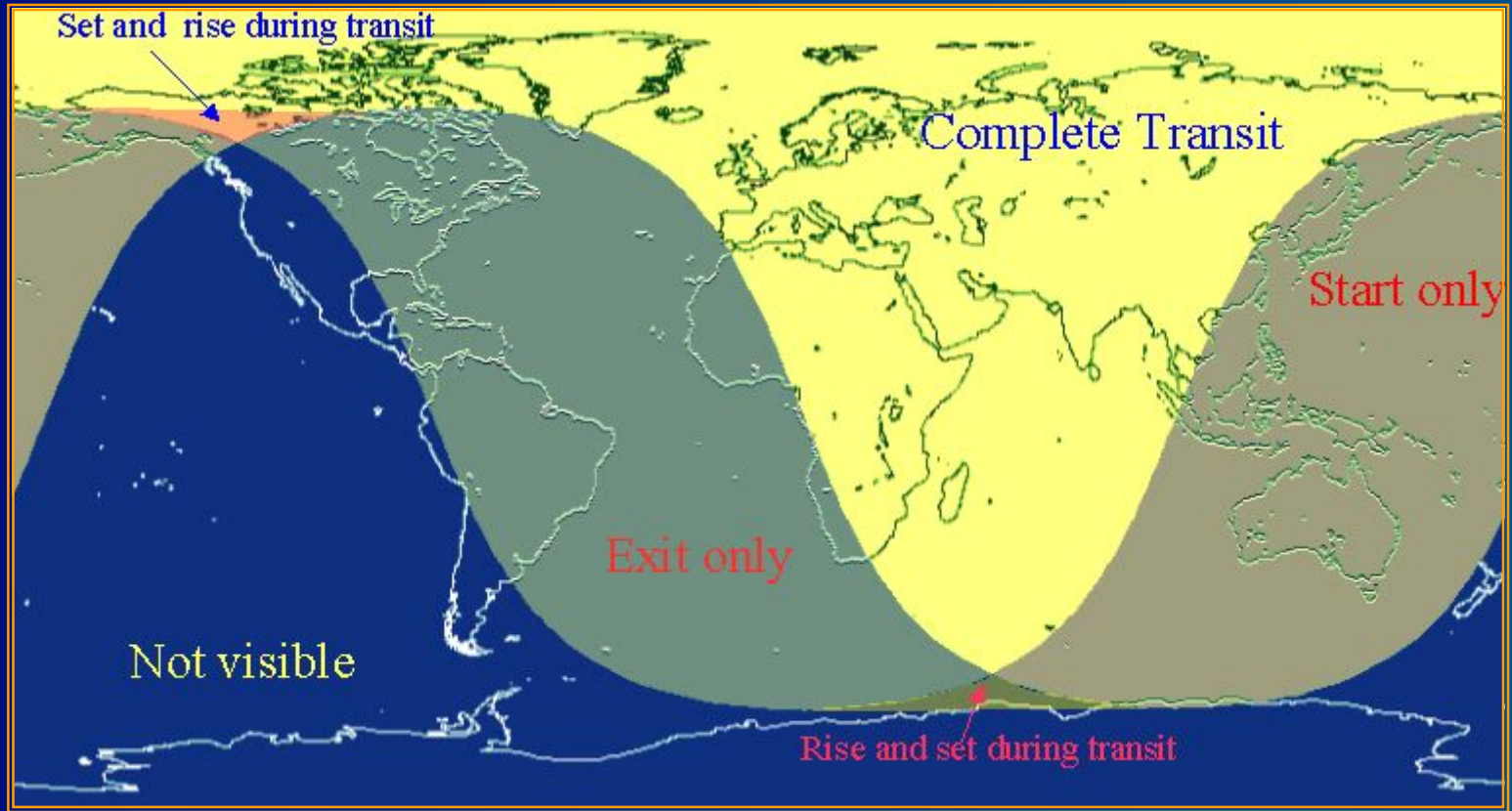
11h15TU

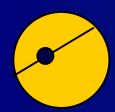
	NICE	
	heure	Soleil
1e contact	7h20	+ 14°
2e contact	7h40	+ 17°
3e contact	13h05	+ 68°
4e contact	13h24	+ 69°

Carte pour le passage de Vénus de 2004

V
é
n
u
s

2
0
0
4



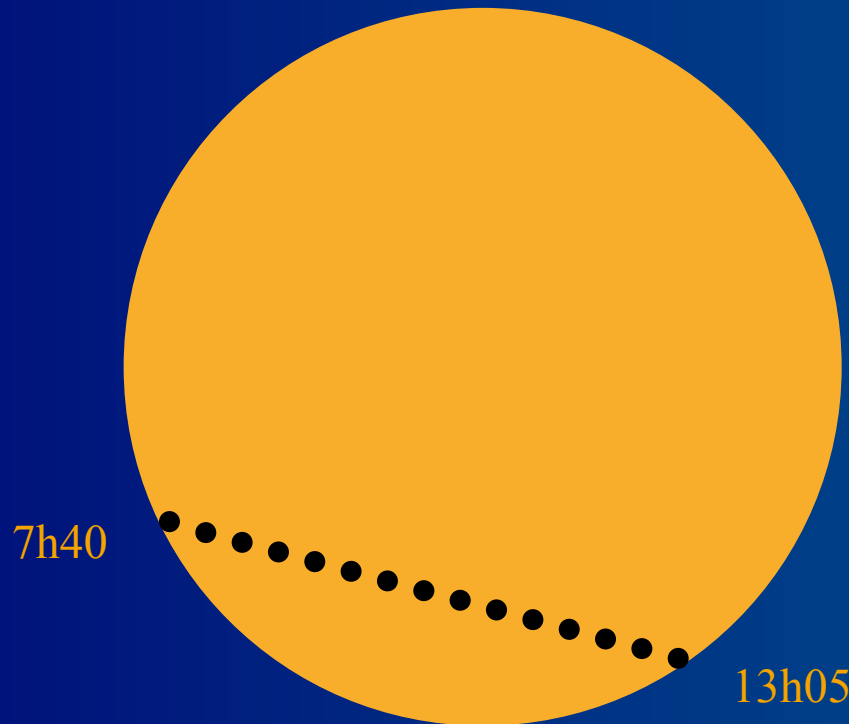


Simulation à l'échelle (Nice)

V
é
n
u
s

2
0
0
4

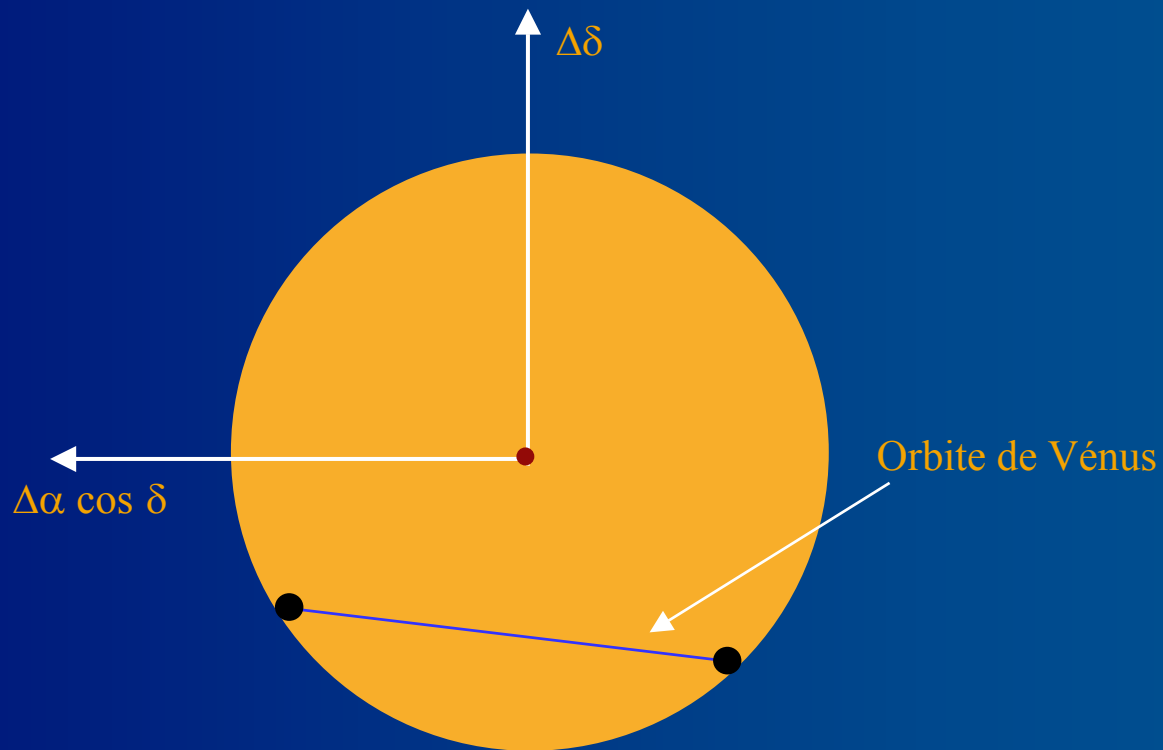
- Diamètre du Soleil 1891 "
- Diamètre de Vénus 58 "
- Plus petite distance au centre 626 "



Géométrie du passage de 2004

Coordonnées équatoriales

Les axes sont fixes par rapport à l'orbite



V
é
n
u
s

2
0
0
4

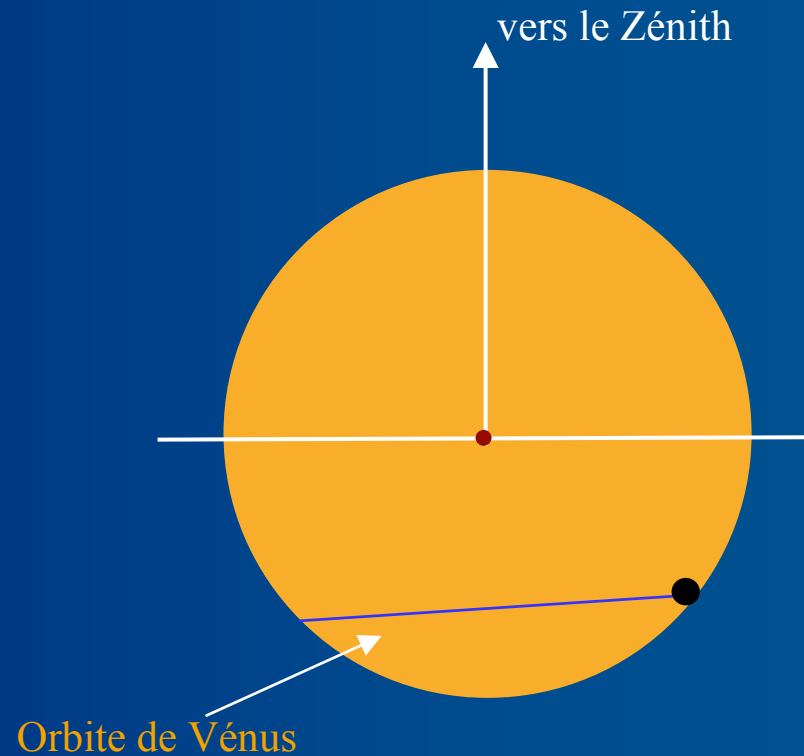
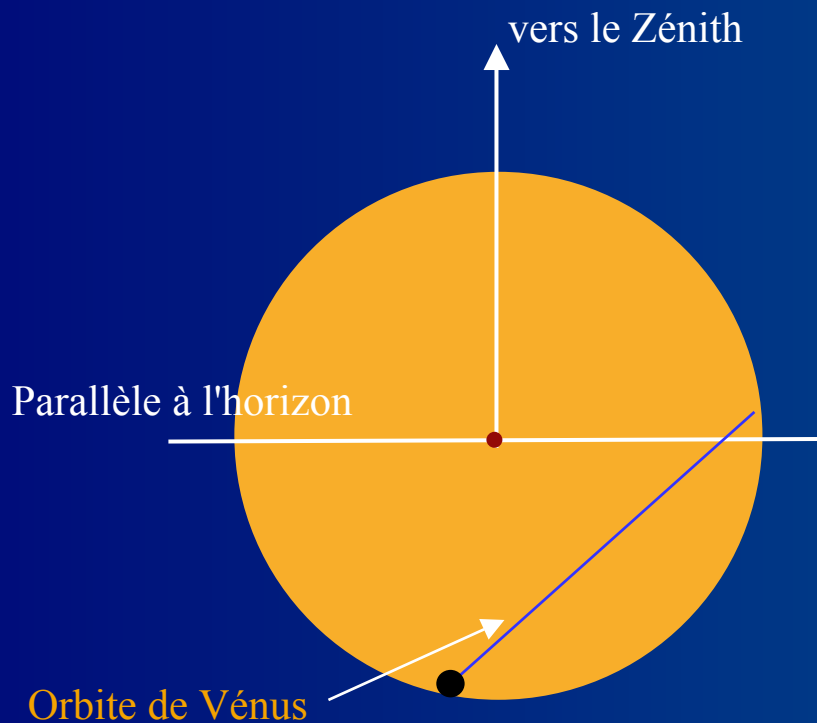
Géométrie du passage de 2004 (Nice)

Coordonnées horizontales

Les axes tournent par rapport à l'orbite

Entrée

Sortie



V
é
n
u
s

2
0
0
4



Le Solarscope

V
é
n
u
s

2
0
0
4

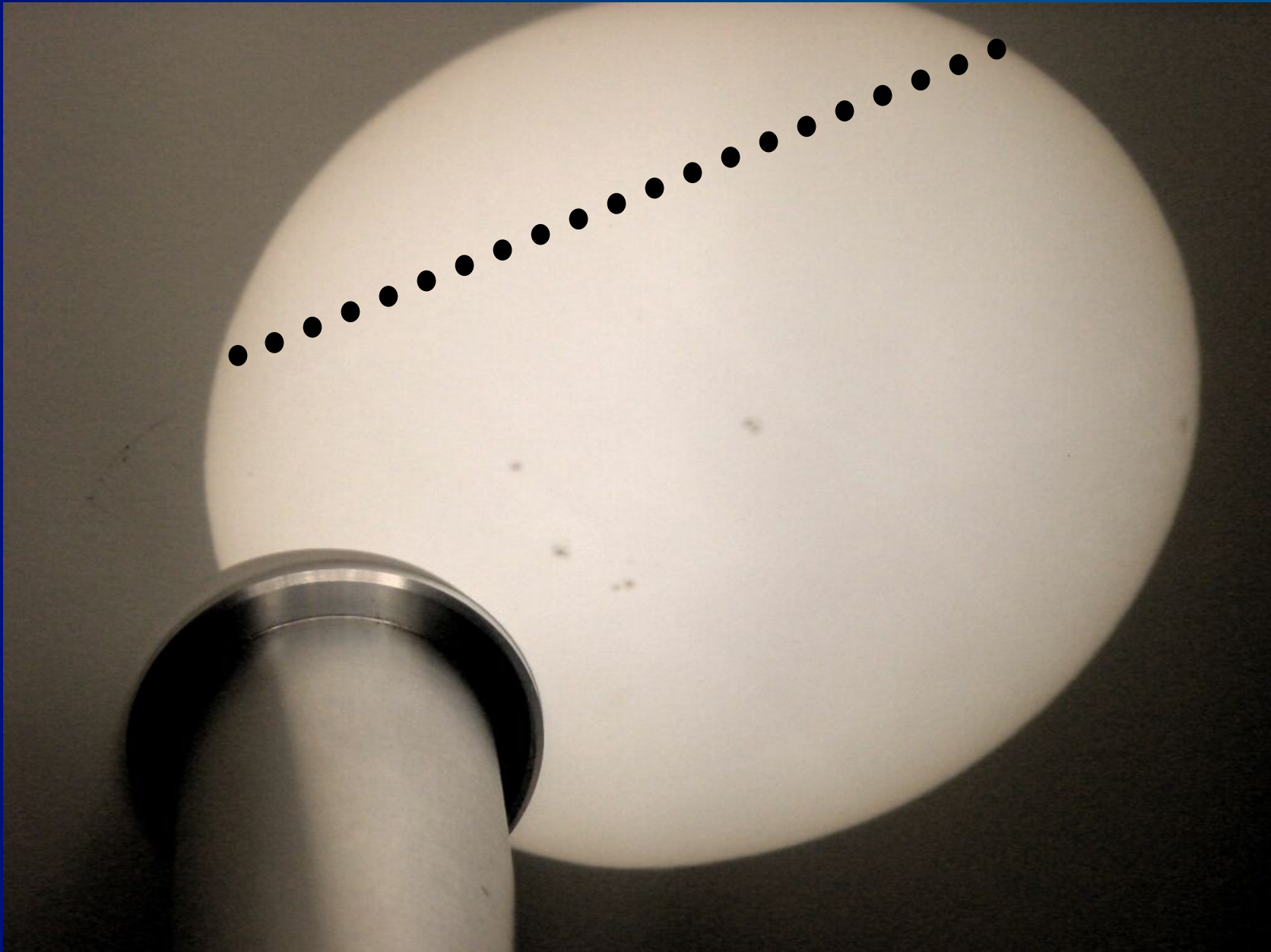




Le Solarscope

V
é
n
u
s

2
0
0
4



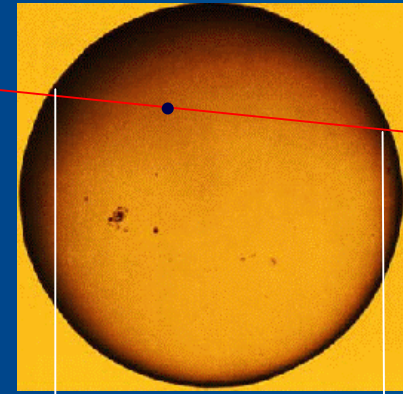


Vénus : 6 juin 2012

V
é
n
u
s

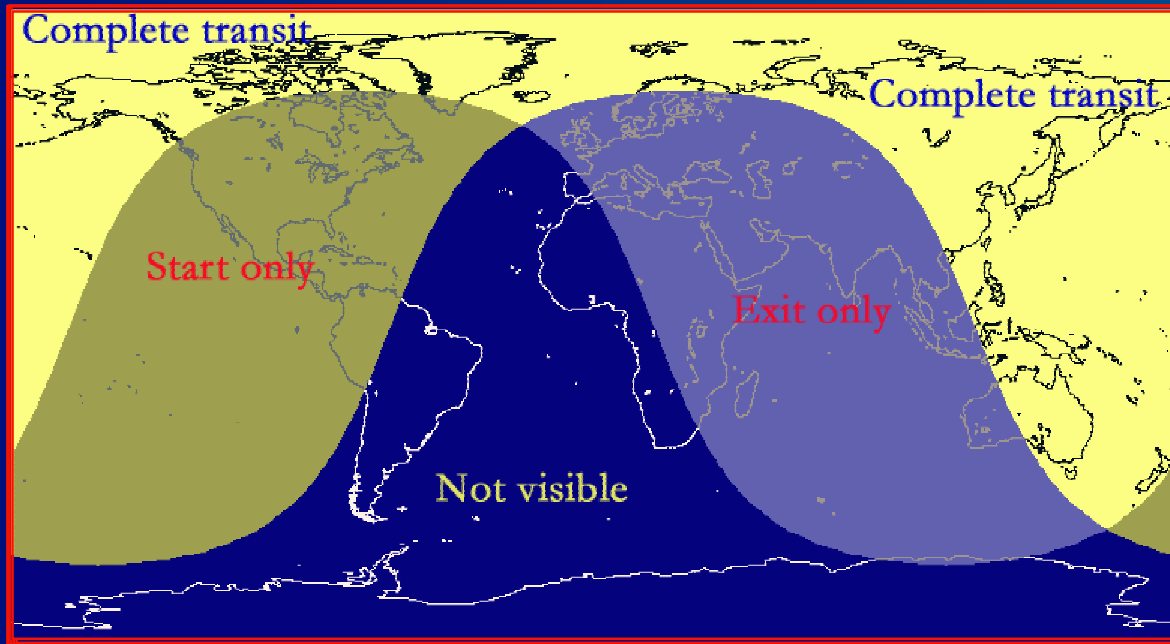
2
0
1
2

Sortie visible en France



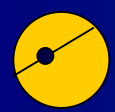
22h26 TU

4h30TU



Entrée

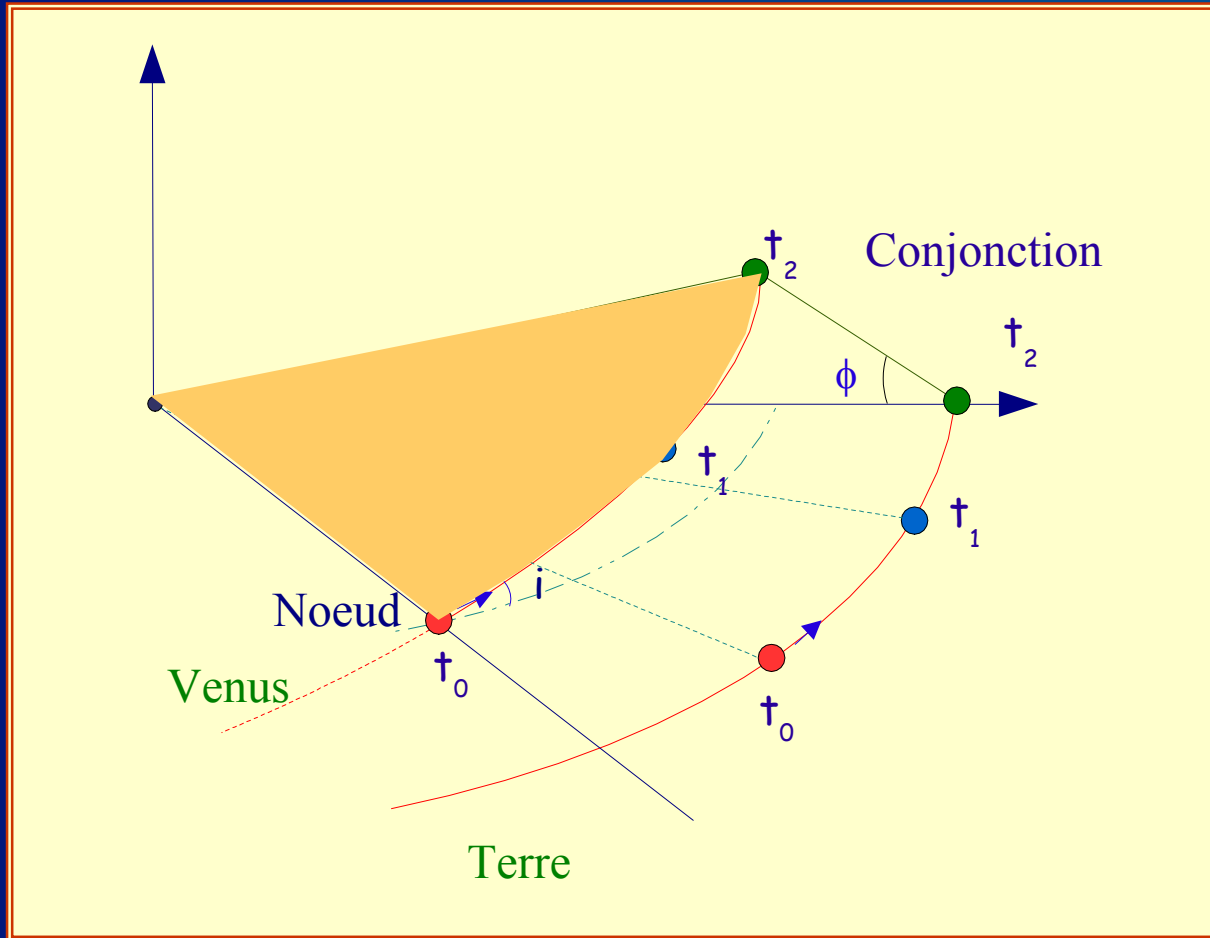
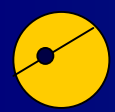
Sortie



V
é
n
u
s

2
0
0
4

Conditions des passages

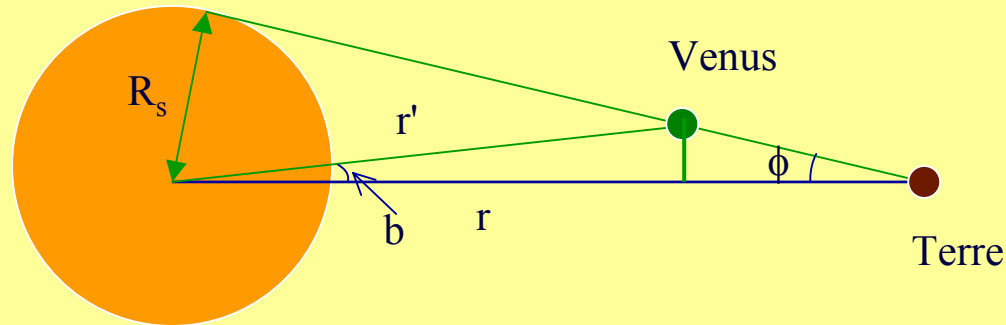


Condition de passage en latitude

V
é
n
u
s

2
0
0
4

Etude dans le plan de conjonction



- Venus sera visible sur le soleil à la conjonction :

$$r \sin \phi \leq R_s \quad \text{or} \quad \approx \phi \leq \frac{R_s}{r} = s$$

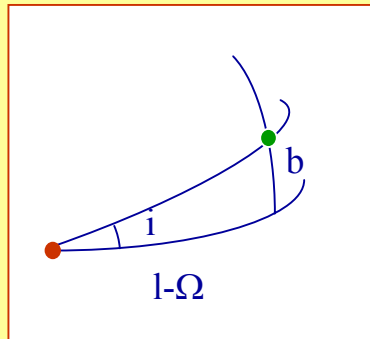
- Ce qui donne pour la latitude héliocentrique de Vénus :

$$|b_{\text{lim}}| \leq s \frac{r - r'}{r'}$$

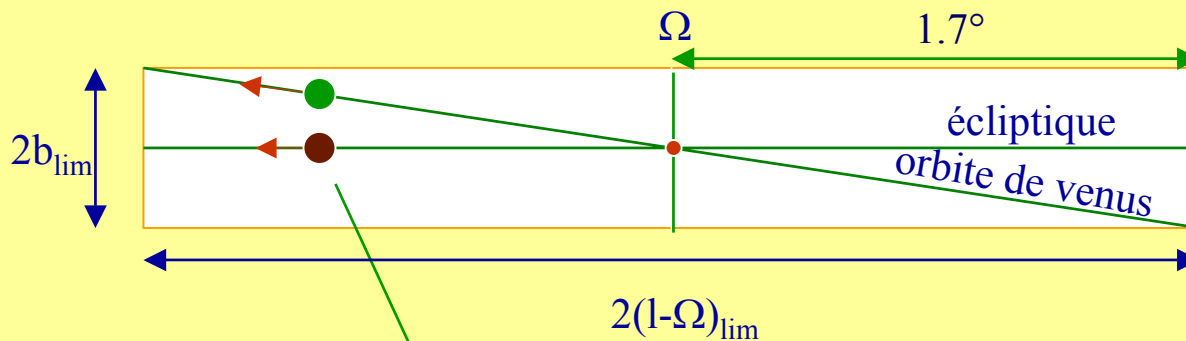
- Numériquement pour Vénus : $|b| < 0.1 \text{ deg}$

Condition en longitude

- La conjonction doit arriver au voisinage du noeud pour avoir $b < b_{\text{lim}}$:
- Avec $\tan b = \sin(l - \Omega) \cdot \tan i$ on obtient la condition en longitude



$$\longrightarrow l - \Omega = \frac{b_{\text{lim}}}{\tan i} = \frac{s}{\tan i} \frac{r - r'}{r'}$$



Conjonction vue du Soleil

Conditions de passage

V
é
n
u
s

2
0
0
4

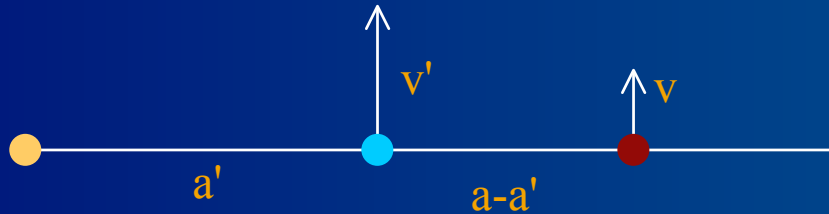
	Vénus		Mercure	
	Décembre	Juin	Novembre	Mai
Soleil-Terre (au)	0.985	1.015	0.990	1.001
Soleil-planète (au)	0.721	0.726	0.314	0.452
Vitesse Terre (°/j)	1.016	0.957	1.006	0.967
Vitesse planète (°/j)	1.615	1.590	6.076	2.939
Rayon solaire (°)	0.271	0.263	0.270	0.264
b_{\max} (°)	0.099	0.105	0.579	0.326
conjonction/nœud (°)	1.675	1.761	4.712	2.651
Terre/planète au nœud (°)	0.617	0.697	3.868	1.746
Transits/siècle	0.541	0.648	8.749	4.105

En rouge, les trois conditions équivalentes

Durée d'un passage : vitesses linéaires

- Vitesse angulaire géocentrique de Vénus / Soleil

	Terre	Venus
Periode	$T : 365.25$	$T' : 224.7$
Orbite	$a : 1 \text{ ua}$	$a' : 0.72 \text{ ua}$
Moyen mvt	$n : 1^\circ/\text{j}$	$n' : 1.61^\circ/\text{j}$
Vitesse	$v : 29.8 \text{ km/s}$	$v' : 35.1 \text{ km/s}$



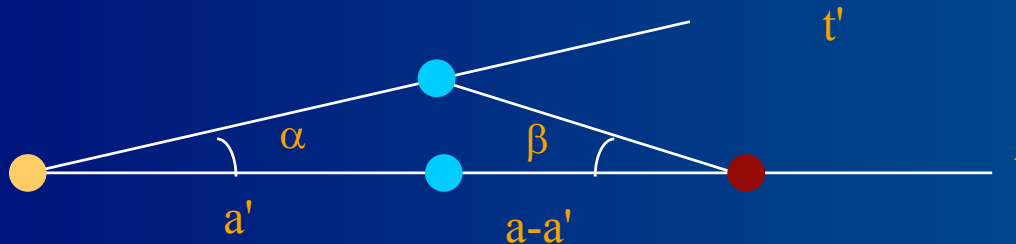
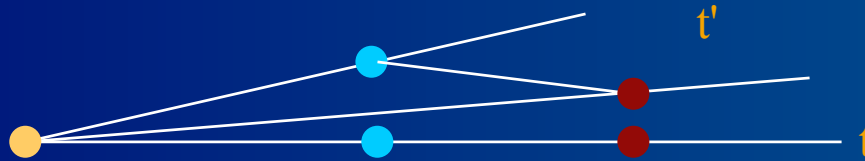
- vitesse Vénus/ Terre = $v' - v$
- distance Terre-Vénus = $a - a'$
- vitesse angulaire = $(v' - v) / (a - a') = 0.62^\circ/\text{j} \rightarrow$ vitesse angulaire/étoiles
- vitesse angulaire/soleil = $(v' - v) / (a - a') + n = 1.62^\circ/\text{j}$

$$\frac{v' - v}{a - a'} + n = \frac{n'a' - na}{a - a'} + n = \frac{a'}{a - a'}(n' - n)$$

- durée d'un transit = $0.5 / 1.62 * 24 \sim 8\text{h}$

Durée d'un passage : vitesses angulaires

- Mouvement héliocentrique pendant Δt



$$\beta = \frac{a'}{a-a'} \alpha$$

$$\alpha = (n' - n) \Delta t$$

$$\dot{\beta} = \frac{a'}{a-a'} (n' - n)$$



Répétition des passages



Régularité des passages

V
é
n
u
s

2
0
0
4

PASSAGES DE VÉNUS, etc.

461

Table des passages de Vénus sur le Soleil pour deux mille ans.

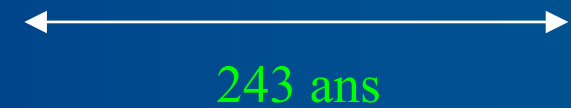
Il y en a trente-cinq, en comptant les cinq qui sont douteux.

Années.	Temps moyen de la conjonction.	Longitude géocentrique.	Milieu du passage. Temps vrai.	Demi-durée pour le centre de Vénus.	Plus courte distanc géocentrique.
Vieux style.					
909	25 nov. 21 ^h 16 ^m 56 ^s 11"	8° 9' 21 55"	20 ^h 43 ^m 4"	...	18' 14" B *
910	22 nov. 9 18 38	8 6 33 47	9 42 59	3 ^h 39 ^m 26"	6 15 A
1032	24 mai 6 44 49	2 8 37 45	6 42 20	3 51 29	3 16 A
1040	21 mai 23 15 54	2 6 29 9	23 57 8	...	16 16 B *
1145	25 nov. 20 0 6	8 11 1 30	19 28 50	...	17 7 B *
1153	23 nov. 8 1 33	8 8 32 21	8 28 22	3 31 56	7 22 A
1275	25 mai 10 21 23	2 10 57 7	10 13 28	3 42 52	5 18 A
1283	23 mai 2 53 23	2 8 48 30	3 29 16	1 41 58	14 14 B
1388	25 nov. 18 42 48	8 13 0 3	18 13 29	0 41 52	16 2 B
1396	23 nov. 6 48 22	8 10 31 12	7 17 23	3 23 40	8 24 A
1518	25 mai 13 56 10	2 13 16 22	13 42 39	3 29 28	7 21 A
1526	23 mai 6 26 1	2 11 7 35	6 57 5	2 28 57	12 16 B
Nouveau style.					
1631	6 déc. 17 28 49	8 14 58 50	17 1 43	1 35 5	14 56 B
1639	4 déc. 6 9 40	8 12 32 15	6 39 40	3 17 0	9 0 A
1761	5 juin 17 44 34	2 15 36 31	17 30 10	3 8 0	9 30 A
1769	3 juin 10 7 54	2 13 27 8	10 36 23	2 59 53	10 10 B
2004	7 juin 21 0 44				
2125	8 déc. 3 18 40	8 16 28 33	3 53 51	2 48 20	11 28 A
2247	11 juin 0 30 23	2 20 13 16	0 0 34	2 7 52	13 17 A
2255	8 juin 16 53 56	2 18 4 1	17 8 30	3 36 2	6 23 B
2360	12 déc. 13 59 9	8 20 56 9	13 38 52	2 42 47	11 49 B
2368	10 déc. 2 10 2	8 18 27 48	2 47 26	2 29 22	12 37 A
2490	12 juin 3 58 35	2 22 31 58	3 23 19	1 2 14	15 14 A *
2498	9 juin 20 21 2	2 20 22 37	20 30 19	3 46 24	4 29 B
2603	15 déc. 12 54 16	8 22 55 36	12 35 15	2 56 47	10 50 B
2611	13 déc. 1 11 12	8 20 27 38	1 49 51	2 15 20	13 20 A
2733	15 juin 7 23 56	2 24 50 30	6 43 13	...	17 9 B *
2741	12 juin 23 43 59	2 22 40 58	23 47 59	3 53 23	2 35 B
2846	16 déc. 11 53 15	8 24 55 22	11 35 55	3 7 24	9 55 B
2854	14 déc. 0 13 29	8 22 27 45	0 53 41	1 54 10	14 12 A
2984	14 juin 3 2 22	2 24 59 1	3 1 13	3 56 9	0 45 B

- Calculs de Lalande en 1790
- Prédiction basée sur les périodes de retour

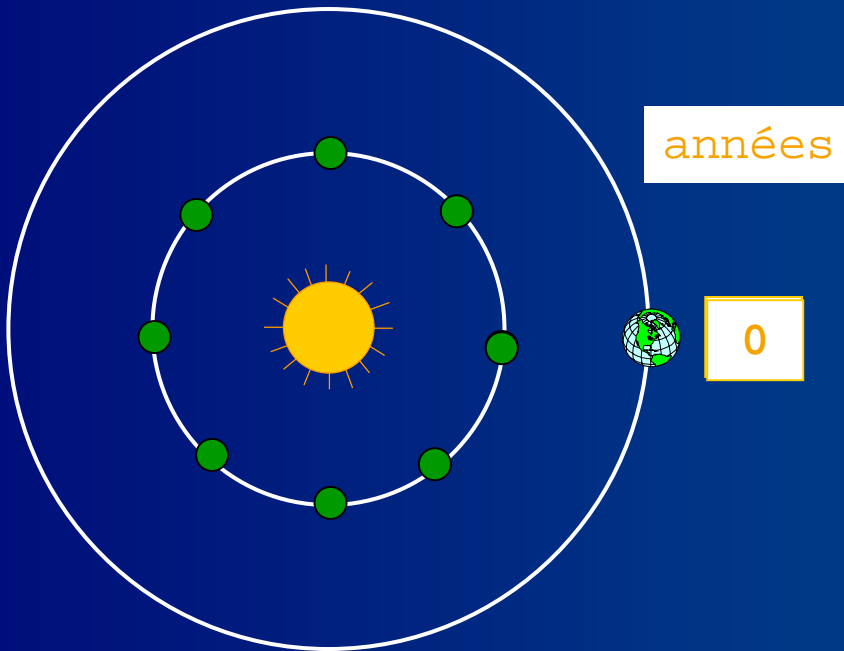
Intervalles en années

8 121.5 8 105.5



Pour Mercure : 13, 46, 217 ans

Suite de Conjonctions



8 ans ~ 13 Vénus ~ 5 conjonctions

8 ans = 2922.01 j

13 Vénus = 2921.09 j

5 Synodiques = 2919.6 j

243 ans ~ 395 Vénus ~ 152 conjonctions

243 ans = 88756.07 j

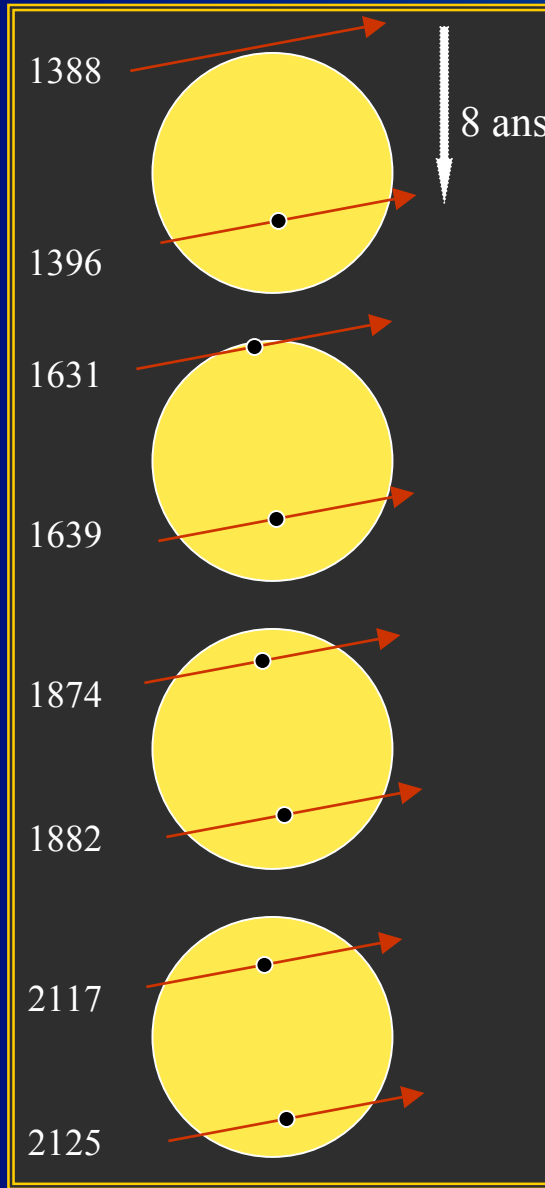
395 Vénus = 88756.06 j

152 Synodiques = 88756.04 j

V
é
n
u
s

2
0
0
4

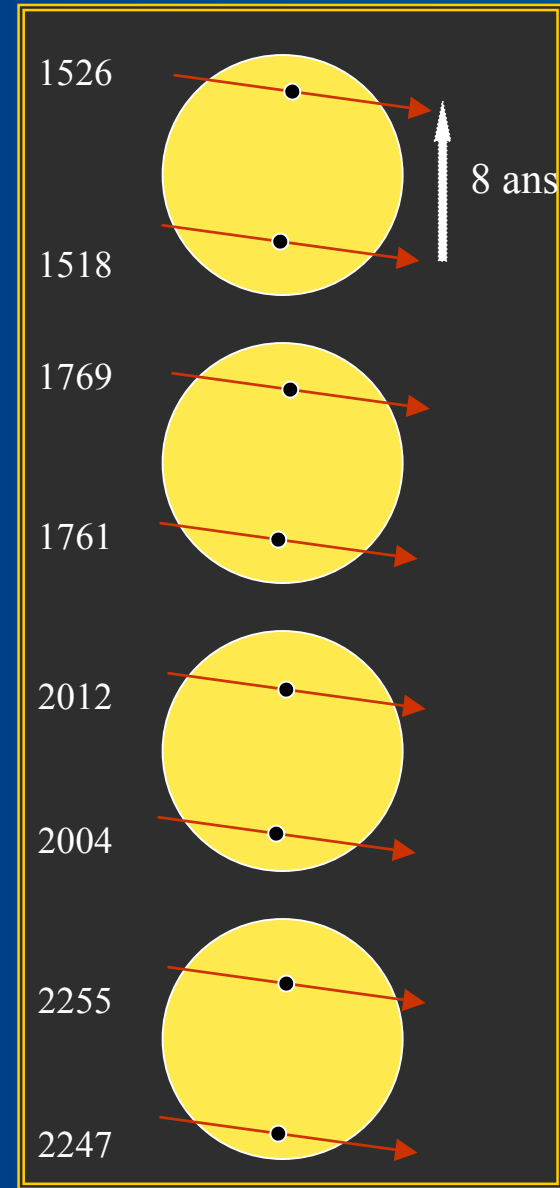
Suite de Passages



Nœud ascendant

243 ans

122 ans



Nœud descendant

V
é
n
u
s

2
0
0
4

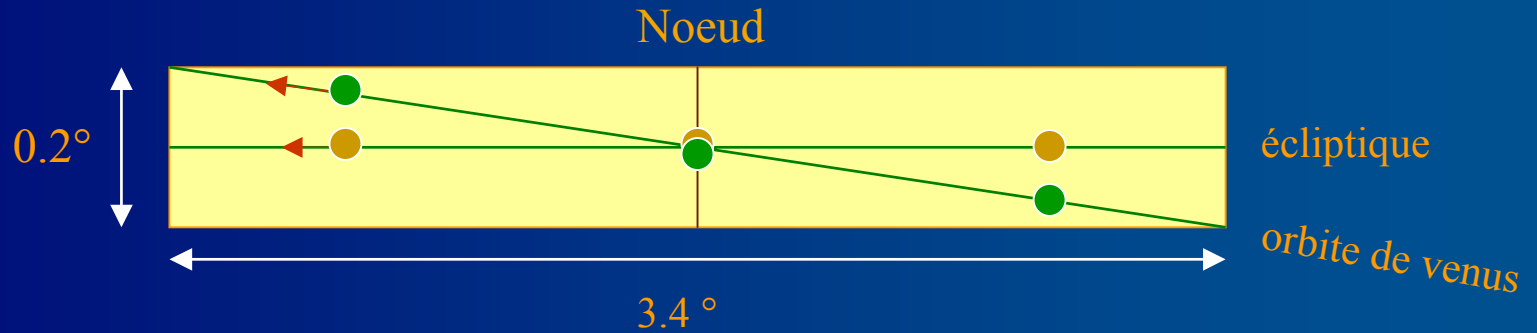


Relation conjonctions - passages

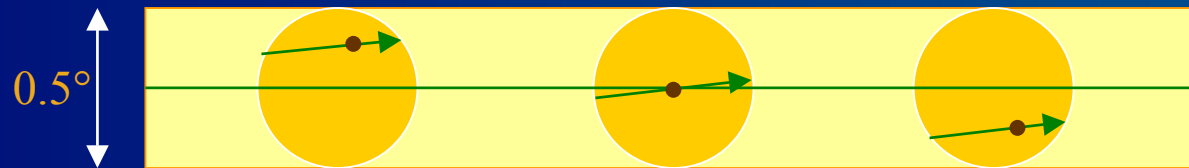
V
é
n
u
s

2
0
0
4

Conjonctions vues du Soleil



Passages vus de la Terre



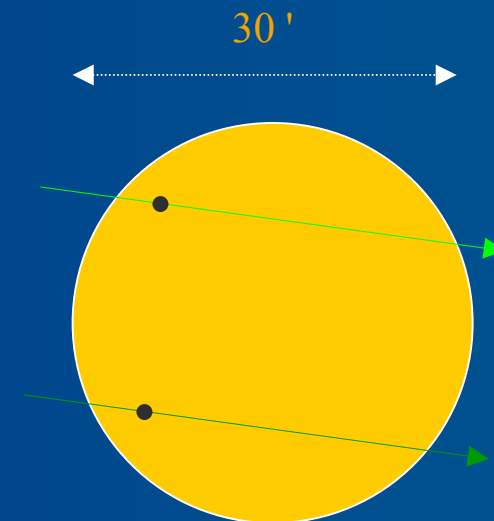


Passages de Vénus : Nœud descendant

V
é
n
u
s

2
0
0
4

	Date		Heure	durée
24	Mai	1032	19h01	7h
22	Mai	1040	12h21	4h
25	Mai	1275	22h37	7h
23	Mai	1283	15h44	5h30
26	Mai	1518	01h55	7h
23	Mai	1526	19h10	6h
06	Juin	1761	05h19	6h30
03	Juin	1769	22h25	6h
08	Juin	2004	08h20	6h
06	Juin	2012	01h29	6h30
11	Juin	2247	11h33	5h30
09	Juin	2255	04h38	7h
12	Juin	2490	14h17	5h
10	Juin	2498	07h25	7h30

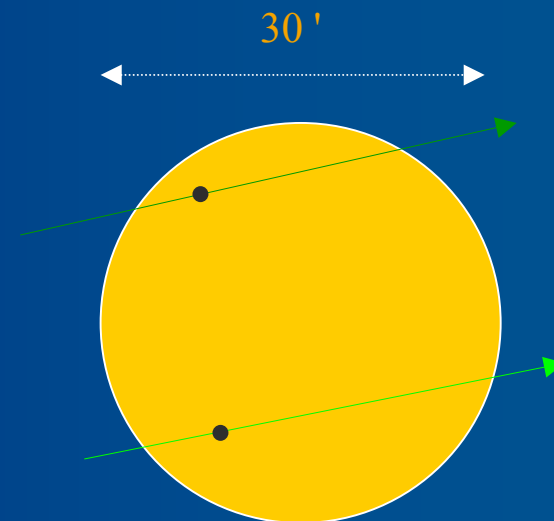


Passages de Vénus : Nœud ascendant

V
é
n
u
s

2
0
0
4

	Date		Heure	durée
23	Novembre	1153	20h36	8h
23	Novembre	1396	19h24	7h30
7	Décembre	1631	5h19	2h
4	Décembre	1639	18h25	7h
9	Décembre	1874	04h06	5h30
6	Décembre	1882	17h06	6h
11	Décembre	2117	02h48	5h30
08	Décembre	2125	16h02	5h30
13	Décembre	2360	01h43	6h30
10	Décembre	2368	14h45	4h30
16	Décembre	2603	00h12	7h
13	Décembre	2611	13h35	3h
16	Décembre	2846	23h10	7h30





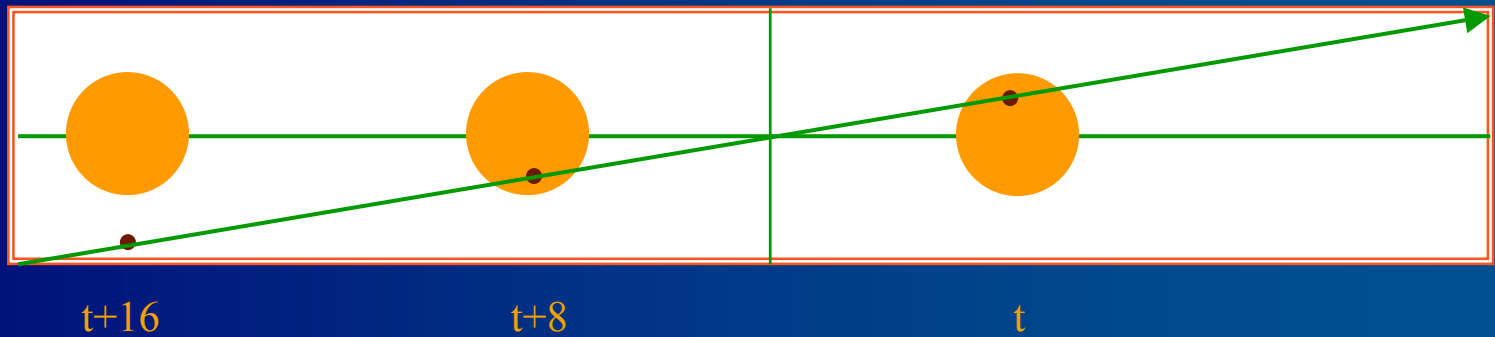
Suite de conjonctions : 8 ans

V
é
n
u
s

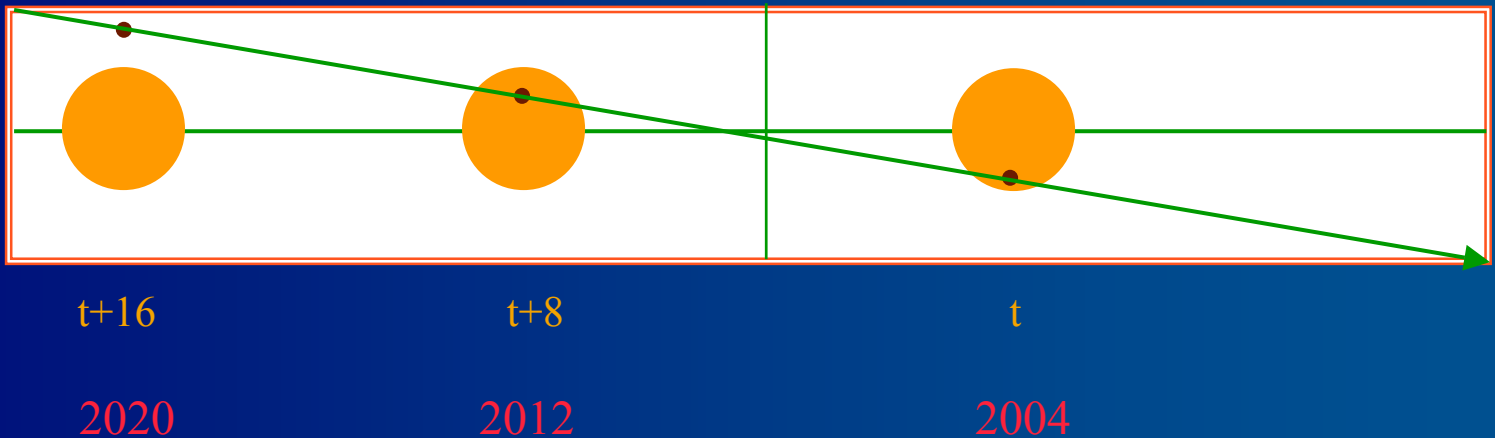
2
0
0
4

- Vue pour un observateur terrestre

Nœud ascendant : décembre



Nœud descendant : juin

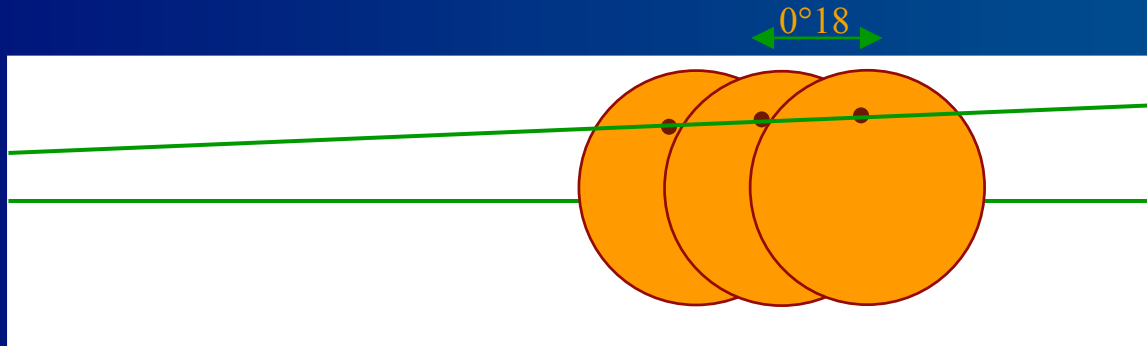




Suite de conjonctions : 243 ans

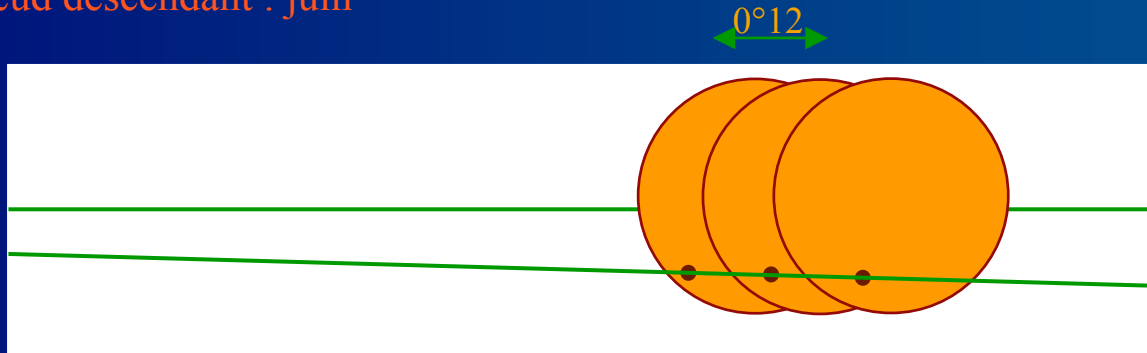
- Vue pour un observateur terrestre

Nœud ascendant : décembre



t+486	t+243	t
2360	2117	1874

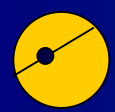
Nœud descendant : juin



t	t+243	t+486
1761	2004	2247

V
é
n
u
s

2
0
0
4



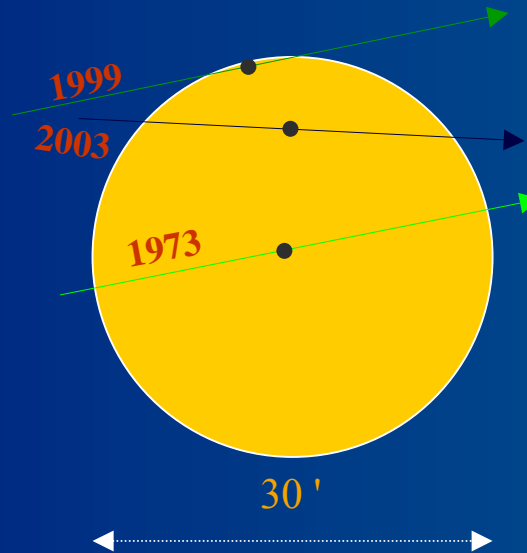
Passages de Mercure

1900 - 1999

14/11/ 1907	12:07	v
07/11/ 1914	12:04	v
08/05/ 1924	01:40	i
10/11/ 1927	05:46	i
11/05/ 1937	08:59	v
11/11/ 1940	23:21	i
14/11/ 1953	16:54	v
06/05/ 1957	01:13	i
07/11/ 1960	16:52	v
09/05/ 1970	08:16	v
10/11/ 1973	10:32	v
13/11/ 1986	04:08	i
06/11/ 1993	03:57	i
15/11/ 1999	21:41	i

2000 - 2099

07/05/ 2003	07:52	v
08/11/ 2006	21:41	i
09/05/ 2016	14:57	v
11/11/ 2019	15:19	v
13/11/ 2032	08:53	v
07/11/ 2039	08:46	v
07/05/ 2049	14:23	v
09/11/ 2052	02:29	i
10/05/ 2062	21:36	i
11/11/ 2065	20:06	i
14/11/ 2078	13:41	v
07/11/ 2085	13:34	v
08/05/ 2095	21:05	i
10/11/ 2098	07:17	v

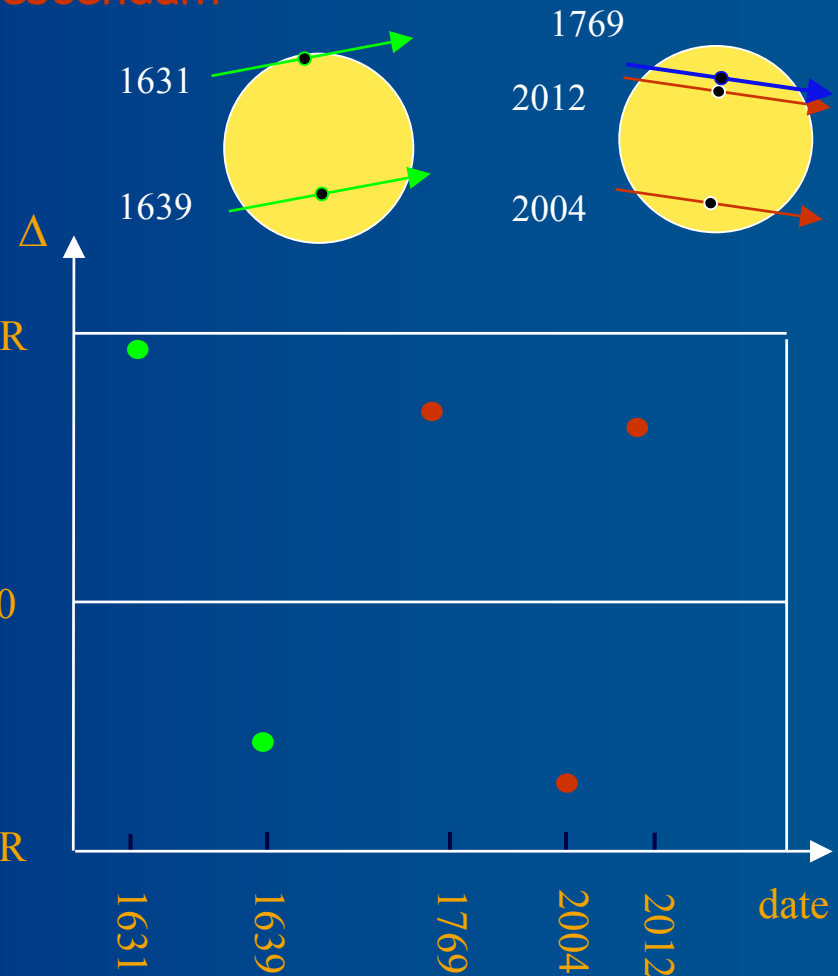
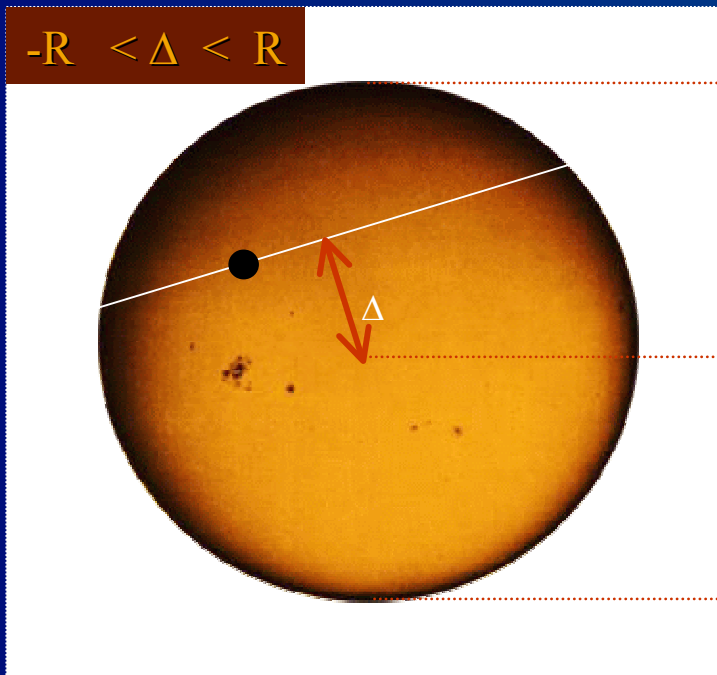


V
é
n
u
s

2
0
0
4

Diagramme des passages

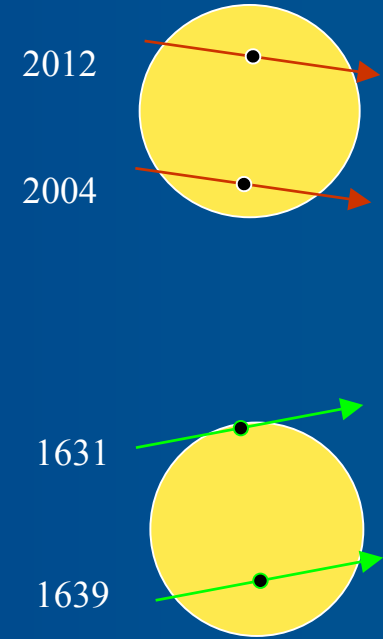
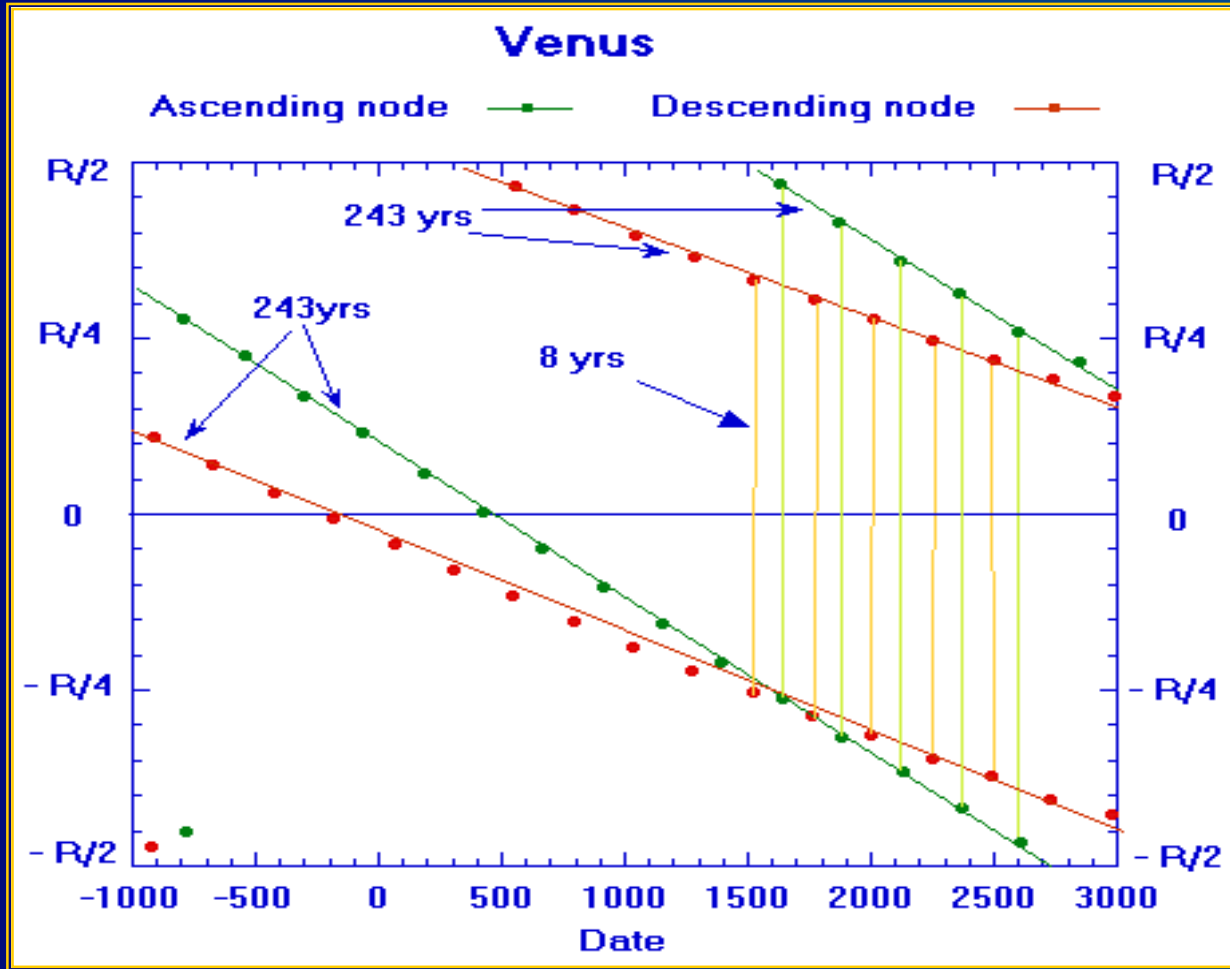
- Un passage :
 - une date
 - une distance minimum au centre du soleil
 - Passage au nœud **ascendant** ou **descendant**



Evolution des passages de Vénus

V
é
n
u
s

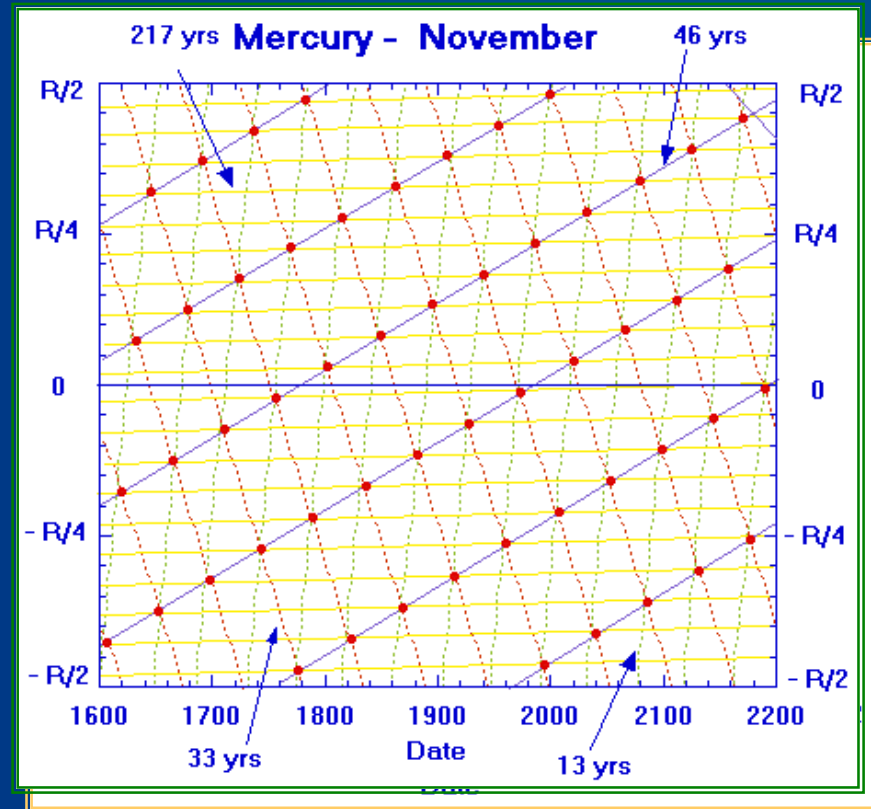
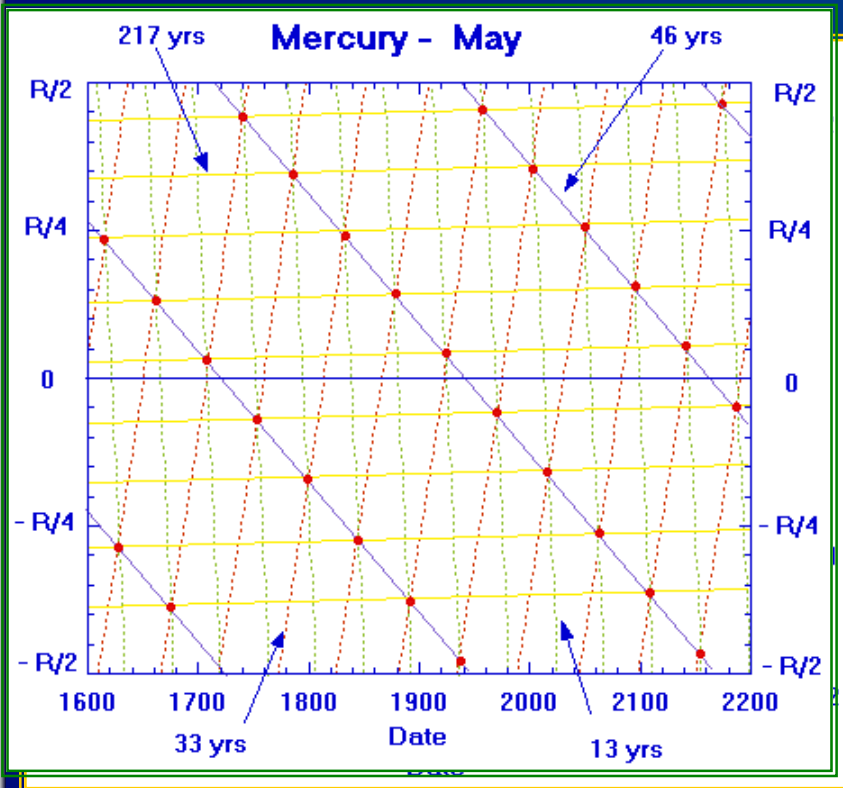
2
0
0
4

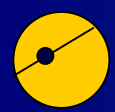


Evolution des passages de Mercure

V
é
n
u
s

2
0
0
4





Nombre de passages

V
é
n
u
s

2
0
0
4

-2000 / +3000

Fréquence

1500 / 2500

Mercure

~ Novembre

458

9.1/siècle

91

~ Mai

210

4.2/siècle

44

Total

668

13.3/siècle

135

Vénus

~ Décembre

37

0.74/siècle

8

~ Juin

31

0.62/siècle

10

Total

68

1.36/siècle

18

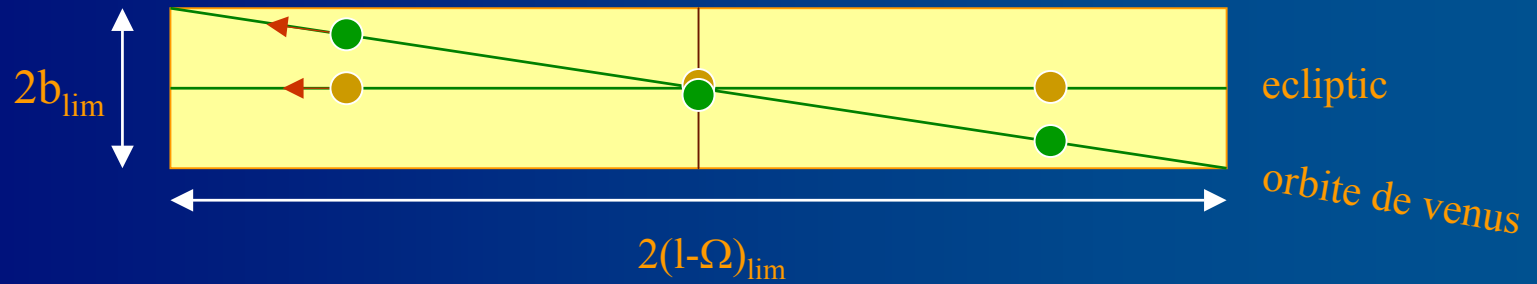


Relation conjonctions - passages

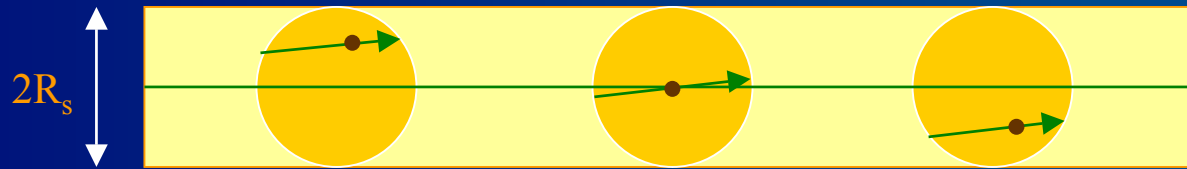
V
é
n
u
s

2
0
0
4

Conjonctions vues du Soleil

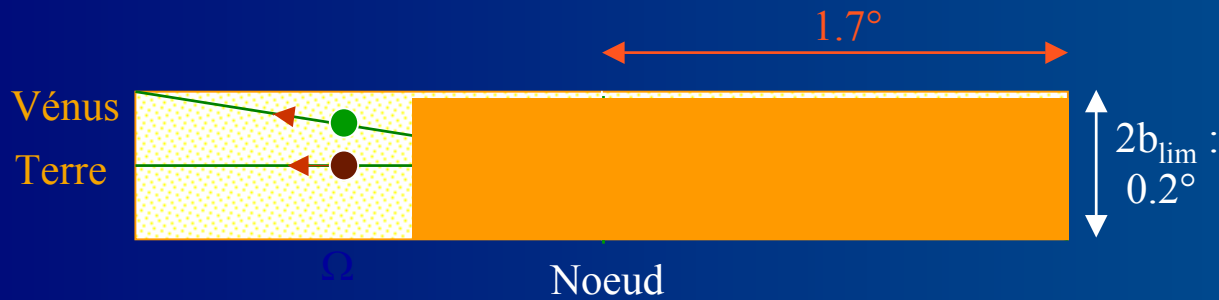


Passages vus de la Terre

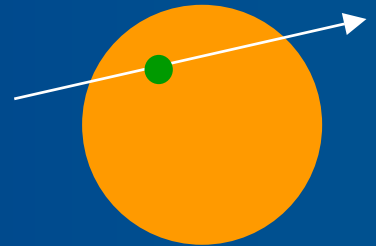


Succession à intervalles de 8 ans

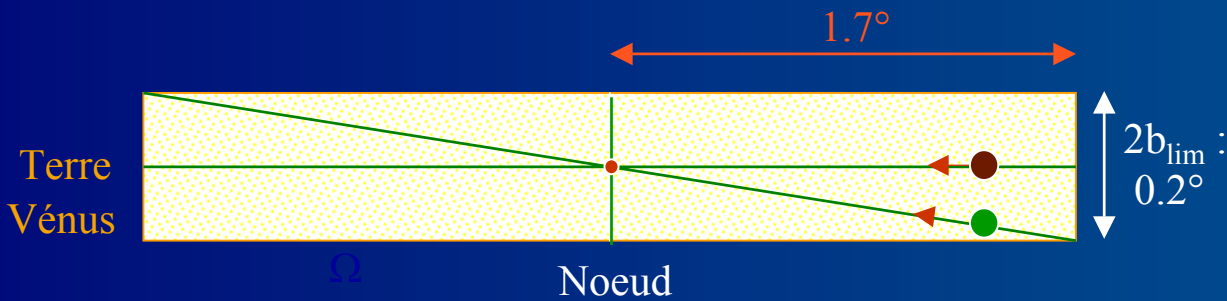
V
é
n
u
s



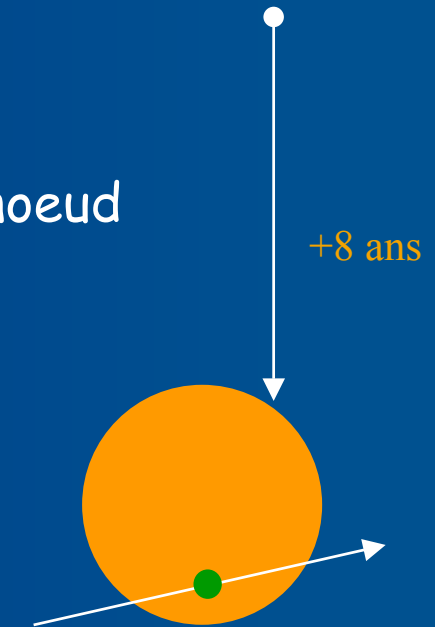
Vue héliocentrique



- Après 8 ans : retour de Vénus et de la Terre au noeud
 - $\Delta(l-\Omega) = -2.5^\circ$ et $\Delta b = -0.15^\circ$



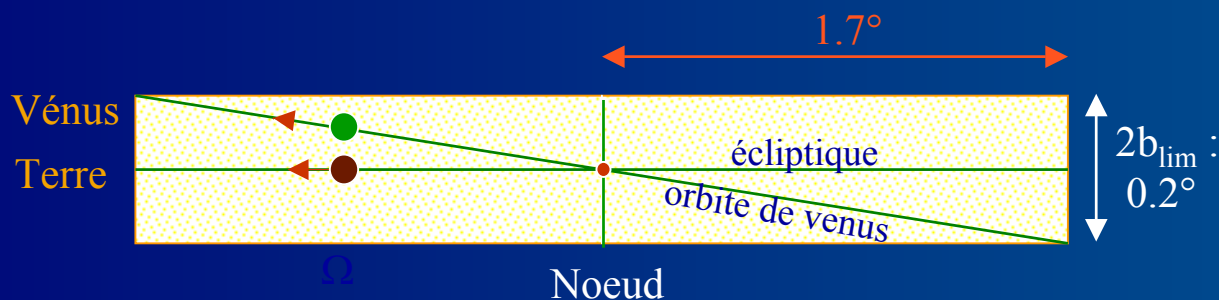
Vue héliocentrique



- Une seule répétition possible
- Pas de répétition si $l-\Omega < 0.8^\circ$: Passage sous le Soleil

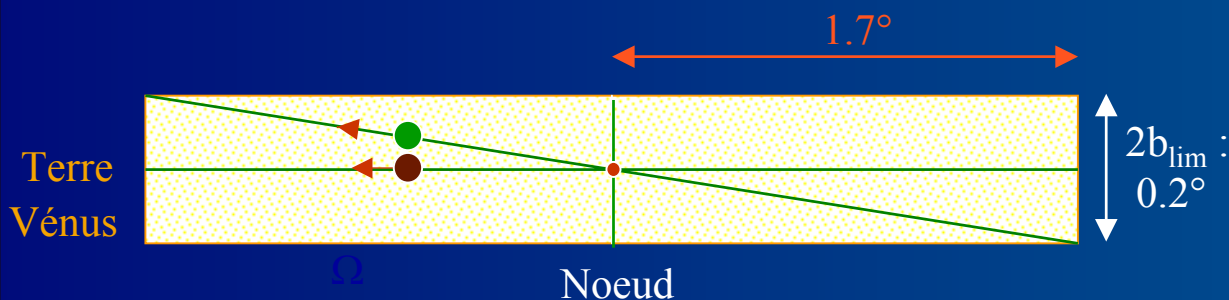
Succession à intervalles de 243 ans

V
é
n
u
s



Vue héliocentrique

- Après 243ans : retour de Vénus et de la Terre au noeud
 - $\Delta(l-\Omega) = -0.18^\circ$ et $\Delta b = -0.01^\circ$



Vue héliocentrique



2
0
0
4

- Série de 18 passages en décembre et 31 en juin
- Durée du cycle : 4000 et 7000 ans

Caractéristiques des répétitions : Vénus

V
é
n
u
s

2
0
0
4

n_V	n_T	Δt j	Δl °	Δb °	$\Delta \phi$ "	
13	8	-0.9269	-2.5383	-0.1506	-1476	Noeud ascendant
395	243	-0.0659	-0.1805	+0.0107	-105.0	
13	8	-0.9231	-2.2179	+0.1306	+1191	Noeud descendant
395	243	+0.0475	+0.1141	-0.0068	-61.2	

n_V : nombre de révolutions de Vénus

n_T : nombre de révolutions de la Terre (= années)

Δt : décalage en temps $n_V V - n_T T$

Δl : décalage en longitude de la conjonction

Δb : décalage en latitude de Vénus à la conjonction

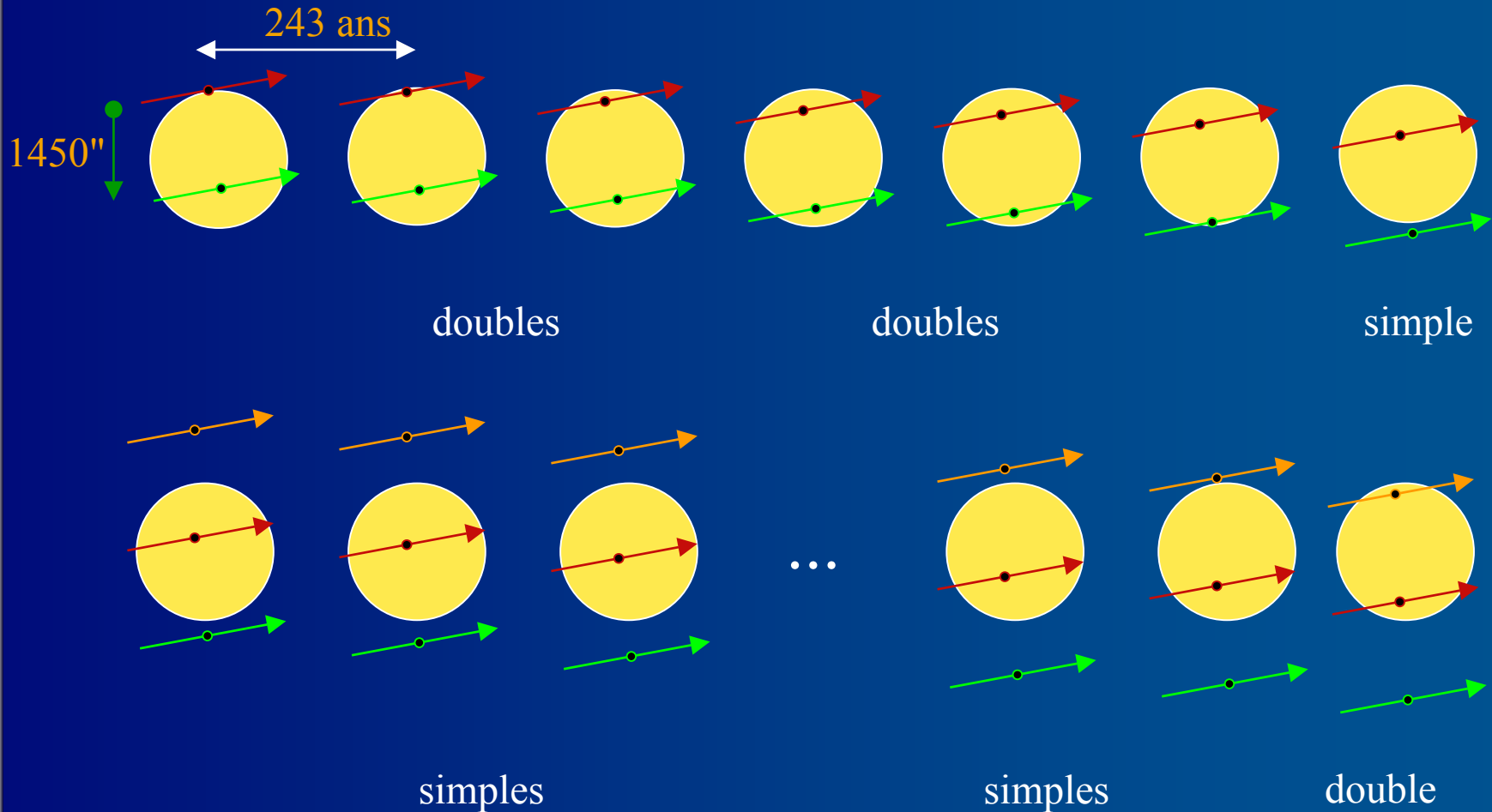
$\Delta \phi$: décalage sur le soleil de la trace du passage



Passages simples et doubles à 8 ans

Au nœud ascendant

- Décalage de la trace après 8 ans : $-1450''$
- Décalage de la trace après 243 ans : $-105''$



V
é
n
u
s

2
0
0
4

Sommaire sur les cycles longs

La règle de deux passages séparés de 8 ans n'est pas générale

Noeud ascendant

Décalage de la trace après 243 ans : 105"

Diamètre du Soleil : 1950"

Cycle de ~ 19 passages ~ 4600 ans

5 doubles, 9 simples, 5 doubles

-1998, [-1763,-1755] ...[-791,-783], -548 ..., 1396, [1631,1639]...[2603,2611], 2846

Noeud descendant

Décalage de la trace après 243 ans : 61"

Diamètre du Soleil : 1890"

Cycle de ~ 31 passages ~ 7500 ans

13 doubles, 5 simples, 13 doubles

-3350, [-3107, -3099] ...[-920,-912], -669 ..., 303, [546,554]...[3462,3470], 3713

Caractéristiques des répétitions : Mercure

V

é

n

u

s

2

0

0

4

n_M	n_T	Δt j	Δl °	Δb °	$\Delta \phi$ "	
54	13	+2.0311	+2.4465	+0.3006	+503.2	
137	33	-1.6109	-1.9403	-0.2384	-399.1	Noeud ascendant
191	46	+0.4202	+0.5062	+0.0622	+104.1	
710	171	-0.3501	-0.4218	-0.0518	-86.8	
901	217	+0.0701	+0.0844	+0.0104	+17.4	
54	13	+2.0244	+2.9181	-0.3586	-1046.2	
137	33	-1.6280	-2.3467	+0.2883	+841.3	Noeud descendant
191	46	+0.3964	+0.5714	-0.0702	-204.8	
710	171	-0.4389	-0.6326	+0.0777	+226.8	
901	217	-0.0425	-0.0612	+0.0075	+21.9	

n_M : nombre de révolutions de Mercure

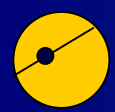
n_T : nombre de révolutions de la Terre (= années)

Δt : décalage en temps $n_M V - n_T T$

Δl : décalage en longitude de la conjonction

Δb : décalage en latitude de Mercure à la conjonction

$\Delta \phi$: décalage sur le soleil de la trace du passage



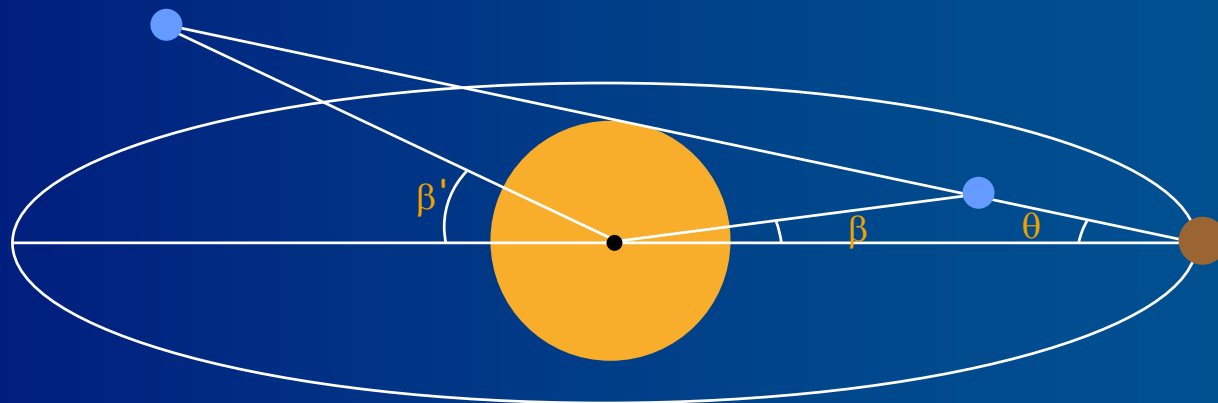
V
é
n
u
s

2
0
0
4

Passages Surprises ...

Vénus derrière le Soleil

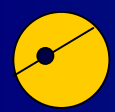
- Contraintes beaucoup plus faibles
- Répétition avec un intervalle de 8 ans
- Series longues de 8 à 10 passages sur ~60 à 80 ans.
- Puis répétition des cycles tous les 243 ans à chaque noeud



$$\theta = 0.25^\circ$$

$$\beta = 0.10^\circ$$

$$\beta' = 0.60^\circ$$

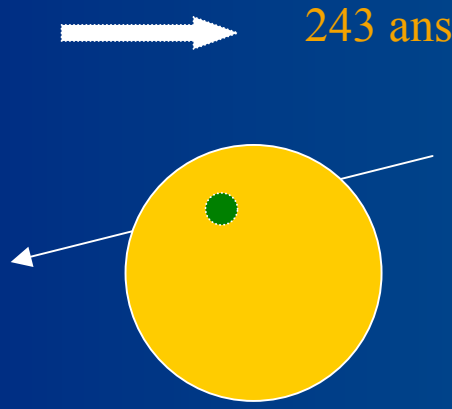


Passages venus d'ailleurs

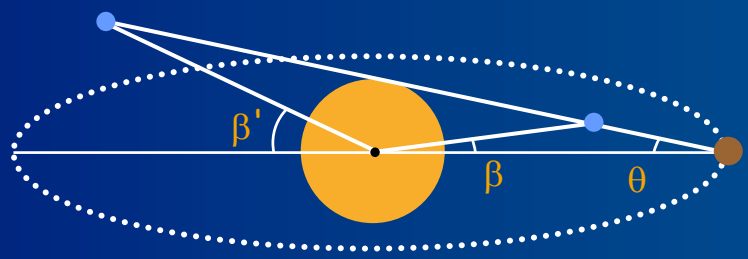
• Vénus derrière le Soleil

V
é
n
u
s

					19/12/ 2081	08:56
	15/12/ 1846	21:46	8 ans	243 ans	16/12/ 2089	20:24
	13/12/ 1854	08:50			14/12/ 2097	07:38
	10/12/ 1862	20:22			12/12/ 2105	18:56
	08/12/ 1870	07:43			10/12/ 2113	06:32
	05/12/ 1878	19:09			07/12/ 2121	18:11
	03/12/ 1886	07:06			05/12/ 2129	05:44
	30/11/ 1894	18:44			02/12/ 2137	17:45
	29/11/ 1902	06:25			30/11/ 2145	05:52
	18/06/ 1976	01:26			21/ 6/ 2219	04:37
	15/06/ 1984	20:00			18/ 6/ 2227	23:15
	13/06/ 1992	14:35			16/ 6/ 2235	17:47
	11/06/ 2000	09:15			14/ 6/ 2243	12: 4
	09/06/ 2008	03:42			12/ 6/ 2251	06:22
	06/06/ 2016	21:54			10/ 6/ 2259	00:57
	04/06/ 2024	16:19			7/ 6/ 2267	19: 0
	02/06/ 2032	10:32			5/ 6/ 2275	13: 9
	31/05/ 2040	04:30			3/ 6/ 2283	07:24
	28/05/ 2048	22:38			1/ 6/ 2291	01:15



Durée ~ 2 jours



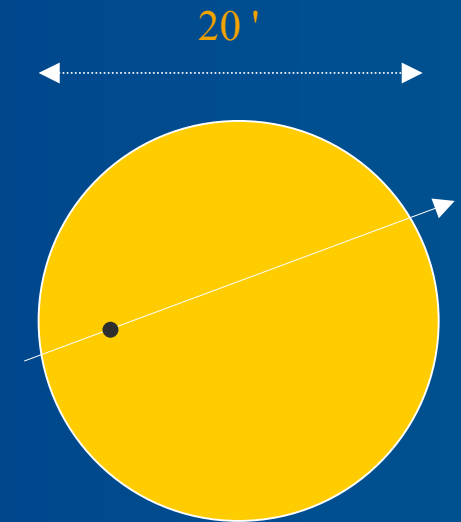
$\theta = 0.25^\circ$
$\beta = 0.10^\circ$
$\beta' = 0.60^\circ$

2
0
0
4

Passages venus d'ailleurs

- Terre vue de Mars

	Date		Heure	durée
5	Mai	1621	5h30	7h
8	Mai	1700	19h30	9h
12	Novembre	1800	1h	7h
12	Novembre	1879	20h	8h
8	Mai	1905	20h15	8h
11	Mai	1984	8h50	8h30
10	Novembre	2084	6h15	8h
15	Novembre	2163	3h20	7h30
10	Mai	2189	11h20	9h30



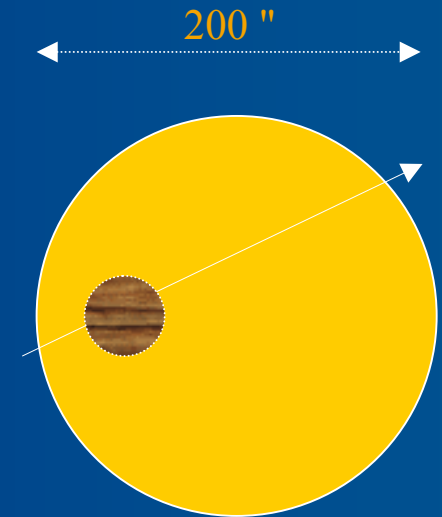
Passages venus d'ailleurs

V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Jupiter vu de Saturne

	Date		Heure
16	Janvier	-1792	15h
13	Novembre	-939	8h30
30	Novembre	-423	23h
16	Septembre	-85	16h
17	Mai	1226	19h
18	Octobre	3728	10h



Durée ~ 24h

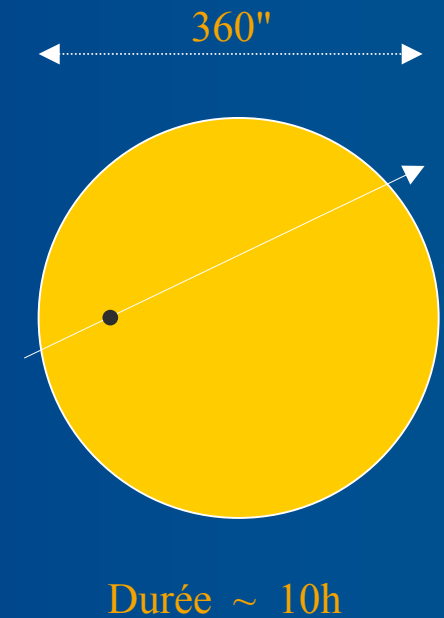
Passages venus d'ailleurs

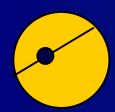
V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Terre vue de Jupiter

	Date		Heure
24	Juin	1972	22h
23	Décembre	1977	1h
29	Juin	1984	16h
27	Décembre	1989	14h
4	Juillet	1996	12h
1	Janvier	2002	6h
9	Juillet	2008	8h
5	Janvier	2014	21h
10	Janvier	2026	9h
24	Juin	2055	20h
29	Juin	2067	13h



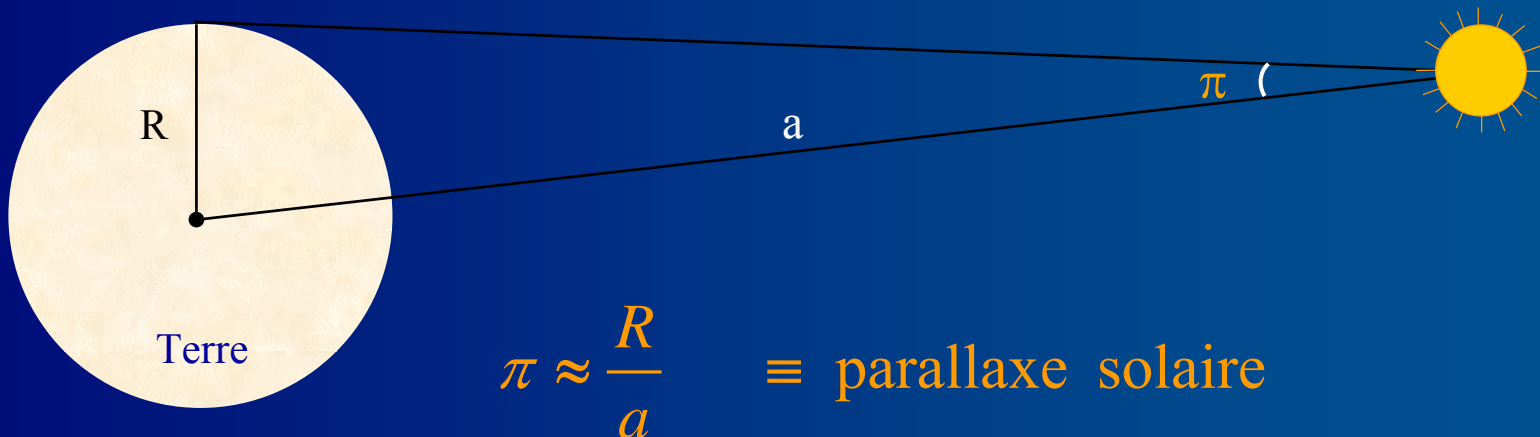


Dimensions du Système Solaire

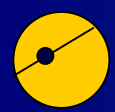


Parallaxe solaire

- La distance Terre Soleil n'est pas mesurable directement
- L'astronomie classique n'a accès qu'aux angles



- On mesure π et R pour calculer a
- $R = 6400 \text{ km}$ et $a \sim 150 \times 10^6 \text{ km}$
- Donc $\pi \sim 10'' \Rightarrow$ difficile à mesurer
- Question centrale de l'astronomie copernicienne



Distance Terre-Soleil

V
é
n
u
s

2
0
0
4

- L'antiquité n'a connu que la distance Terre-Lune
- Aristarque de Samos donne Terre-Soleil > 18 Terre-Lune
 - $a = 180$ rayons terrestres
- Jusqu'au milieu du XVII^e siècle : $a = 1200-1300 R$
- Kepler indique que $\pi < 1' \rightarrow a > 3200 R$
- Connaissance parfaite des distances relatives
 - mesures directes
 - 3^e loi de Kepler
- Opposition de Mars de 1672

Importance de la troisième loi de Képler

le *cube* du demi grand axe d'une planète *divisé* par le *carré* de sa période de révolution est une constante pour toutes les planètes

	a	a ³	P	P ²	a ³ /P ²
Terre	1	1	1	1	1
Venus	0.72	0.38	0.62	0.38	1
Jupiter	5.2	141	11.8	141	1



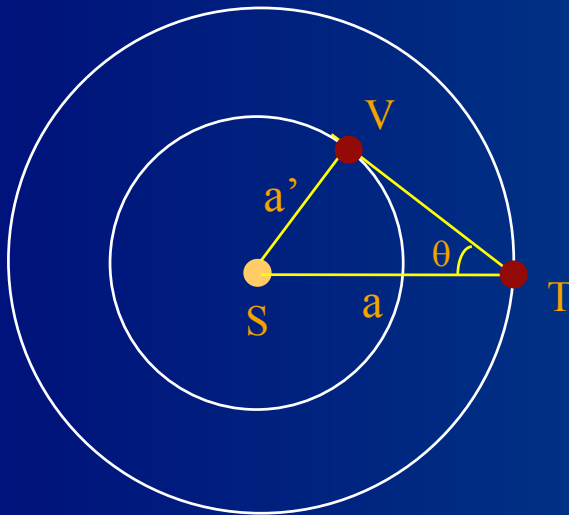
Kepler (1571-1630)

- La troisième loi de Képler nous donne toutes les distances dans le système solaire à partir de la mesure d'une seule
- Ainsi, si on connaît une distance entre deux planètes, on connaît toutes les autres, et de là, la distance des étoiles et des galaxies
- Il ne nous reste plus qu'à mesurer une distance dans le système solaire...

Distance relatives

- Ordre arbitraire des planètes dans les systèmes géocentriques
- Echelle du système avec Copernic

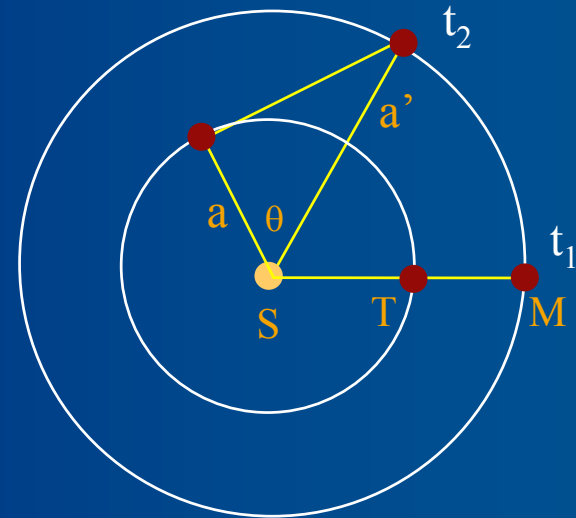
Planète inférieure



$$\frac{a'}{a} = \sin(\theta)$$

Vénus : $\theta = 46^\circ \rightarrow a' = 0.72 \text{ au}$

Planète supérieure



$$\theta = (n - n') \Delta t$$

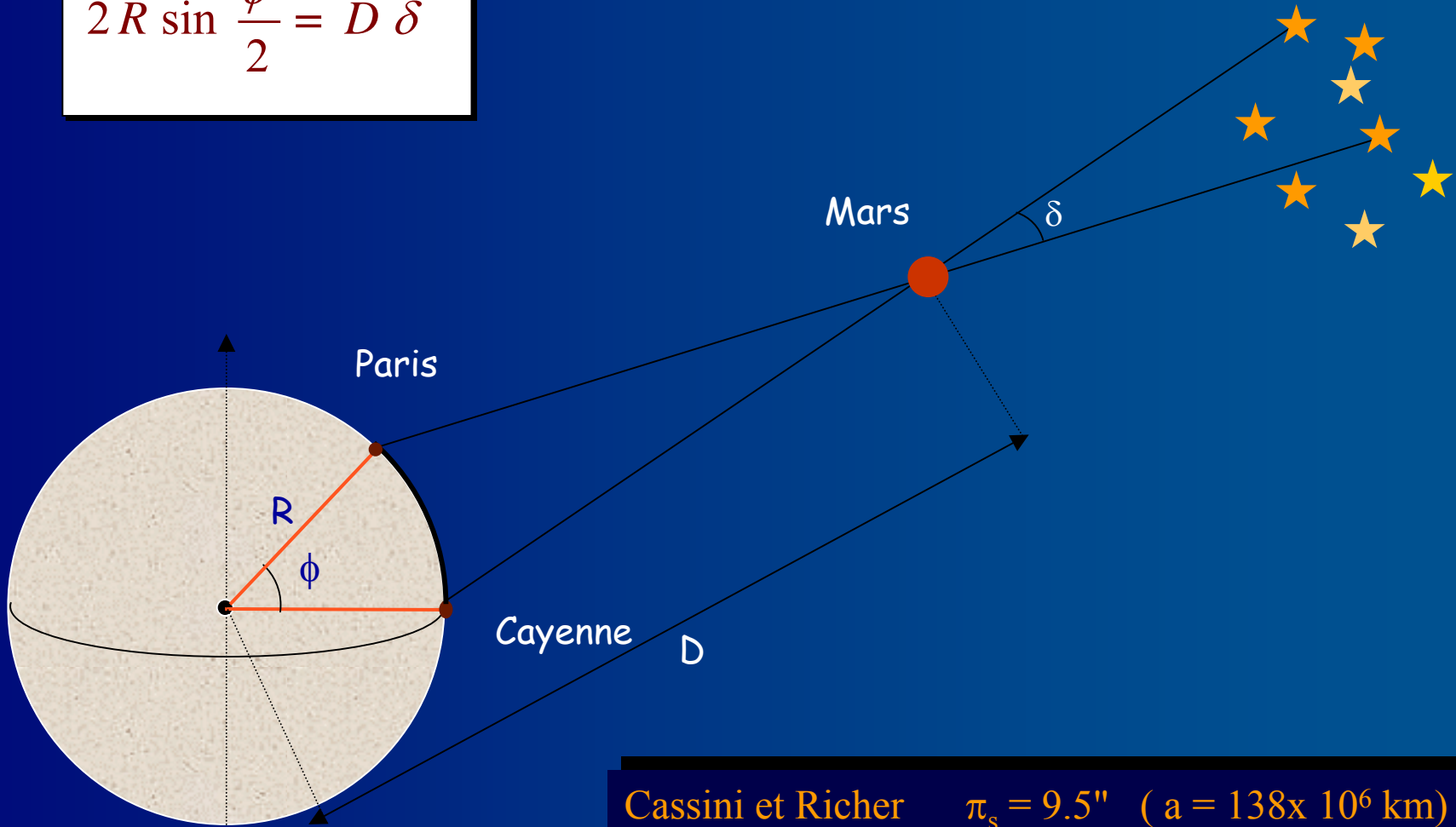
$$\frac{a}{a'} = \sin(\theta)$$

V
é
n
u
s

2
0
0
4

Parallaxe de Mars (1672)

$$2R \sin \frac{\phi}{2} = D \delta$$



Cassini et Richer $\pi_s = 9.5''$ ($a = 138 \times 10^6$ km)

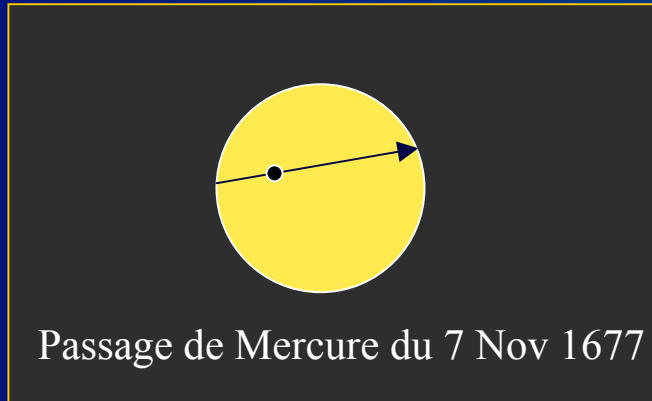
Flamsteed $\pi_s = 10''$ ($a = 130 \times 10^6$ km)

V
é
n
u
s

2
0
0
4

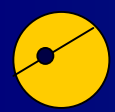
Edmund Halley (1656-1742)

- Séjour astronomique à St Hélène 1676-78
- Premier catalogue du ciel austral
- Observation du passage de Mercure du 7 Nov. 1677



(Gassendi +46 ans !)

- Première observation d'un passage complet, de 10h à 15h
- Mesure de la durée du passage "*à mieux qu'une seconde*"
- Il mentionne l'intérêt des passages pour la distance Terre-Soleil



Appel de Halley

V

é

n

u

s

2

0

0

4

- Appendice au *Catalogus Stellarum Australium*, 1678 :

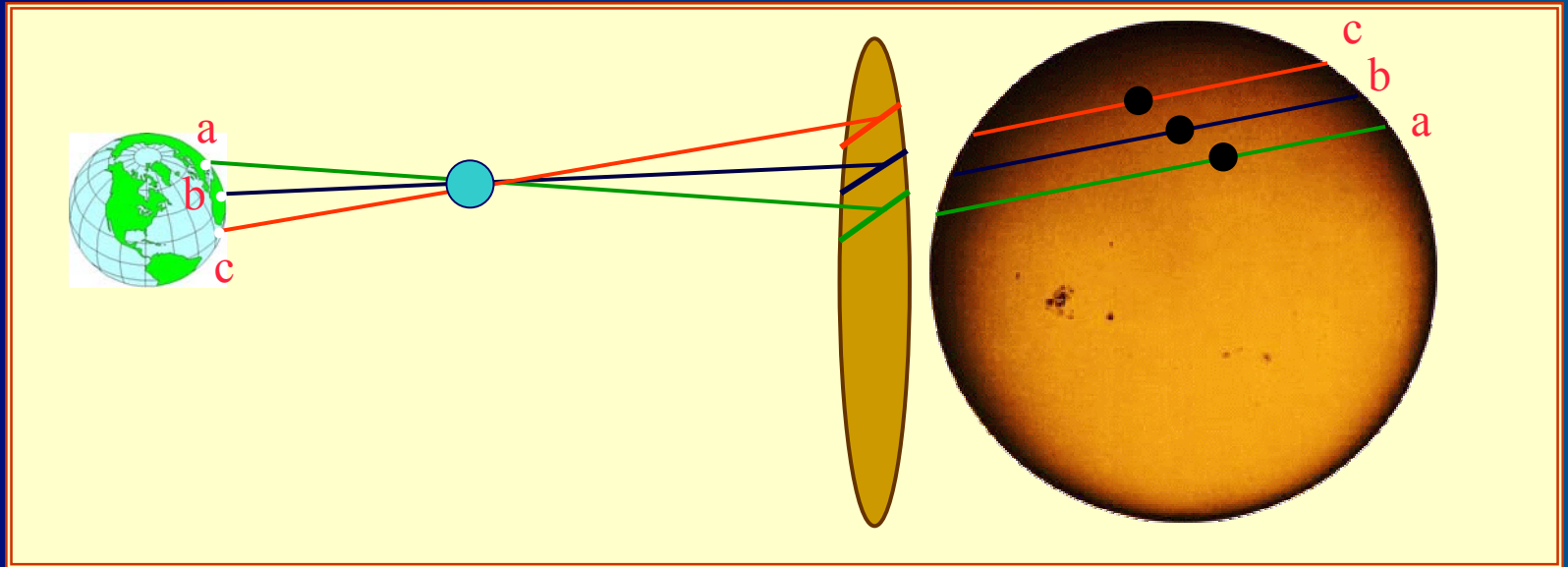
" There remains one observation by which one can resolve the problem of the Sun's distance from the Earth , and that advantage is reserved for the astronomers of the following century, to wit, when Venus will pass across the disk of the Sun in the year 1761, on 26 May. ... The observations required for this are the easiest at all ..."

- Il y revient avec des détails techniques 40 ans plus tard :

" A new Method of determining the Parallax of the Sun, or his Distance from the Earth" by Dr. Halley, Sec. R. S. N0 348, p.454.

Philosophical Transactions VOL. XXIX (1716)

Distance avec Vénus : Méthode de E. Halley

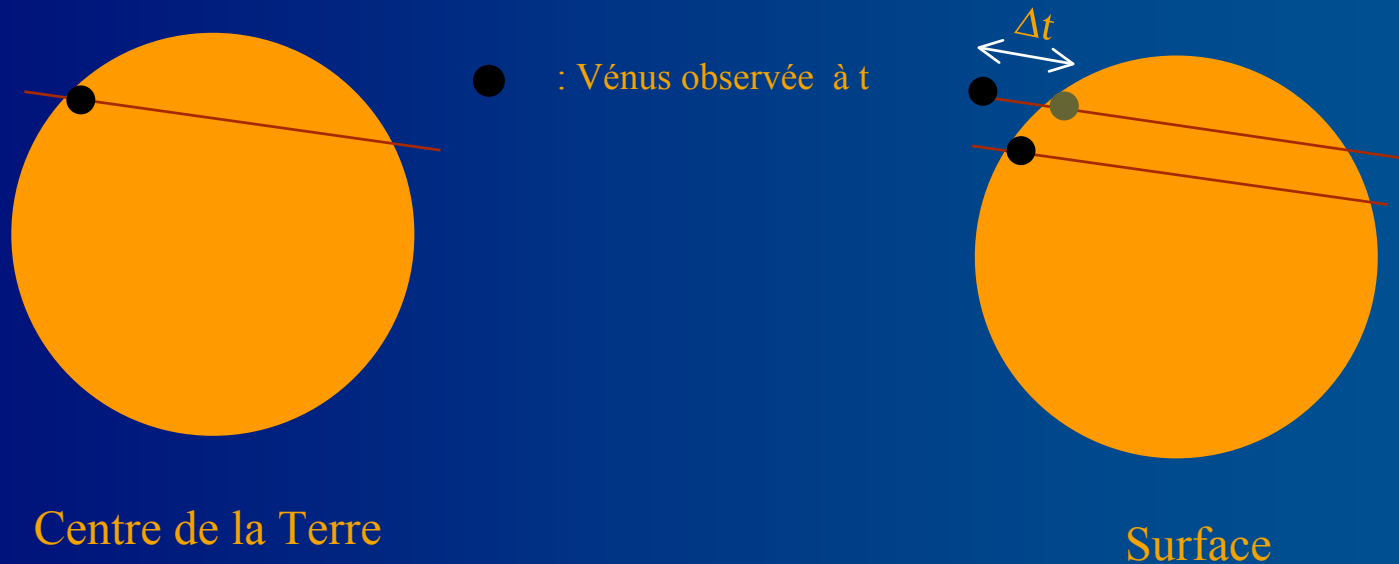


- Les positions relatives des cordes donnent la parallaxe de Vénus
- On ne peut mesurer précisément ces cordes par rapport au Soleil
 - Pas de repère accessible
- Mais la position des cordes est liée à la durée du passage
- On remplace une mesure d'angle par une mesure de temps
 - Mesure beaucoup plus précise
- Ecart de durée max ~ 15 mn.
 - Mesure à 1 s \Rightarrow Parallaxe à 1/500 (Halley, 1716)

Effet complet de la parallaxe

- Hors du méridien l'effet parallactique se complique
 - si le Soleil est vers le levant la planète est retardée
 - si le Soleil est vers le couchant la planète est avancée

Diagrammes à l'instant t



- Changement de la longueur de la corde (effet de latitude)
- Retard ou avance supplémentaire des phases (effet de longitude)
- Déplacement à vitesse non uniforme (rotation de la Terre)

Distance de Vénus : Méthode de J. Delisle

Exploitation des décalages des temps d'entrée ou de sortie



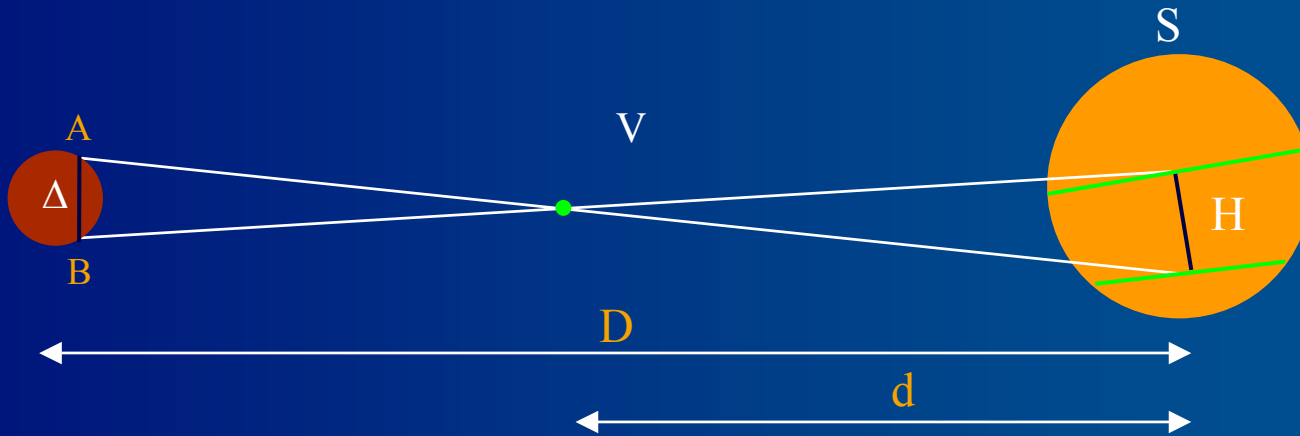
Avantages par rapport à la mesure de durée

- On supprime certains aléas de la météorologie
- On augmente le nombre de sites possibles (visibilité partielle)

Inconvénients

- Datation de l'instant d'un phénomène et non mesure de durée
 - → exactitude des horloges
- Comparaison des dates en différents lieux
 - → connaissance très précise de la longitude !
- Décalage maximum de 10 mn au lieu de 20

Calcul approché



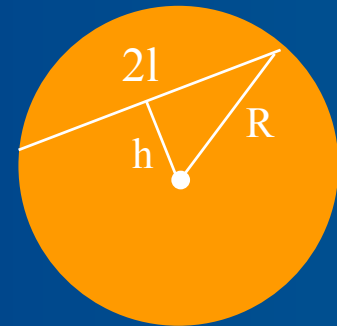
1. $H/\Delta = d/(D-d) \sim 2.5 \rightarrow H$ en km

2. $h^2 = R^2 - l^2$

- Pour deux cordes très voisines :

3. $\delta h = \delta l \cdot l/h$ et $\delta l = V\delta t/2$: données angulaires

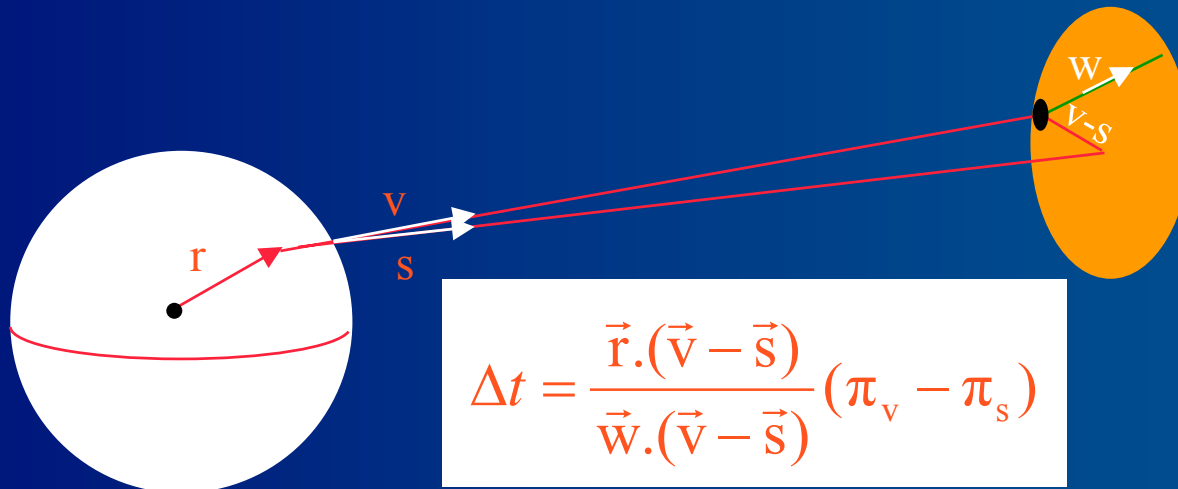
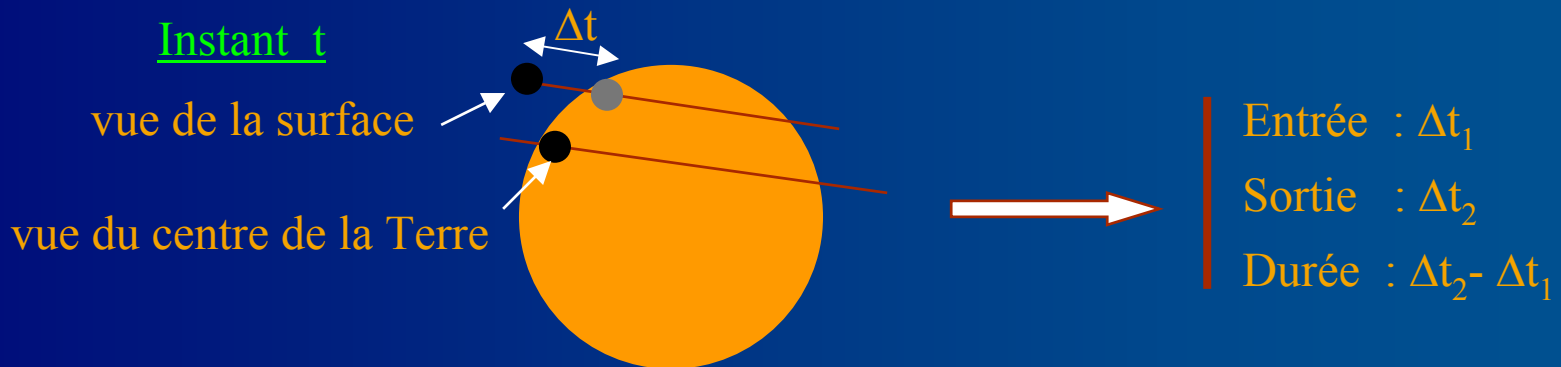
- Mesures : Δ , t et δt



On a donc H en longueur et en angle \rightarrow Parallaxe

Calcul exact

- Il faut tenir compte des effets de la longitude sur la parallaxe
- Vénus est déplacée par rapport au Soleil
- L'entrée ou la sortie sont avancées ou retardées.
- La rotation de la Terre rend le phénomène asymétrique



Formule pratique

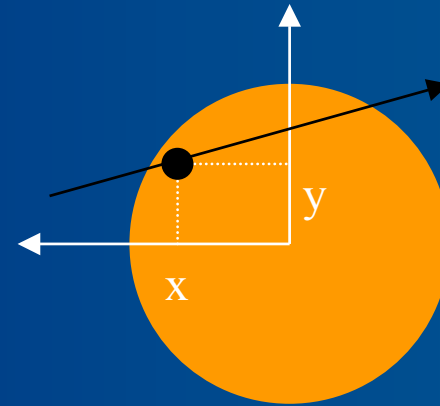
- Observateur : latitude ϕ , longitude λ

$$\Delta t = a \cos \phi \cos \lambda + b \cos \phi \sin \lambda + c \sin \phi$$

$$a = \frac{\pi_v - \pi_s}{x\dot{x} + y\dot{y}} (x \sin H_g - y \sin \delta \cos H_g)$$

$$b = \frac{\pi_v - \pi_s}{x\dot{x} + y\dot{y}} (x \cos H_g + y \sin \delta \sin H_g)$$

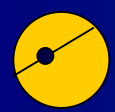
$$c = \frac{\pi_v - \pi_s}{x\dot{x} + y\dot{y}} (y \cos \delta)$$



- H_g : angle horaire du Soleil à Greenwich à l'entrée ou la sortie
- a, b, c : constantes (en mn) du transit pour l'entrée, la sortie et la durée totale.

Passage de 2004 (mn)

	entrée	sortie	durée
a	6.61	-0.67	3.37
b	3.29	-3.42	-5.74
c	-3.32	-2.75	-9.11
max	7.45	7.45	10.08



V
é
n
u
s

2
0
0
4

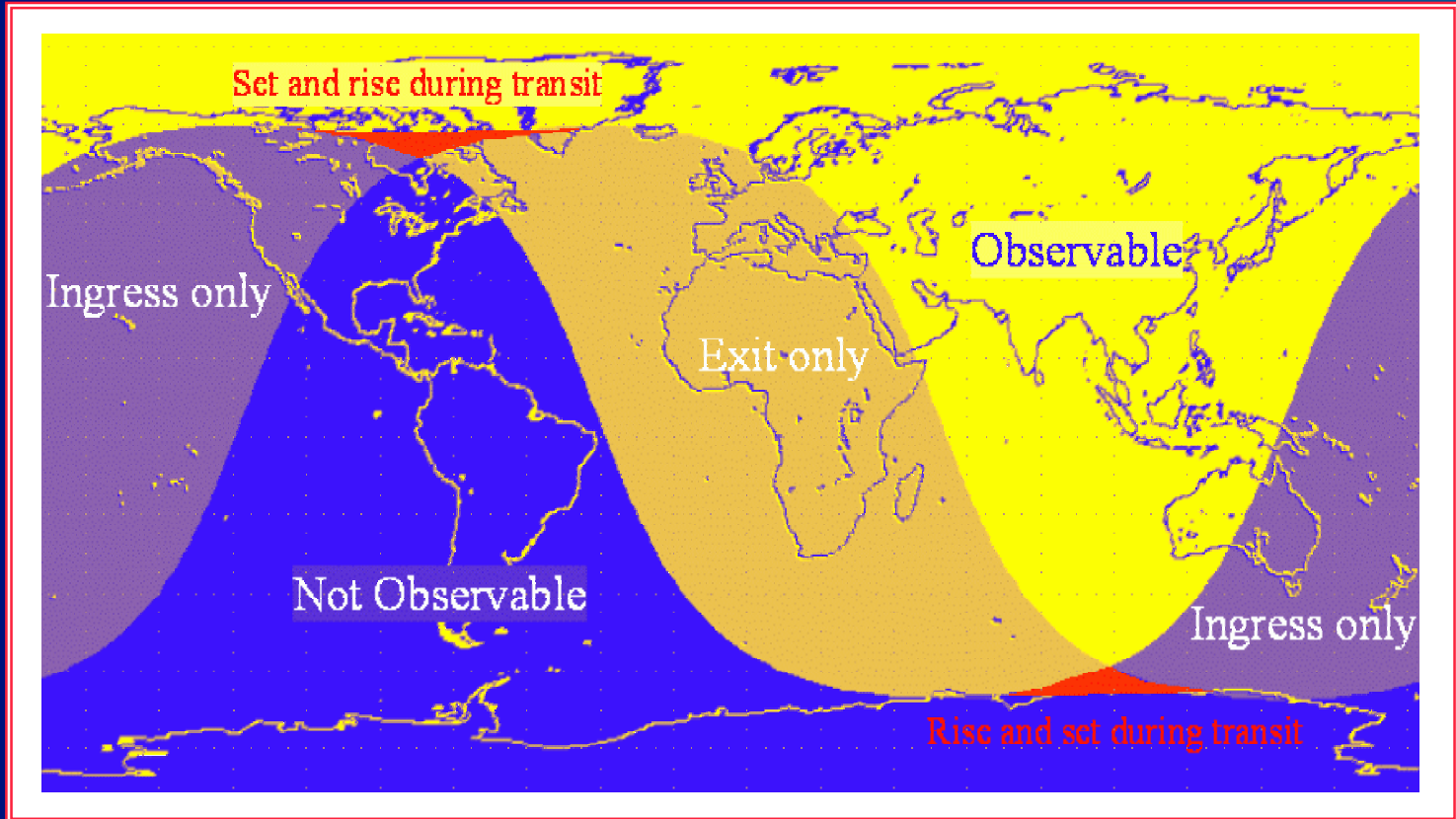
Expéditions et Voyages



Passage de 1761

V
é
n
u
s

2
0
0
4

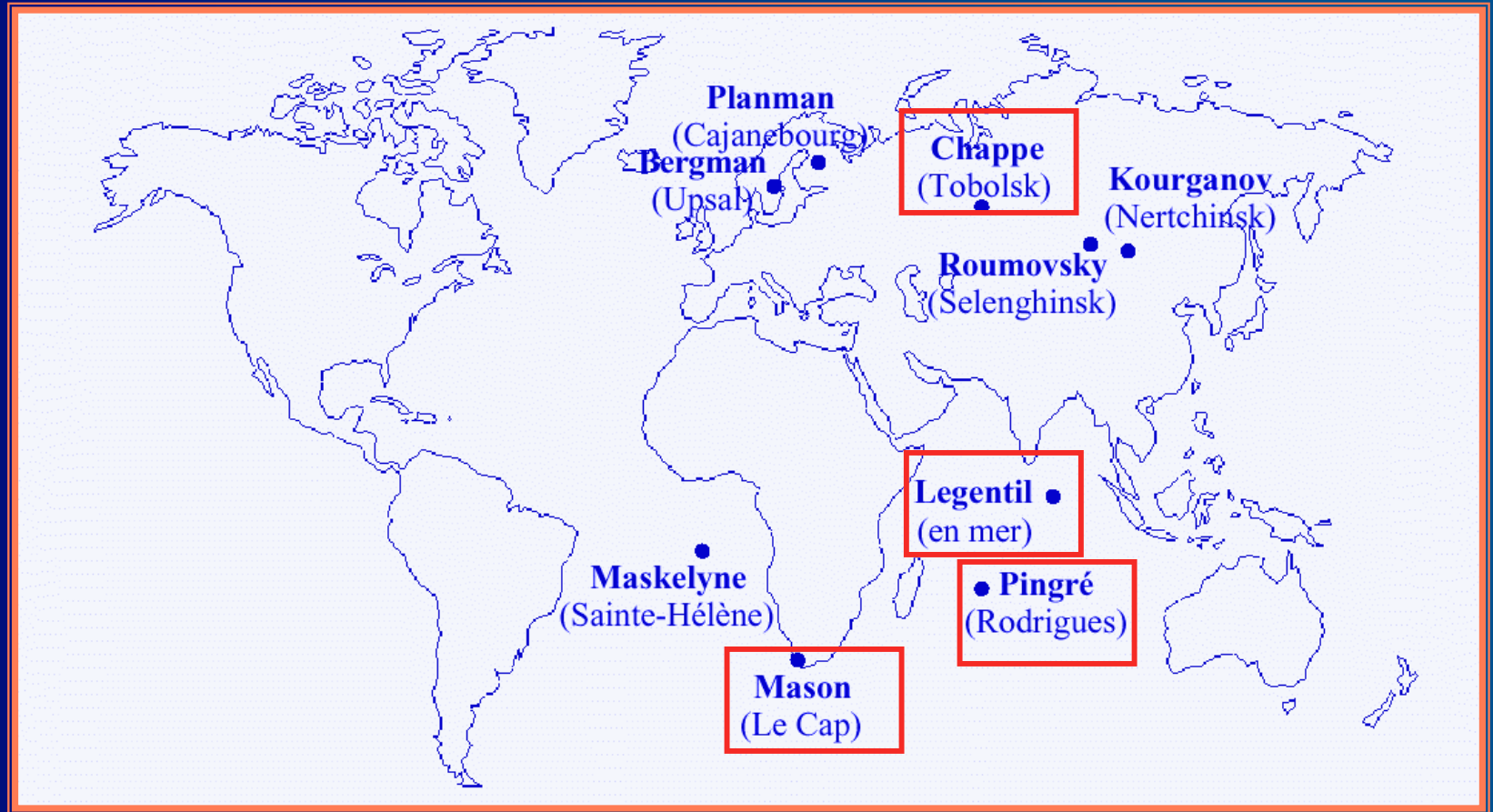


Carte de visibilité du passage de 1761

Expéditions de 1761

V
é
n
u
s

2
0
0
4

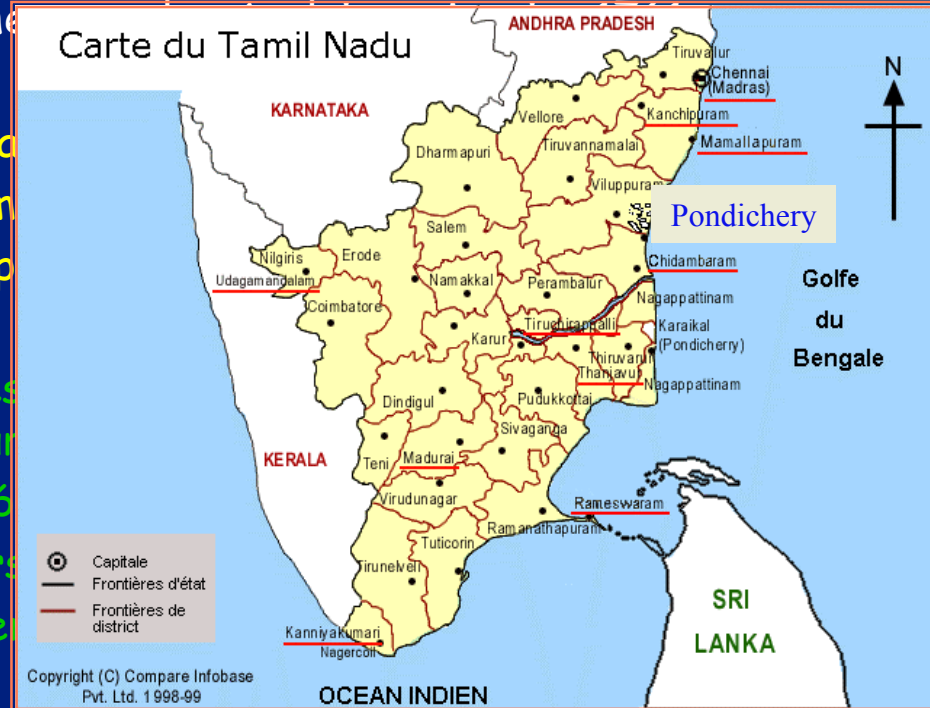


Voyage de Le Gentil

- Guillaume Joseph Hyacinte Jean Baptiste Gentil de la Galaisière (1725-1792)
- Départ de France le 26 mars 1760 et arrivée à l'Ile de France en mai
- Problème pour repartir vers Pondichery .
- Sac de Pondichery

- Départ pour Madras
- Arrivée le 24 mai
- Le 6 juin : tempête

- Il décide de rester en Inde pour l'étude d'histoire naturelle
- Manille en 1766
- Arrivée en mars 1768
- un nuage traverse le ciel



de France
leur astronomique
géographiques,
chery !

- « C'est là, le sort qui attend souvent les Astronomes. J'avois fait près de dix mille lieues; il sembloit que je n'avois parcouru un si grand espace de mers, en m'exilant de ma patrie que pour être spectateur d'un nuage fatal, qui vint se présenter devant le Soleil au moment précis de mon observation, pour m'enlever le fruit de mes peines & de mes fatigues ».

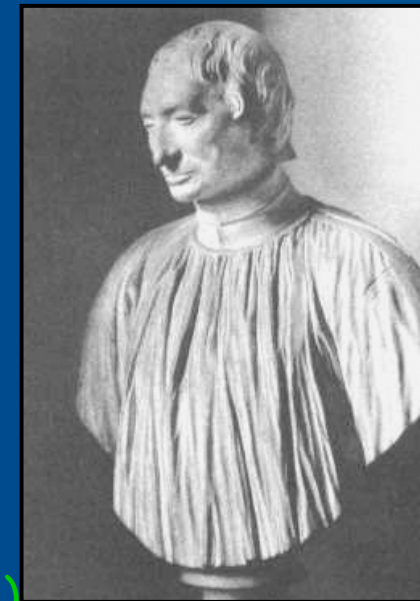
- Il reste encore 2 ans et on le croit mort. Ses biens sont dispersés.

V
é
n
u
s

2
0
0
4

Voyage de Pingré

- Alexandre-Gui Pingré (1711-1796), astronome français
- Astronome, théologien, latiniste, historien, poète...
- Envoyé à l'Ile Rodrigues par l'Académie
- Possibilité d'observation entrée et sortie



- Départ en janvier 1761 ; Navire réquisitionné au Cap
- Arrive finalement le 28 mai 1761
- Le 6 juin : pluie toute la matinée → entrée manquée
- Beau temps pendant le transit
- Pluie lors de la sortie !
- Arrivée des anglais sur l'Ile peu après
- Retenu sur place pendant 3 mois (étude du milieu naturel)
- Son navire est attaqué au retour et il est débarqué à Lisbonne
- "... nous fûmes réduits à la seule boisson ignoble de l'eau ..."

Voyage de Chappe et de Mason

V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche (1728-1769)
 - Envoyé à Tobolsk (au delà de l'Oural)
 - Long voyage en traineau sur le sol gelé
 - Observation parfaite de la durée : 5h48mn32s
- Il voyage Sibérie et donne un récit très riche
- Il repart pour le passage de 1769 en basse Californie (Baja California)
 - Frappé par une épidémie il meurt sur place après une observation parfaite
- Mason & Dixon
 - Envoyés à Sumatra par la Royal Society
 - Le bateau est attaqué par les Français en Manche !
 - La station prévue a été reprise par les Français
 - Le navire doit alors s'arrêter au Cap
 - Observation sans problème de la sortie de Vénus



Voyage de Chappe



- **Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche (1728-1769)**
 - Envoyé à Tobolsk (au delà de l'Oural)
 - Long voyage en traineau sur le sol gelé
 - Observation parfaite de la durée : 5h48mn32s
- Il voyage Sibérie et donne un récit très riche
- Il repart pour le passage de 1769 en basse Californie (Baja California)
 - Frappé par une épidémie il meurt sur place après une observation parfaite

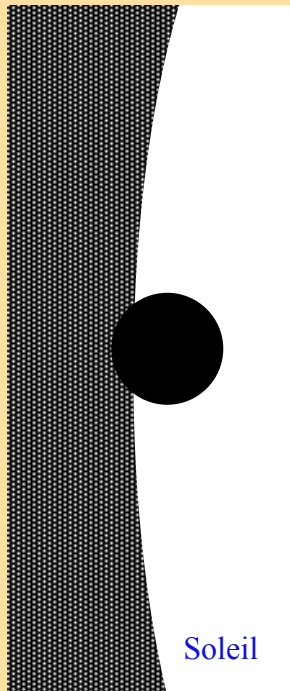
Résultats du passage de 1761

V
é
n
u
s

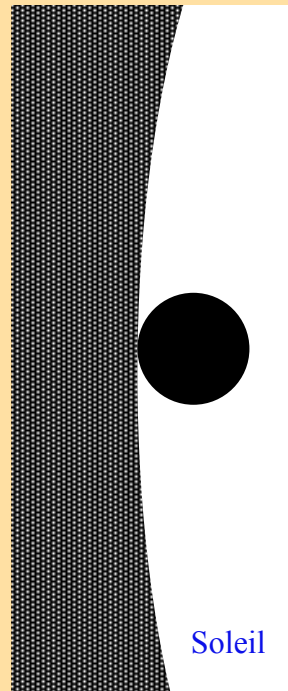
2
0
0
4

- Au total 120 observations répertoriées sur ~ 60 stations
- Passages complets observés que dans les stations nord
- Effet maximum de ~ 3mn
- Passages incomplets difficiles à exploiter à cause des longitudes
- Comparaison des observations complètes :
 - parallaxe entre 8.5" et 10.60" [125 - 155 millions km]
- Analyse des observations incomplètes
 - parallaxe de l'ordre de 10.25" [130 millions km]
- Résultats décevants : pas d'amélioration par rapport aux mesures sur Mars.

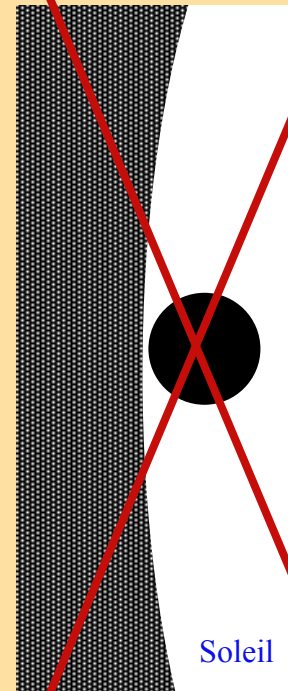
Effet de la "goutte noire"



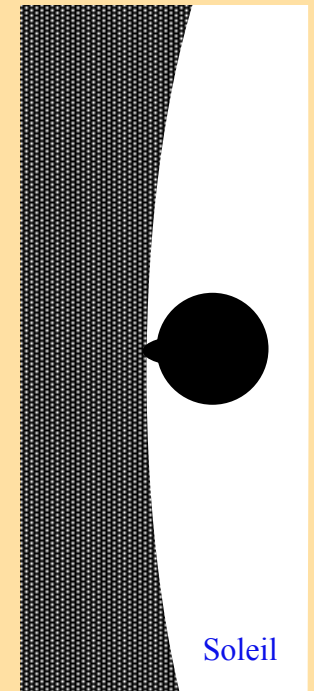
Avant le contact



Contact intérieur



~~Détachement attendu~~



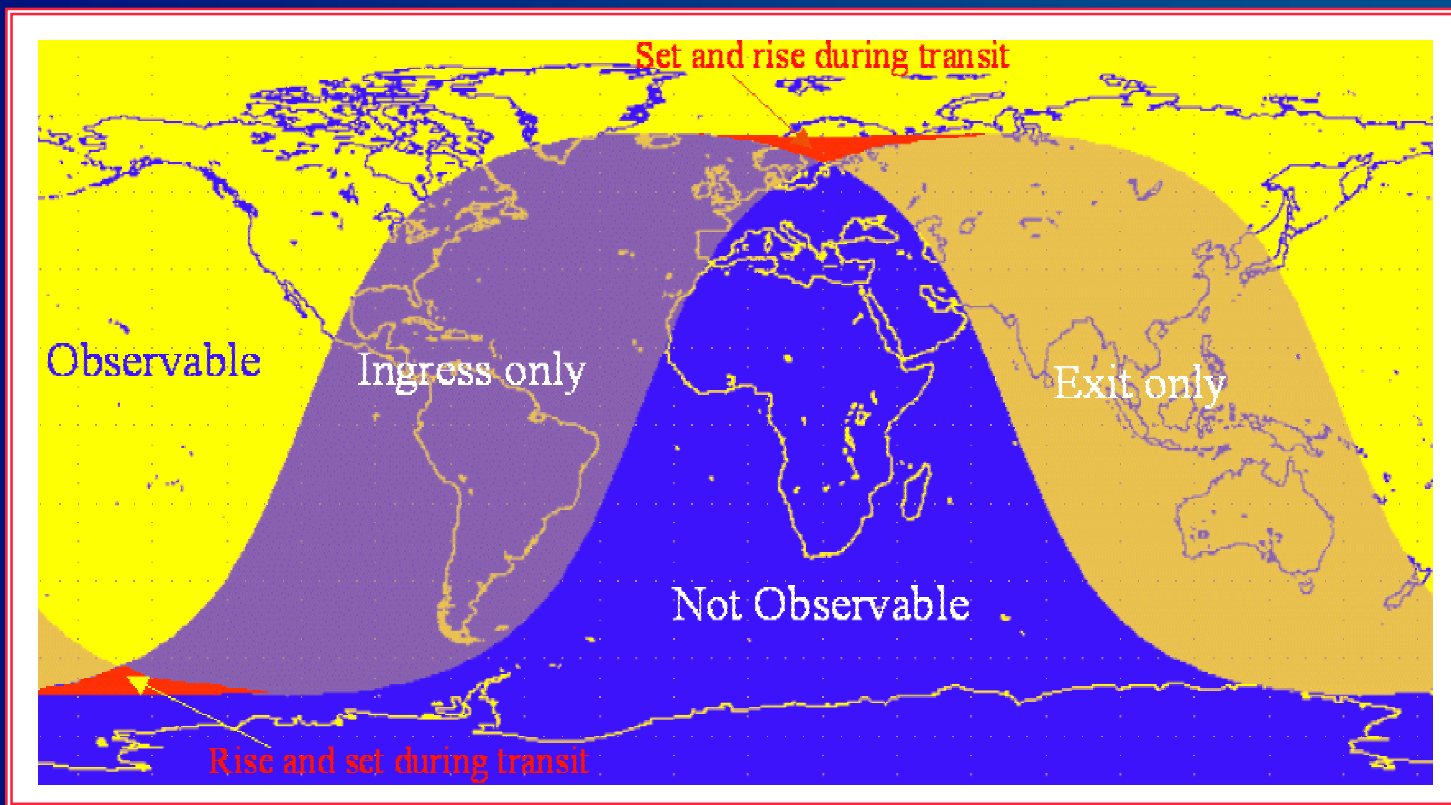
~10 s après le contact

L'identification des contacts est imprécise : 20s à 1 mn

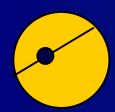
Passage de 1769

V
é
n
u
s

2
0
0
4



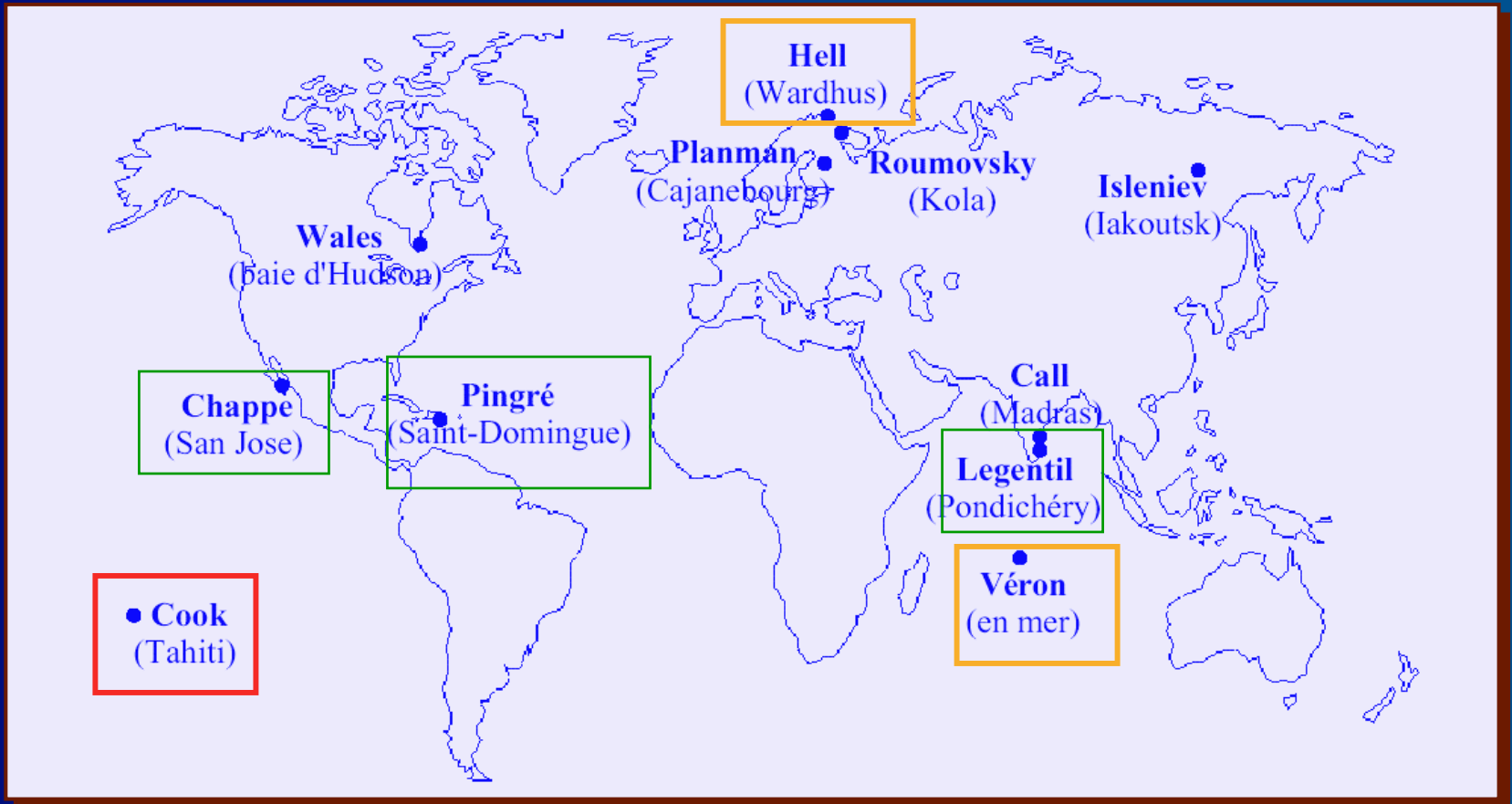
Carte de visibilité du passage



Expéditions de 1769

V
é
n
u
s

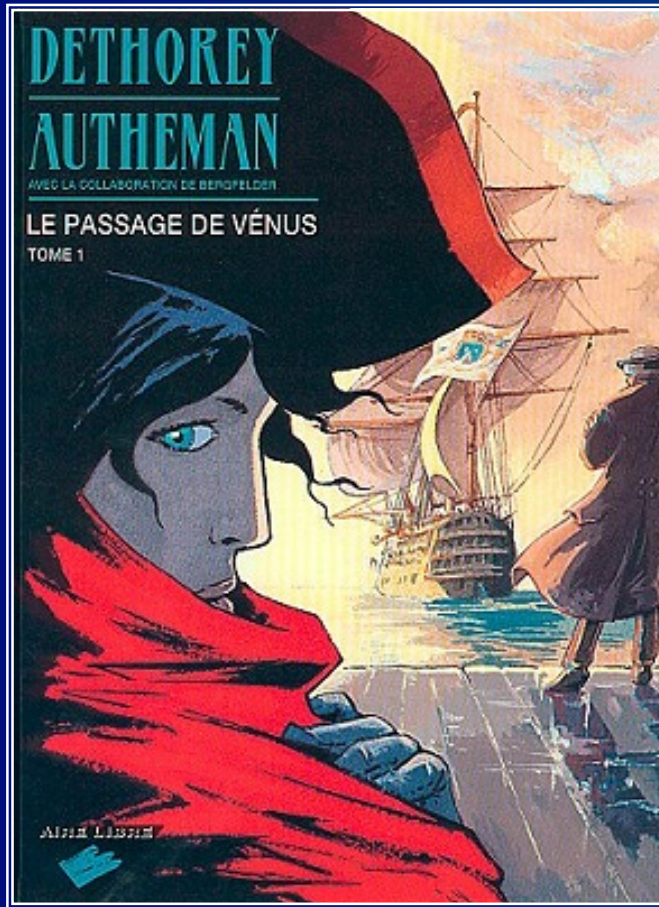
2
0
0
4



Observation de Véron

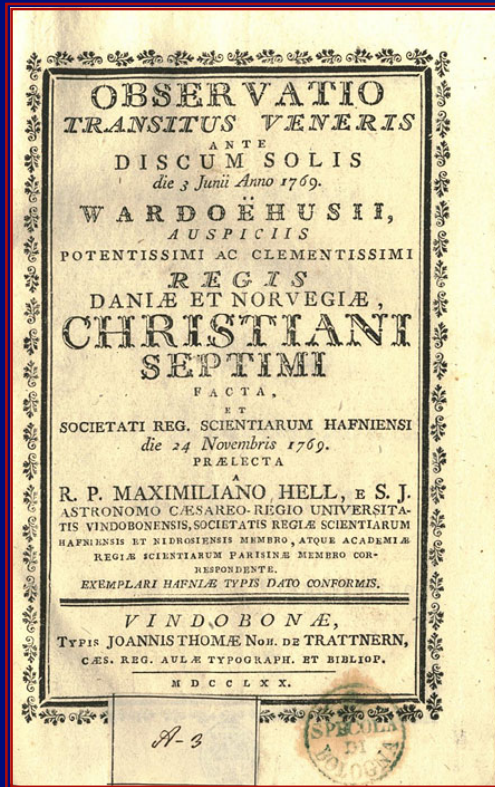
V
é
n
u
s

2
0
0
4



L'affaire Maximilien Hell

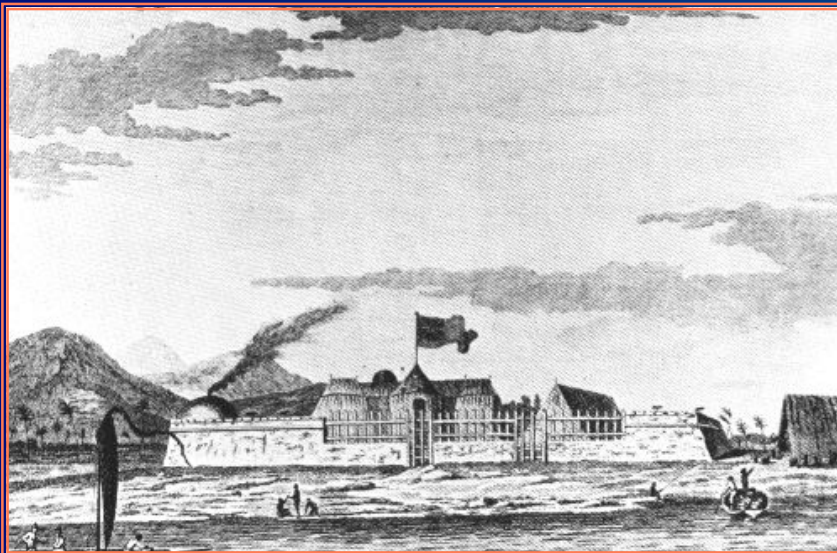
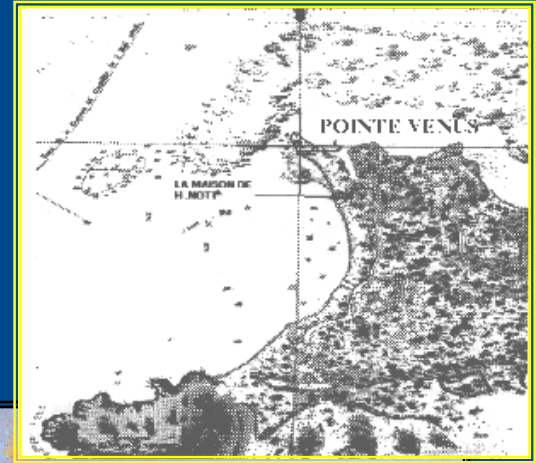
- Natif de Hongrie, appelé par l'Impératrice Marie-Thérèse
 - Directeur de l'Observatoire de Vienne
 - Il observe le passage de 1761.
 - Très haute réputation d'observateur
- Invité par le roi Christian VII de Danemark pour 1769
 - Observe le passage complet à Vardö (nord de la Norvège)



- Prend son temps pour revenir
 - Etude de la région et des peuples
- On attend ses résultats pendant 5 mois
- Il est suspecté d'avoir falsifié ses données
- La vérité est découverte en 1883 par S. Newcomb

Contributions de Cook

V
é
n
u
s

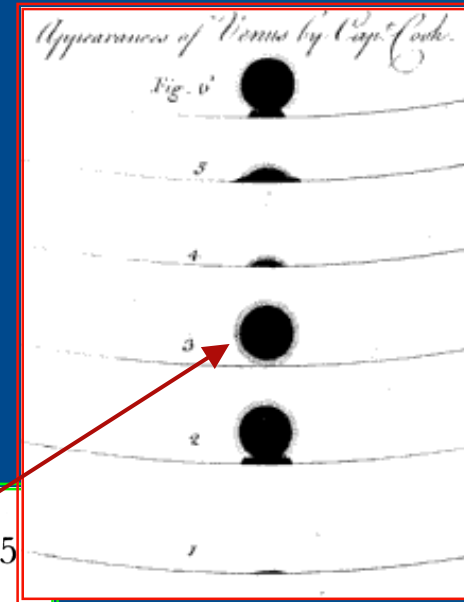


Passage à Tahiti

Entrée : 9h40 (temps local)

Sortie : 15h15

Trois observateurs à Fort Vénus



JUNE 1769 Tahiti 55

Sun's disk: [redacted] round
the body of the Planet which [redacted]
[redacted] particularly the two internal ones.¹⁸ D^r Solander observed as
well as M^r Green and my self, and we [redacted]
[redacted] much more than could be
expected. M^r Greens Telescope and mine were of the same Mag[n]ify-
ing power but that of the D^r was greater then ours. It was ne[a]rly
calm the whole day and the Thermometer expose'd to the Sun about
the middle of the Day rose to a degree of heat (119) we have not before
met with.

Journal de Voyage de l'Endeavour

V
é
n
u
s

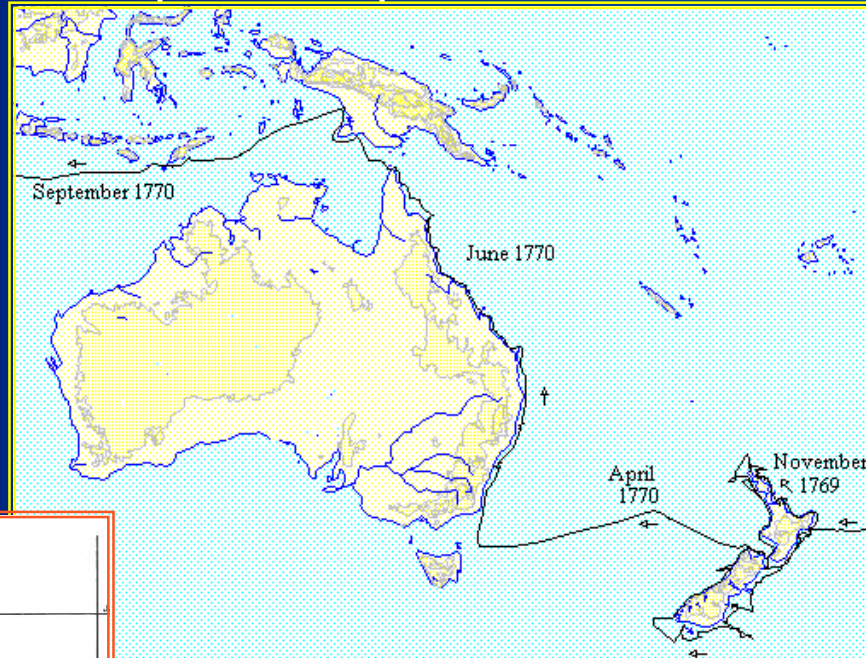
2
0
0
4

La suite du Voyage

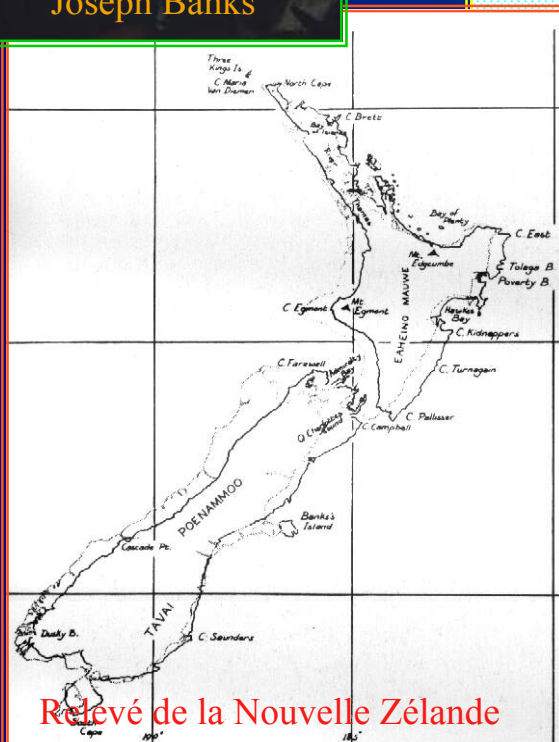
- Instructions secrètes pour l'exploration



Joseph Banks



James Cook



Relevé de la Nouvelle Zélande



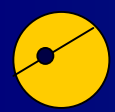
Première peinture d'un kangourou

Résultats du passage de 1769

V
é
n
u
s

2
0
0
4

- Au total 150 observations répertoriées sur ~ 70 stations
- Passages complets observés dans 5 stations
 - Finlande, Baie d'Hudson, Californie, Tahiti
- Effet maximum de ~ 23 mn (5h30mn à Tahiti, 5h53 à Vardoo)
- Nombreuses observations incomplètes
- Plus de 200 mémoires publiés avec des résultats :
 - parallaxe entre 8.5" et 8.9" [145 - 155 millions km]
- Résultats satisfaisants mais loin des espérances formulées par Halley (précision de 1/20 au lieu de 1/500)



Conclusions sur la distance du Soleil

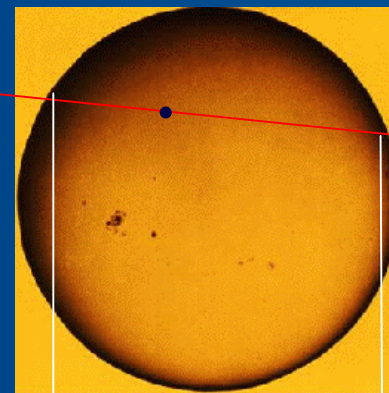
V
é
n
u
s

2
0
0
4

Méthode	date	parallaxe "	distance million km
Mars	1672	9.5 - 10	130 - 140
Vénus	1761	8.3 - 10.6	125 - 160
Vénus	1769	8.5 - 8.9	145 - 155
Mars	1862	8.84	149
Flora	1875	8.87	148
Mars	1885	8.78	150
Vénus	1874 - 82	8.790-8.880	148.1 - 149.7
Eros	1900	8.806	149.4
Eros	1930	8.790	149.7
radar	1970	8.79415	149.5978
Viking+radar	2000		149.597870691

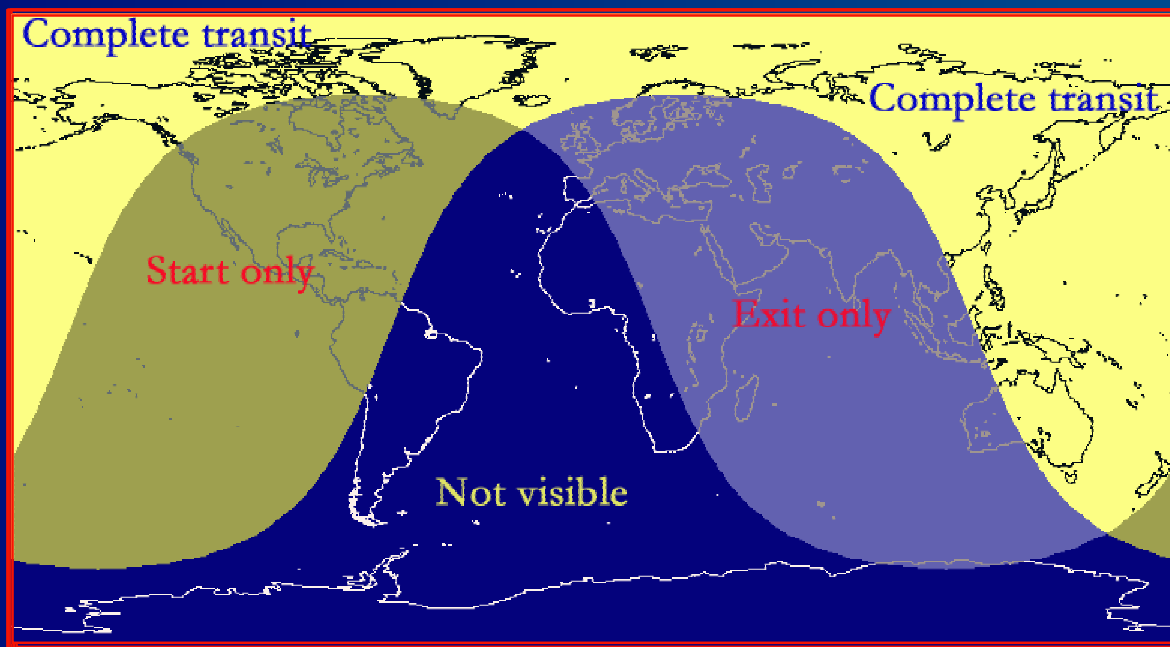
Vénus : mercredi 6 juin 2012

Sortie visible en France pendant ~ 40 mn au lever du jour.



22h26 TU

4h30TU



Entrée

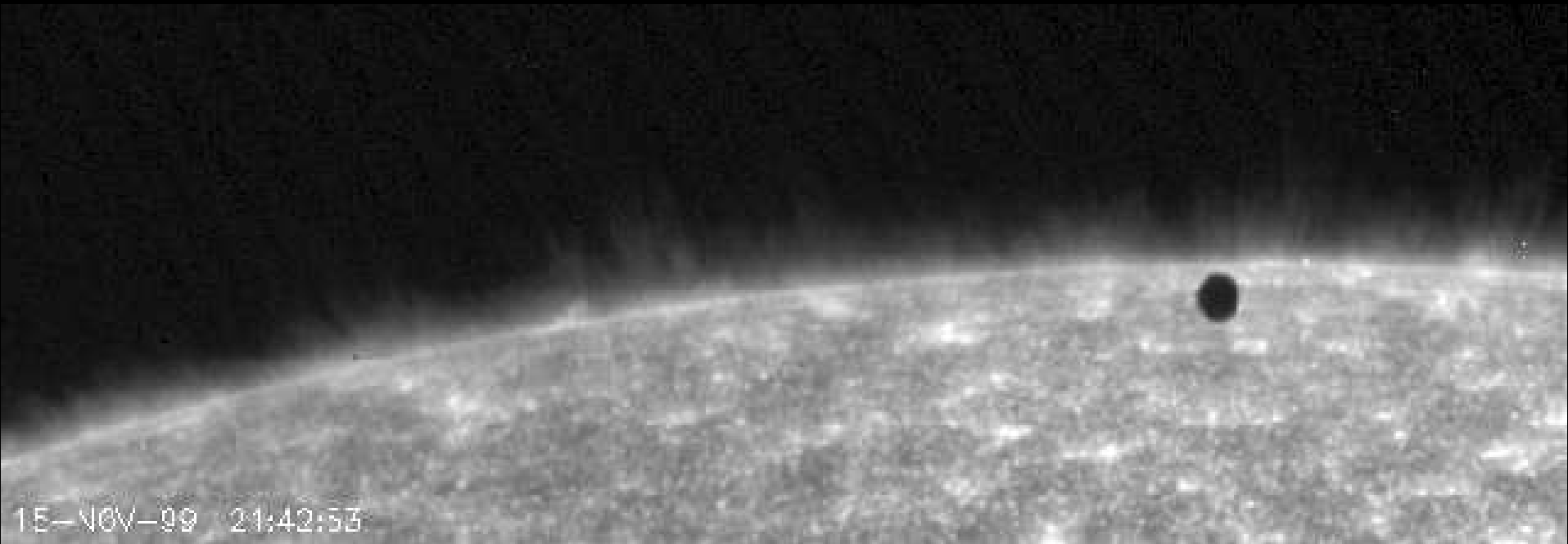
Sortie

V
é
n
u
s

2
0
1
2

FIN
8 2
Rendez vous en 2012

Passage de Mercure en 1999



Champtercier, (Alpes de Haute Provence)
Village natale de P. Gassendi

