

Master 1

UE 7-2

Astronomie

Sylvain Laubé

Centre F. Viète

Email : sylvain.laube@gmail.com

Plan du cours en astronomie

- 1) Le système solaire
- 2) Le système Terre-Lune-Soleil
- 3) Le système Terre-Soleil

Quelques questions préliminaires

...

Vrai ou Faux ?

- La durée du jour croît en hiver
- La durée du jour croît en été
- Le Soleil se lève à l'est
- La fréquence des éclipses de Lune est 2/an
- La fréquence des éclipses de Soleil est de 2/an

- Proposer un schéma et un petit texte expliquant le Système Solaire
- Proposer un schéma qui montre le mouvement du soleil au cours d'une journée

Des phénomènes observables

Astronomie en ligne

- La course du Soleil dans le ciel ([lien 1](#) ou [lien 2](#))
- Les phases de la Lune [>>](#)
- Les éclipses de Lune et de Soleil [>>>](#) [>>>>](#)

La rotation de la sphère céleste

La rotation de la sphère céleste

En regardant le ciel pendant plusieurs heures au cours d'une même nuit, on observe que la sphère céleste tourne sur elle même, c'est le mouvement de rotation diurne.

Pour mettre en évidence ce mouvement, on peut prendre une photographie centrée sur l'étoile polaire, avec un appareil photo sur pied et un temps de pose assez long (45 minutes environ).

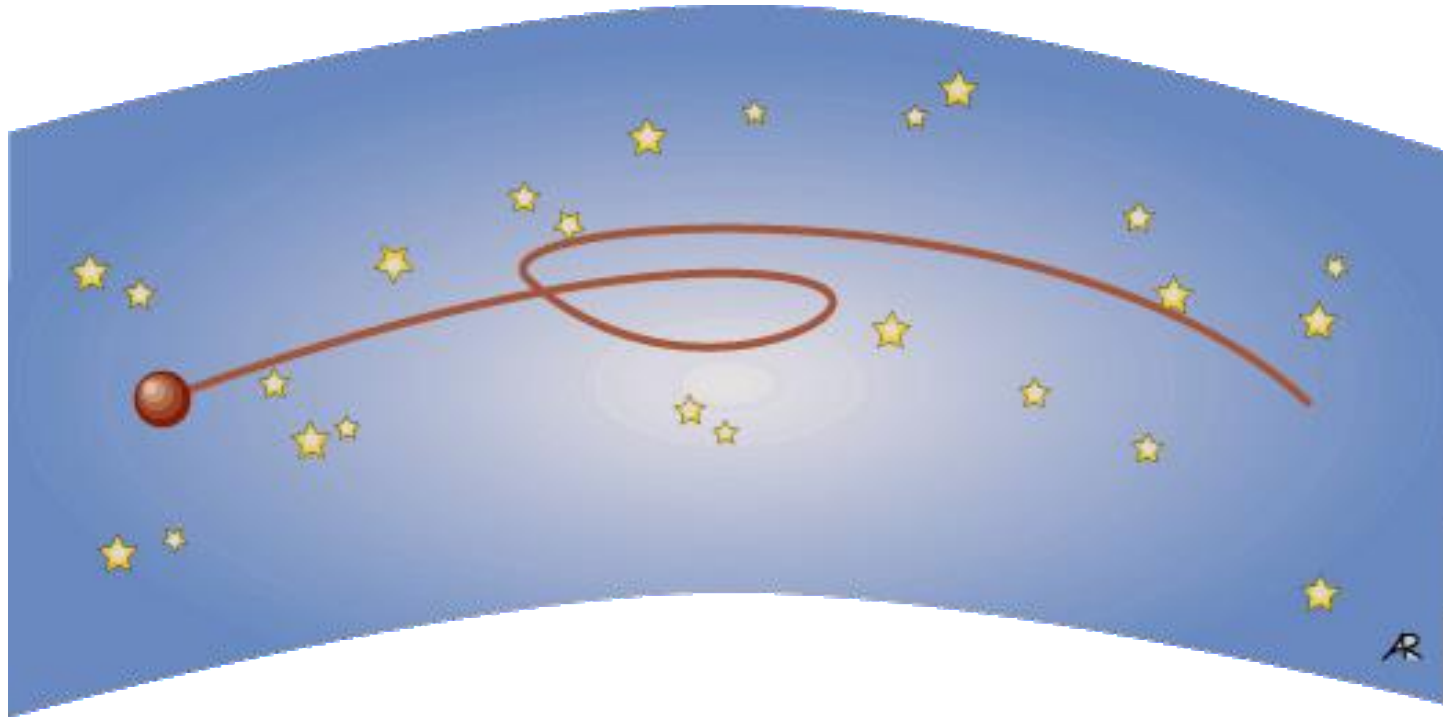


Mouvement rétrograde des planètes dans la sphère céleste

[Lien animation 1](#)

Mouvement rétrograde

Les planètes décrivent un mouvement apparent qui ralentit, s'arrête, revient en arrière, s'arrête à nouveau et repart vers l'avant.



C'est ce que l'on appelle le *mouvement rétrograde* des planètes.

La comète Hale-Bopp
en 1997 (Croatie).





Etoile filante



Perskill 1992

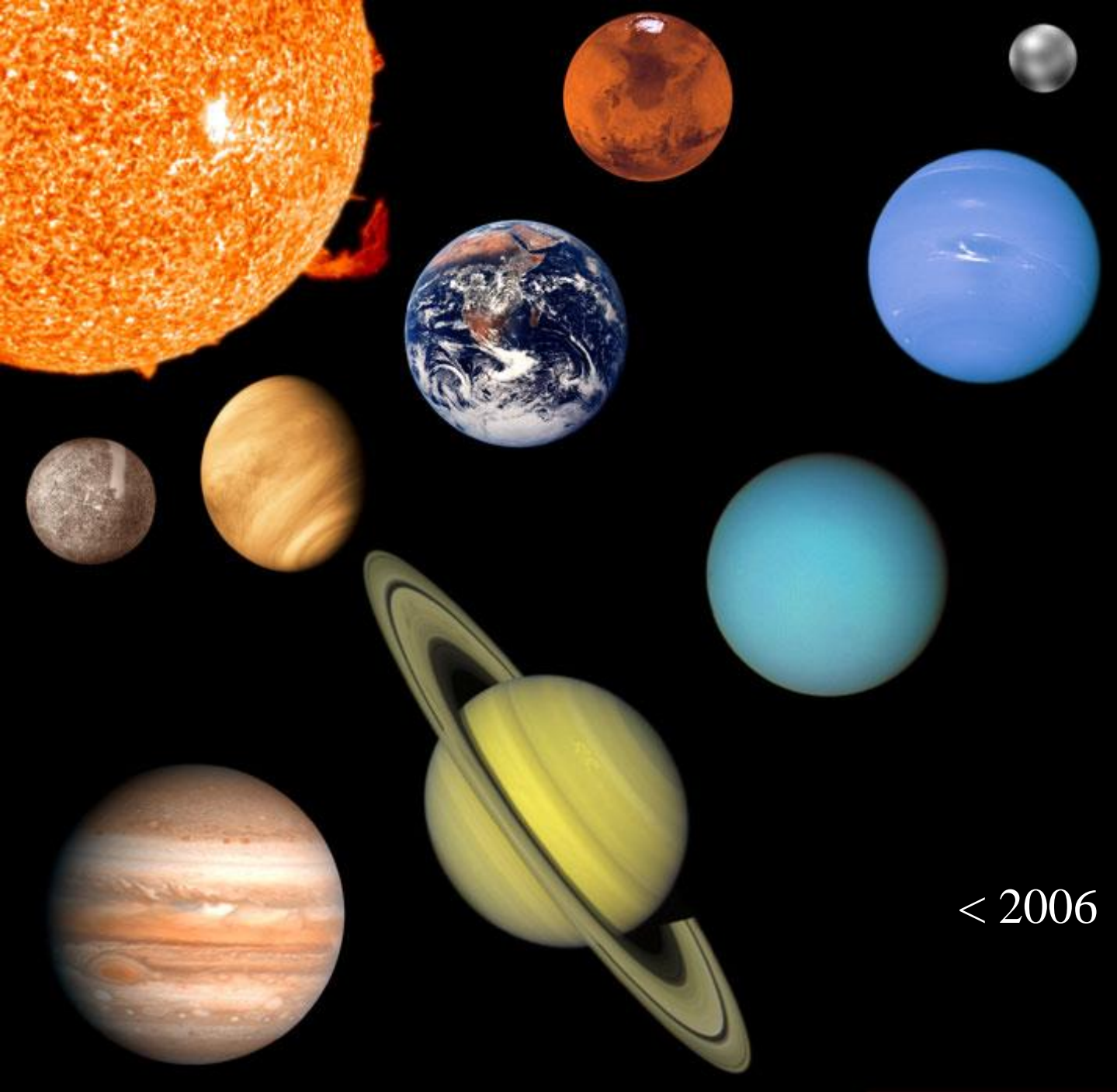
Météorite





Le plus gros fragment de météorite connu à ce jour a été trouvé en 1920 en Namibie. Cette météorite est connue sous le nom de météorite "Hoba". Il s'agit d'une sidérite de 60 tonnes. L'âge de sa chute n'est pas connue.

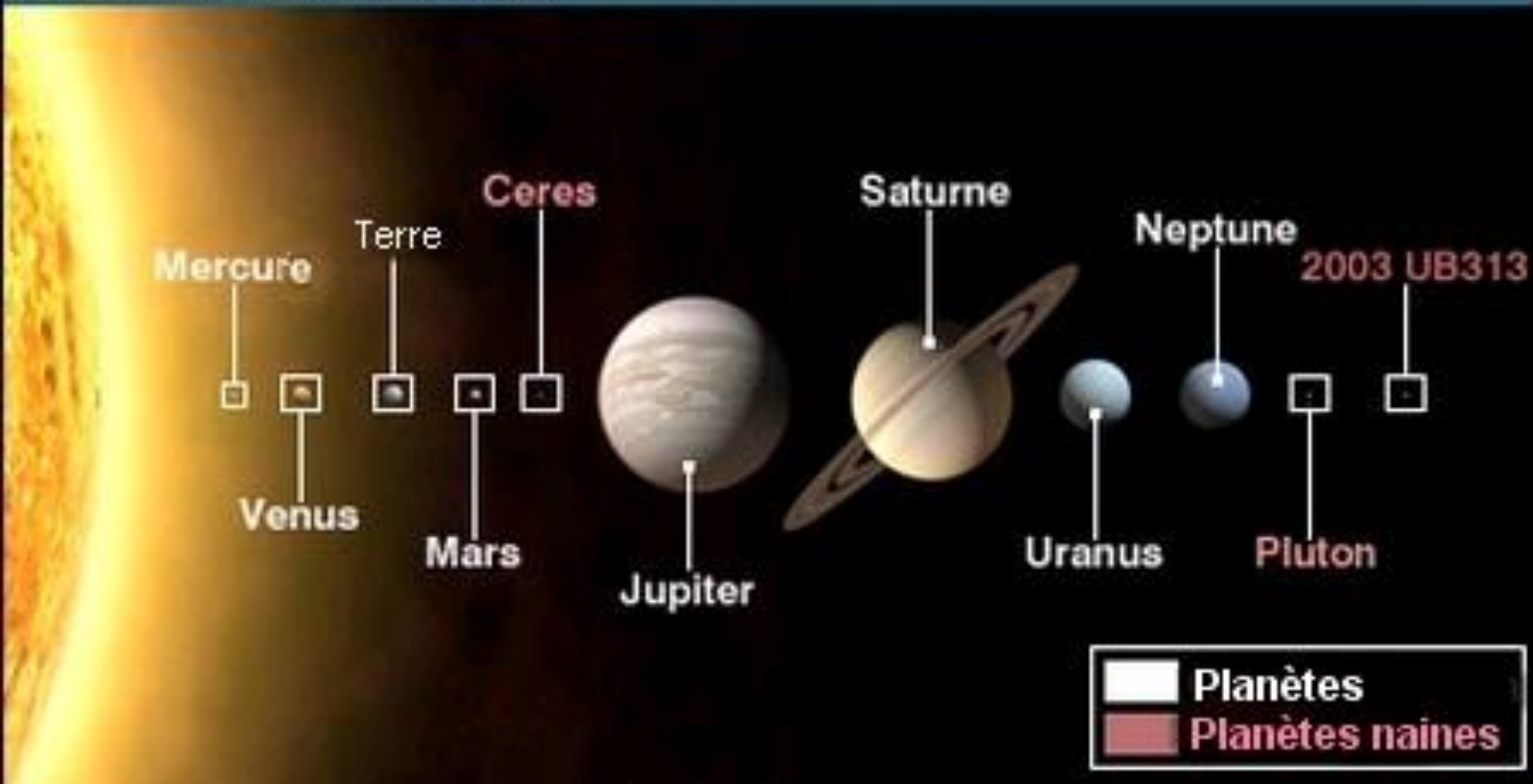
Le Système Solaire



< 2006



Le nouveau Système Solaire



Définition d'une planète :

- * En orbite autour d'une étoile, sans toutefois être une étoile ;
- * Suffisamment massives pour que l'effet de sa propre gravité lui confère une enveloppe sphérique ;
- * Dominant son environnement et ayant « dégagé le voisinage autour de son orbite »

Définition d'une planète naine :

corps céleste du système solaire qui satisfait aux conditions suivantes^L :

- il est en orbite autour du Soleil (ce n'est donc pas un satellite) ;
- Suffisamment massives pour que l'effet de sa propre gravité lui confère une enveloppe presque sphérique;
- il n'a pas fait place nette dans son voisinage orbital.
- il ne doit pas être un satellite naturel

Objet	Diamètre (km)	Masse (kg)
Éris	$2\,400 \pm 100$	$\sim 1,67 \times 10^{22}$
Pluton	$2\,306 \pm 20$	$\sim 1,305 \times 10^{22}$
Makemake	entre 1300 et 1900	?
Haumea	$\sim 1\,960 \times 1\,518$ $\times 996$	$\sim 4,2 \pm$ $0,1 \times 10^{21}$
Cérès	975×909	$9,5 \times 10^{20}$

Système composé des éléments suivants :

Une étoile : le Soleil

8 planètes : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne,
Uranus, Neptune

5 planètes naines

Des astéroïdes, situés essentiellement entre Mars et Jupiter

Des comètes

Des satellites naturels en orbite autour des planètes

Les distances en astronomie

En astronomie, si on exprimait les mesures de distance en mètre, il faudrait des nombres énormes, c'est pourquoi on utilise des unités de longueurs différentes comme l'unité astronomique (UA), l'année-lumière (a.l.), le parsec (pc)...

L'unité astronomique (UA) : elle représente la distance moyenne de la Terre au Soleil (149,5 millions de km), elle a longtemps servi, et sert encore d'étalon de mesure pour les distances dans le système solaire.

L'année-lumière (a.l.) : elle est définie comme étant la distance parcourue par la lumière en un an, soit $9,46 \times 10^{15}$ m. Ainsi Alpha du Centaure qui est l'étoile la plus proche est à 4,2 a.l. (4×10^{16} m), ce qui signifie que la lumière met 4,2 ans à nous parvenir de cette étoile.

Le parsec (pc) : le parsec est la distance à laquelle on observerait une longueur de 1UA (distance Terre-Soleil) sous un angle de 1 seconde (un degré fait 3600 secondes).
1 parsec = 3,26 années-lumière.

Le rayon solaire (R_S) : cette unité sert à comparer la taille des étoiles avec celle de notre Soleil. Elle correspond à $6,95 \times 10^8$ m, soit le rayon du Soleil.

Le Système Solaire

[Planète 3D](#)

À télécharger ici :

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/systeme%20solaire%203d/Ssol3d.htm>

Caractéristiques de planètes

	Nom	Diamètre équatorial ^[a]	Masse ^[a]	Demi-grand axe (UA)	Période de révolution (années)	Inclinaison sur le plan équatorial du Soleil (°)	Excentricité de l'orbite	Période de rotation (jours) ^[c]	Satellites ^[d]	Anneaux	Atmosphère
Planètes internes	Mercure	0.382	0.06	0.387	0.24	3.38	0.206	58.64	—	non	négligeable
	Vénus	0.949	0.82	0.723	0.62	3.86	0.007	-243.02	—	non	CO ₂ , N ₂
	Terre ^[b]	1.00	1.00	1.00	1.00	7.25	0.017	1.00	1	non	N ₂ , O ₂
	Mars	0.532	0.11	1.523	1.88	5.65	0.093	1.03	2	non	CO ₂ , N ₂
Géantes gazeuses	Jupiter	11.209	317.8	5.203	11.86	6.09	0.048	0.41	63	oui	H ₂ , He
	Saturne	9.449	95.2	9.537	29.46	5.51	0.054	0.43	53	oui	H ₂ , He
	Uranus	4.007	14.6	19.229	84.01	6.48	0.047	-0.72	27	oui	H ₂ , He
	Neptune	3.883	17.2	30.069	164.8	6.43	0.009	0.67	13	oui	H ₂ , He

Les grandes lignes :

- 4 planètes « Intérieures » de type tellurique (présentant une croûte solide, une densité élevée=4-5, un diamètre de 5 000 à 12 000 km), proches du Soleil et entre elles (situées dans un rayon $<$ ou $=$ à 1.5 U.A.), peu ou pas de satellites naturels.
- 4 planètes « Extérieures » de type gazeux (sans croûte solide, une densité de l'ordre de 1, un diamètre de 40 000 à 120 000 km), éloignée du Soleil (dans un rayon compris entre 5 et 40 U.A.), de nombreux satellites naturels.
- Des planètes naines

- Si on considère que Mercure (diamètre : 5000 km) a un diamètre de 1 cm, le diamètre du Soleil devient 2.90 m, les planètes « intérieures » ont des diamètres de l'ordre du cm, les planètes « extérieures » de l'ordre de la dizaine de cm.
- Les trajectoires des planètes peuvent être considérées comme des cercles avec le Soleil au centre de ce cercle, sauf pour les planètes dont l'excentricité est de l'ordre de 0.2 : dans ce cas, le Soleil est décentré par rapport au centre du cercle, voir figure 1.

Trajectoires des planètes et des satellites

D'après Kepler le centre du Soleil occupe l'un des foyers de l'ellipse.

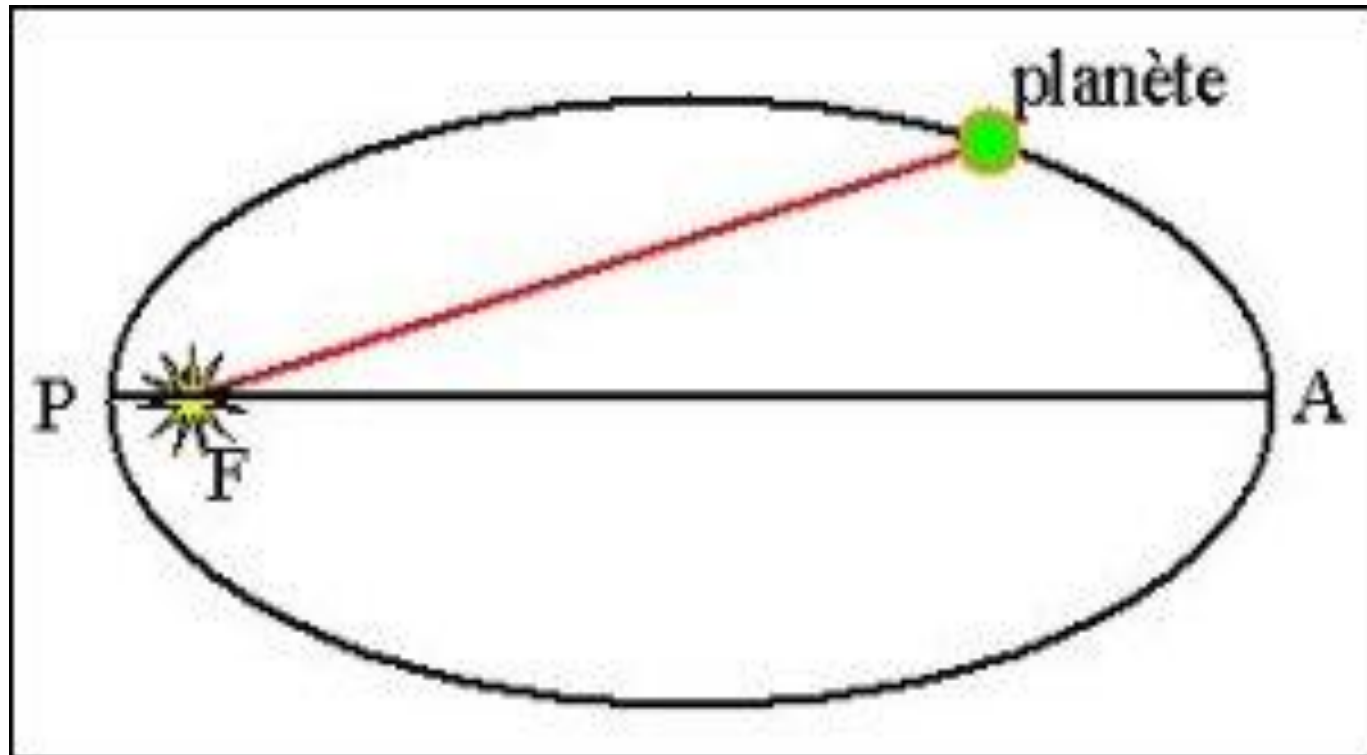
P, le **périhélie**, est le point le plus proche du Soleil.

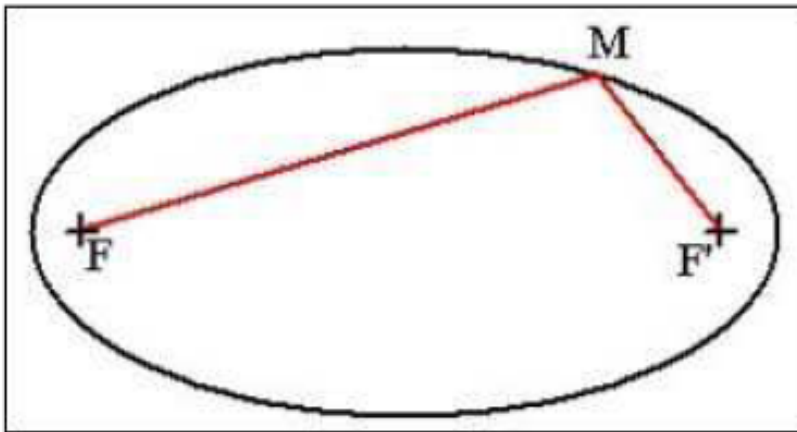
A, l'**aphélie**, est le point le plus éloigné du Soleil.

Pour un **satellite de la Terre** on appellera ces mêmes points **périgée** et **apogée**.

Pour les **satellites d'un astre** quelconque ils s'appelleront **périastre** et **apoastre**.

La durée mise pour parcourir une fois l'ellipse s'appelle période.



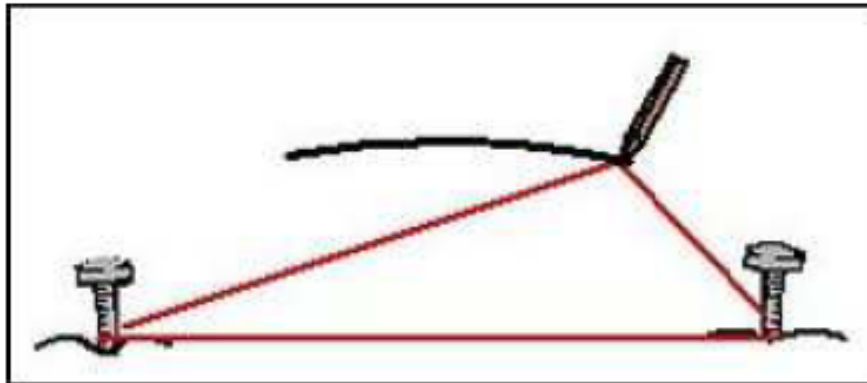


Définition :

L'ellipse est l'ensemble des points M du plan dont la somme des distances à deux points fixes du même plan est une constante donnée.

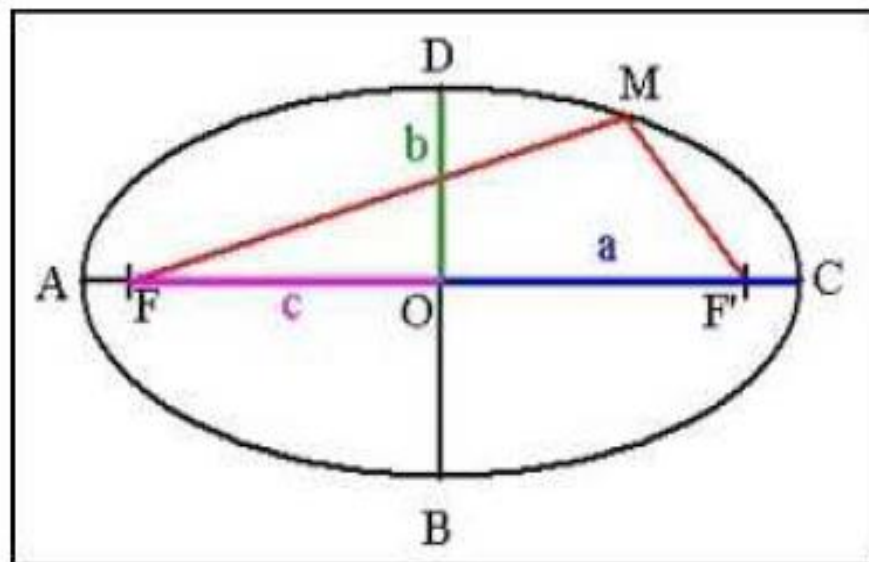
Les deux points fixes F et F' sont appelés **foyers**.

..



Tracé d'une ellipse :

Un jardinier trace facilement une ellipse en déplaçant un plantoir maintenu en contact avec une ficelle en boucle autour de deux piquets fixes F et F' .



Paramètres :

AC : grand axe

BD : petit axe

O : centre

F et F' : foyers

a : longueur du demi grand axe

b : longueur du demi petit axe

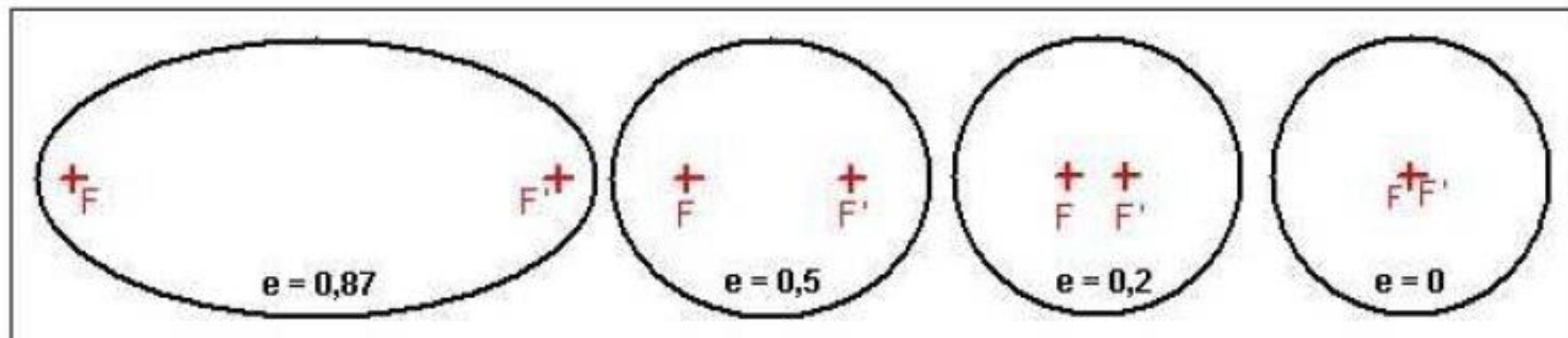
c : distance du centre au foyer

e : excentricité $e = c/a$

Pour tout point M de l'ellipse $MF + MF' = 2a$

Pour une ellipse l'excentricité est comprise entre 0 et 1.

Excentricité d'une ellipse :



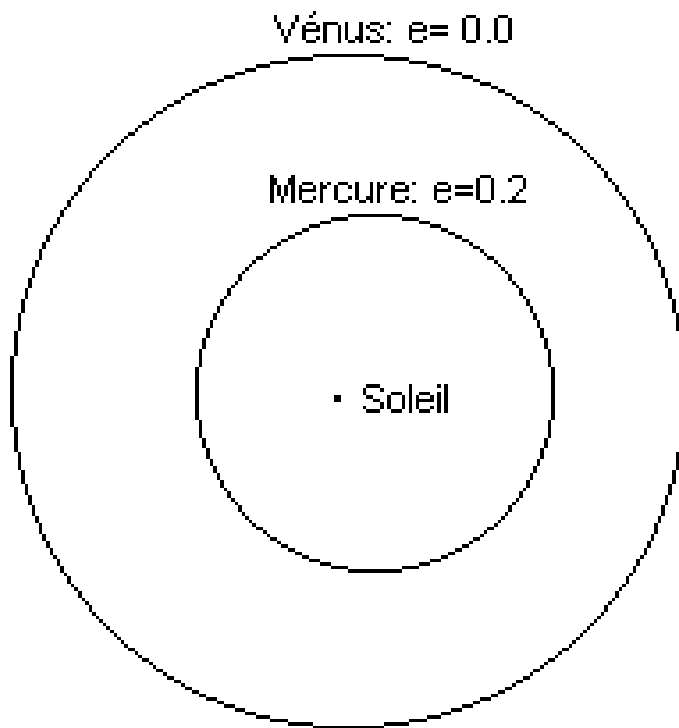
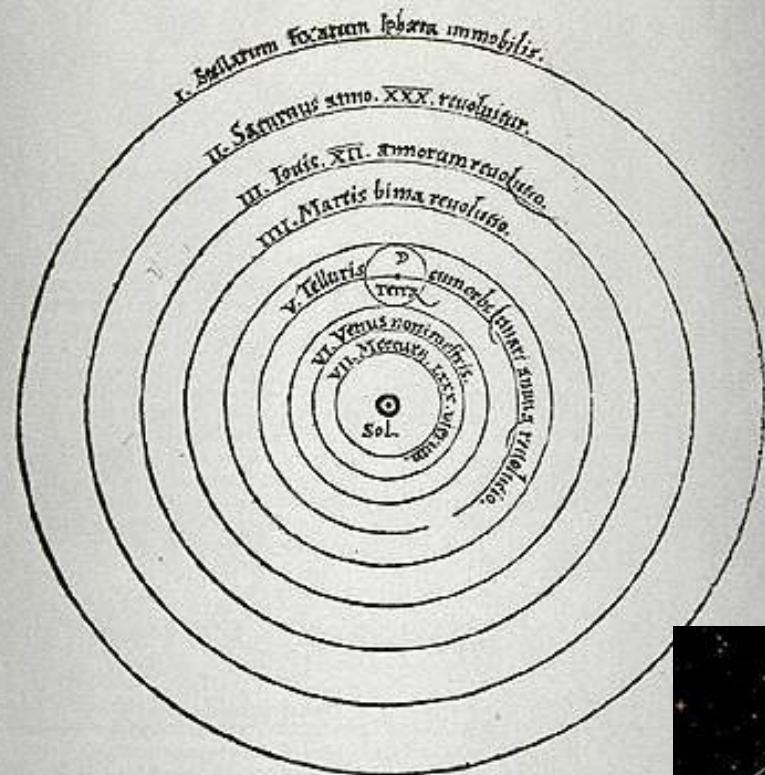


Figure 1

Les trajectoires des planètes peuvent être considérées comme des cercles avec le Soleil au centre de ce cercle, sauf pour les planètes dont l'excentricité est de l'ordre de 0.2 : dans ce cas, le Soleil est décentré par rapport au centre du cercle, voir figure 1.

NICOLAI COPERNICI

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circucurrens. In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



pulcherimo templo lampadem hanc in alio uel meliori neret, quam unde totum simul possit illuminare. Siquis inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij recto cant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophoclis Electra omnia. Ita profecto tanquam in folio re gali Sol residen agentem gubernat Astorum familiam. Tellus quoque fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de ani ait, maximam Luna cum terra cognationem habet. Concipit Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus ig



Troisième loi de Kepler : Soient T la période sidérale d'un objet (temps entre deux passages successifs devant une étoile lointaine) et a le demi-grand axe de la trajectoire de la planète :

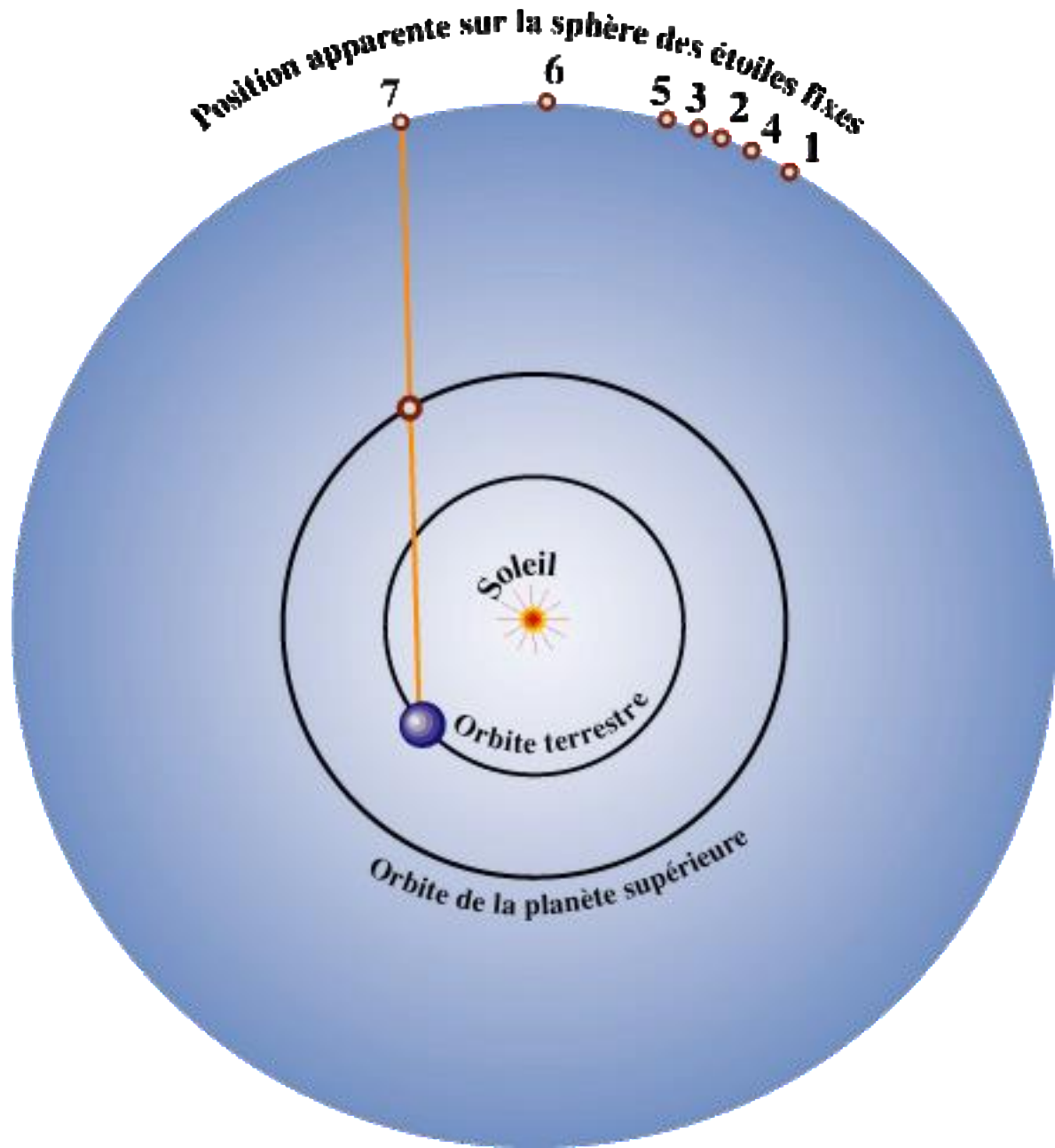
$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

Explication du mouvement rétrograde des planètes

Comète	Période T (a)	Excentricité e	Demi-grand axe a (ua)	Demi-petit axe b (ua)
2P/Encke	3,298 45	0,847 45	2,215 85	1,176 34
C/1975 V1 (West)	6,12	0,582	3,345 81	2,720 77
3D/Biela	6,620 79	0,755 92	3,525 93	2,308 3
108P/Ciffreo	7,23	0,543 173	3,739 03	3,139 37
13P/Olbers	72,405	0,930 97	17,371 8	6,342 38
1P/Halley	76,028 8	0,967 28	17,946 7	4,553 29
109P/Swift- Tuttle	135,1	0,963 589	26,329 2	7,040 09
C/2004 F4 (Bradfield)	293	0,987 6	44,114 2	6,925 54
C/1969 Y1 (Bennett)	1678	0,996 2	142,44	12,405 8
C/1995 O1 (Hale-Bopp)	2380	0,994 972	178,259	17,853 3

Explication du mouvement rétrograde

Vues de la Terre, les planètes semblent se déplacer de l'ouest vers l'est. Mais, lors de leur parcours de l'écliptique, elles reviennent périodiquement en arrière, vers l'ouest. Pour les Grecs, ce phénomène s'expliquait par les épicycles et les déférents. On peut construire une illustration analogue pour les planètes inférieures.



[Lien animation 1](#)

Système Terre-Lune-Soleil

La distance Terre/Lune est de 380 000 km et le diamètre de ce satellite est de 3500 km

- Les phases de la Lune : ce phénomène dont la période (synodique) est 29.5 jours est dû à la rotation de la Lune autour de la Lune et au fait que le plan de sa trajectoire fait un angle de 5° avec le plan de l'écliptique de la Terre.

Animation à critiquer :

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/cinquieme/optique/phases_lune.htm

orbite apparente du Soleil
sur la sphère céleste

Plan de l'orbite
de la Lune

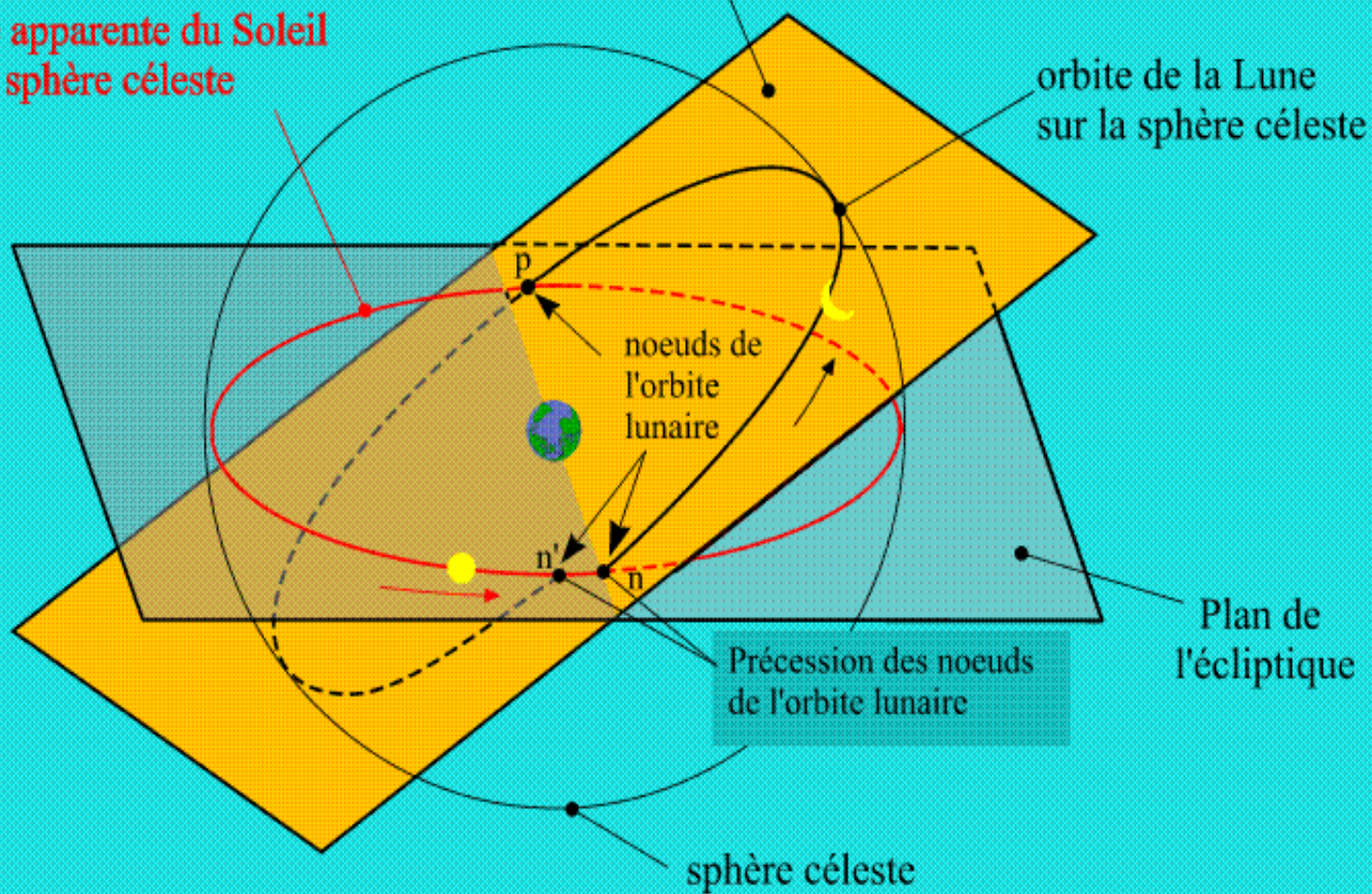
orbite de la Lune
sur la sphère céleste

noeuds de
l'orbite
lunaire

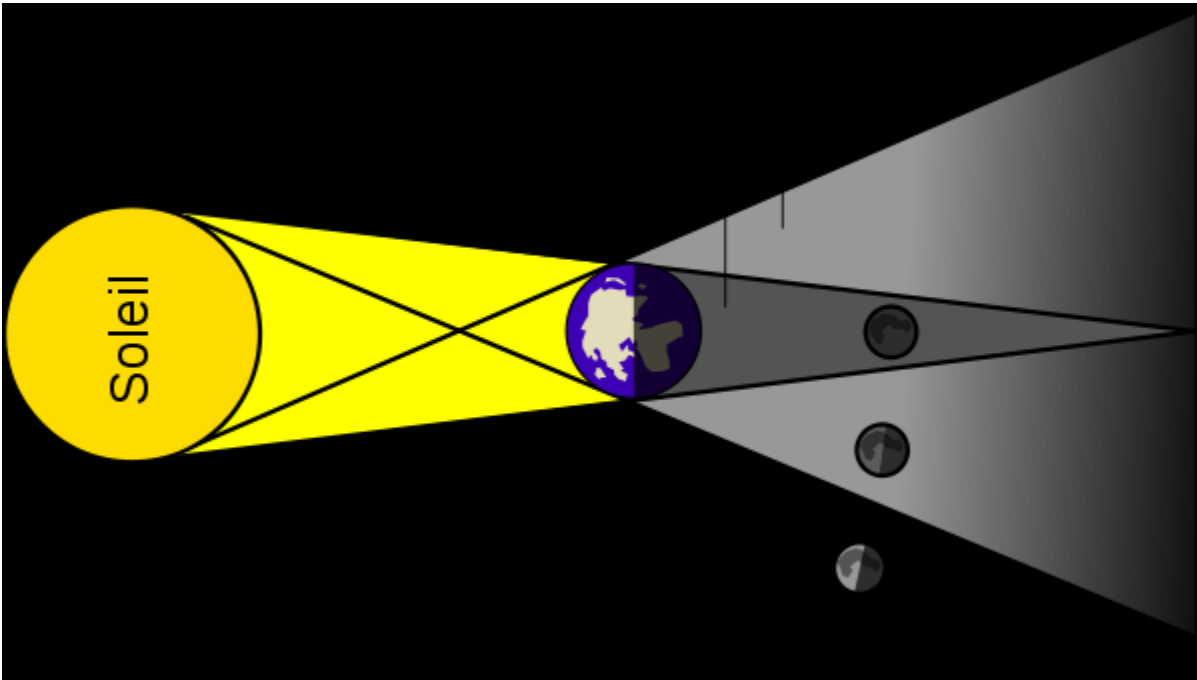
Précession des noeuds
de l'orbite lunaire

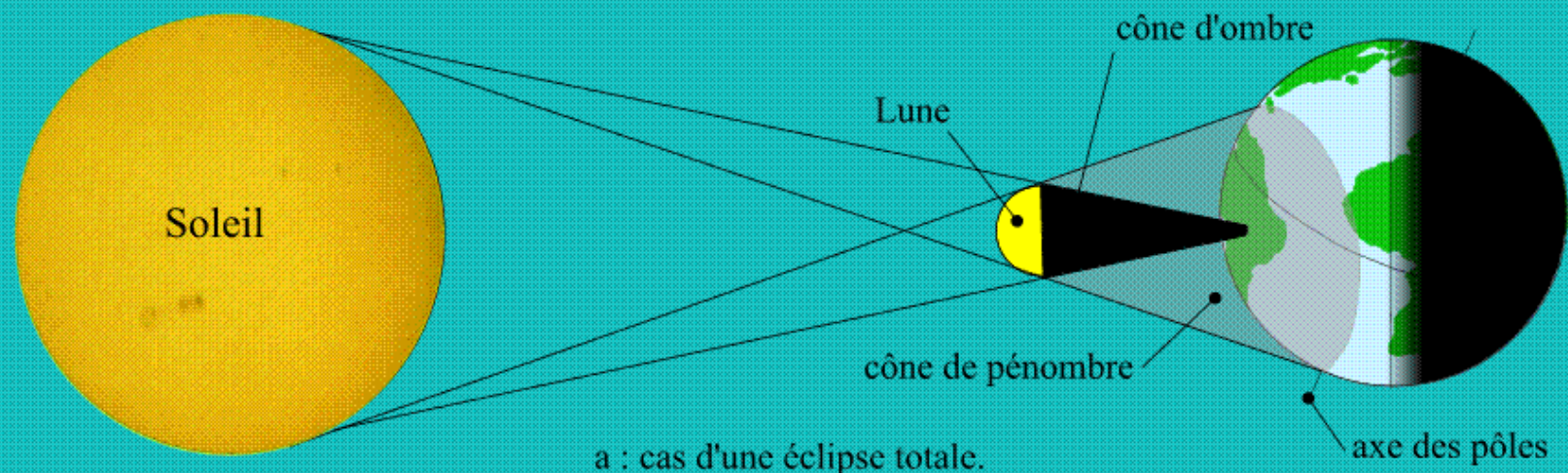
Plan de
l'écliptique

sphère céleste

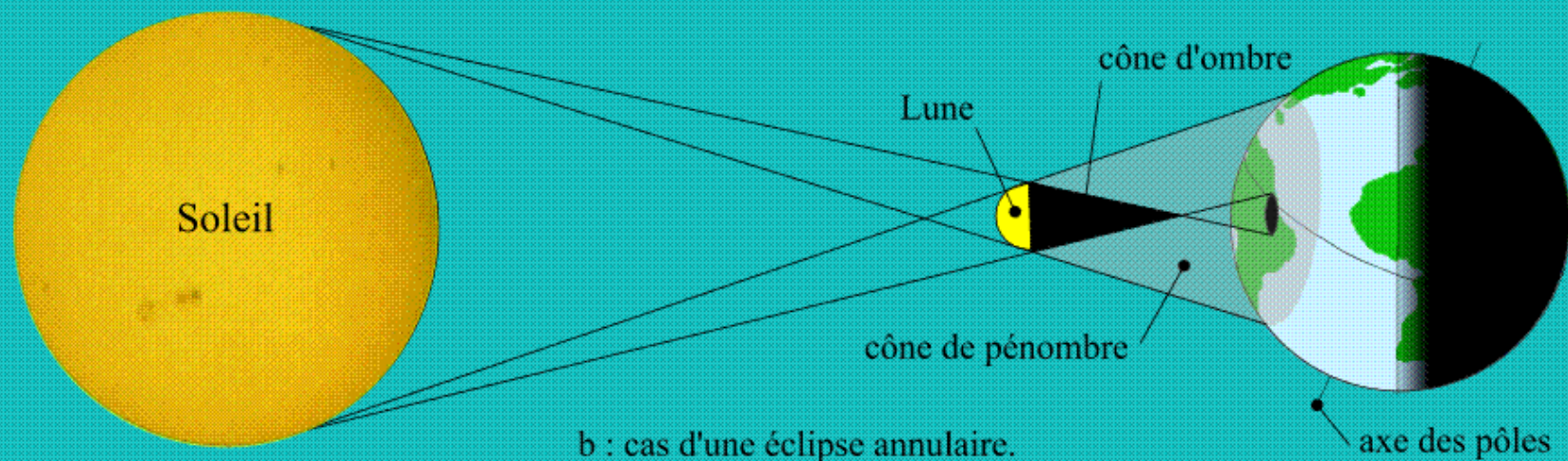


date (ISO)	type	m _p	m _o	P1 (UT)	U1 (UT)	U2 (UT)	max (UT)	U3 (UT)	U4 (UT)	P4 (UT)	α (h)	δ (deg)	Saros	Visibilité	Liens
2005-04-24	pén.	0.89	-0.14	07:50	-	-	09:55	-	-	12:00	14 ^h 06 ^m	-13°55'	141/23	E. Asie, Aus., Pac., Am.	S
2005-10-17	par.	1.08	0.07	09:51	11:34	-	12:03	-	12:32	14:15	01 ^h 28 ^m	+10°15'	146/10	Asie, Aus., Pac., Am.N.	S
2006-03-14	pén.	1.06	-0.06	21:22	-	-	23:48	-	-	02:14	11 ^h 41 ^m	+03°05'	113/63	Am., Eur., Afr., Asie	S • G
2006-09-07	par.	1.16	0.19	16:42	18:05	-	18:51	-	19:38	21:00	23 ^h 07 ^m	-06°44'	118/51	Eur., Afr., Asie, Aus.	S • G
2007-03-03	tot.	2.35	1.24	20:16	21:30	22:44	23:21	23:58	01:12	02:25	10 ^h 58 ^m	+06°56'	123/52	Am., Eur., Afr., Asie	S • G
2007-08-28	tot.	2.48	1.48	07:52	08:51	09:52	10:37	11:23	12:24	13:22	22 ^h 27 ^m	-09°58'	128/40	E. Asie, Aus., Pac., Am.	S • G
2008-02-21	tot.	2.17	1.11	00:35	01:43	03:01	03:26	03:52	05:09	06:17	10 ^h 15 ^m	+10°28'	133/26	Am., Eur., Afr., c. Atl.	S • G
2008-08-16	par.	1.86	0.81	18:23	19:36	-	21:10	-	22:45	23:57	21 ^h 46 ^m	-12°55'	138/29	Am.S., Eur., Afr., Asie, Aus.	S • G





a : cas d'une éclipse totale.

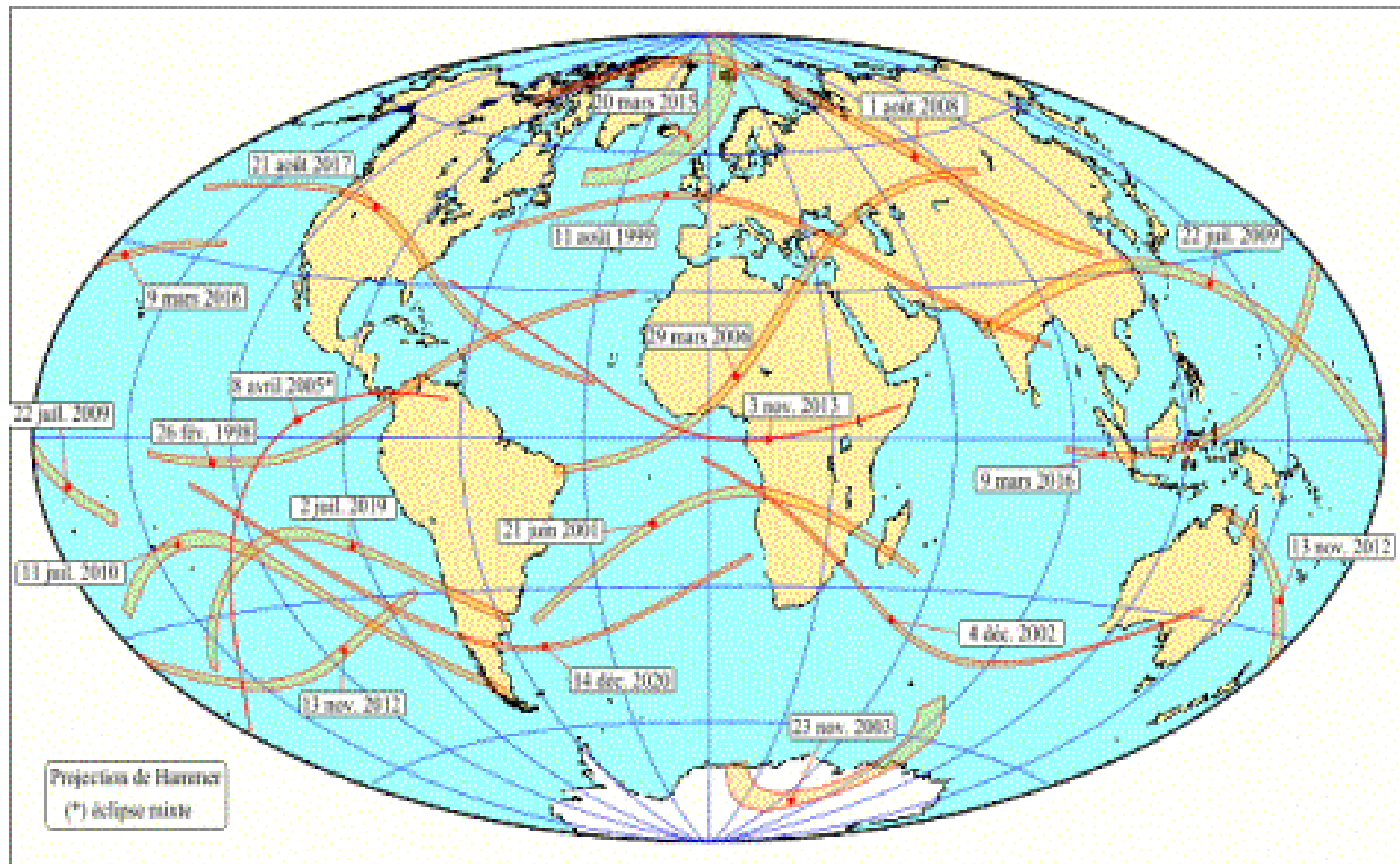


b : cas d'une éclipse annulaire.

Éclipses centrales du Soleil (les distances ne sont pas respectées)

19 avril 2004				Partielle		Antarctique, Afrique du Sud
14 octobre 2004				Partielle		Asie, Hawaii, Alaska
8 avril 2005	18:54	20:35	22:18	Hybride	0 min 42 s	Pacifique, Amérique centrale
3 octobre 2005	08:41	10:31	12:22	Annulaire	4 min 32 s	Afrique du Nord, Europe, Proche-Orient, Moyen-Orient, Inde
29 mars 2006	08:36	10:11	11:48	Totale	4 min 07 s	Afrique de l'Ouest, Afrique du Nord, Grèce, Turquie, Asie centrale, Mongolie
22 septembre 2006	09:48	11:40	13:31	Annulaire	7 min 09 s	Amérique du Sud, Afrique de l'Ouest, Antarctique
19 mars 2007				Partielle		Asie, Alaska
11 septembre 2007				Partielle		Amérique du Sud, Antarctique
7 février 2008				Annulaire	2 min 12 s	Antarctique, Australie, Nouvelle-Zélande
1 ^{er} août 2008	09:21	10:21	11:21	Totale	2 min 27 s	Canada, Europe, Asie
26 janvier 2009	06:02	07:58	09:54	Annulaire	7 min 54 s	Afrique du Sud, Antarctique, Asie du Sud-Est, Australie
22 juillet 2009	00:51	02:35	04:19	Totale	6 min 39 s	Inde, Chine, Pacifique

date (ISO)	type	m _p	m _o	P1 (UT)	U1 (UT)	U2 (UT)	max (UT)	U3 (UT)	U4 (UT)	P4 (UT)	α (h)	δ (deg)	Saros	Visibilité	Liens
2005-04-24	pén.	0.89	-0.14	07:50	-	-	09:55	-	-	12:00	14 ^h 06 ^m	-13°55'	141/23	E. Asie, Aus., Pac., Am.	S
2005-10-17	par.	1.08	0.07	09:51	11:34	-	12:03	-	12:32	14:15	01 ^h 28 ^m	+10°15'	146/10	Asie, Aus., Pac., Am.N.	S
2006-03-14	pén.	1.06	-0.06	21:22	-	-	23:48	-	-	02:14	11 ^h 41 ^m	+03°05'	113/63	Am., Eur., Afr., Asie	S • G
2006-09-07	par.	1.16	0.19	16:42	18:05	-	18:51	-	19:38	21:00	23 ^h 07 ^m	-06°44'	118/51	Eur., Afr., Asie, Aus.	S • G
2007-03-03	tot.	2.35	1.24	20:16	21:30	22:44	23:21	23:58	01:12	02:25	10 ^h 58 ^m	+06°56'	123/52	Am., Eur., Afr., Asie	S • G
2007-08-28	tot.	2.48	1.48	07:52	08:51	09:52	10:37	11:23	12:24	13:22	22 ^h 27 ^m	-09°58'	128/40	E. Asie, Aus., Pac., Am.	S • G
2008-02-21	tot.	2.17	1.11	00:35	01:43	03:01	03:26	03:52	05:09	06:17	10 ^h 15 ^m	+10°28'	133/26	Am., Eur., Afr., c. Atl.	S • G
2008-08-16	par.	1.86	0.81	18:23	19:36	-	21:10	-	22:45	23:57	21 ^h 46 ^m	-12°55'	138/29	Am.S., Eur., Afr., Asie, Aus.	S • G



- Les éclipses : ce phénomène est dû à l'alignement Terre-Lune-Soleil (Eclipse de Soleil) ou Lune-Terre-Soleil (Eclipse de Lune). Cet alignement n'est possible que lorsque les nœuds de la trajectoire de la Lune (les points d'intersection de la trajectoire de la Lune avec le plan de l'écliptique) sont dans l'axe Terre-Soleil et que la Lune passe à ce moment-là par l'un des nœuds (ce qui explique la rareté du phénomène: en gros 2 moments favorables par an...)

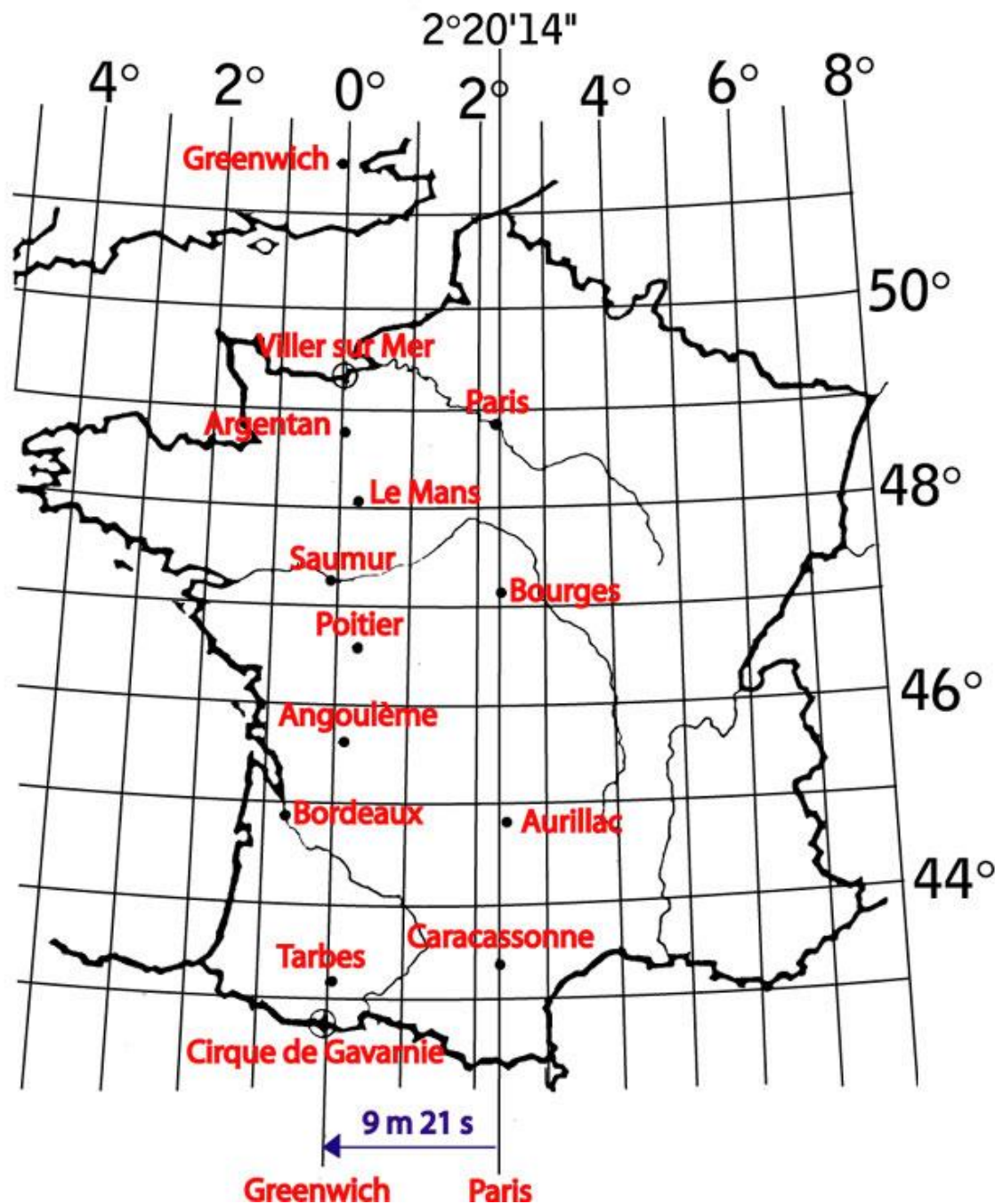
Le jour et la nuit : >>>

Les saisons

Carte des levers et couchers

A télécharger ici :
<http://olravet.fr/telechargement.php>

OUEST



Travail en groupe de 3-4 :

A partir des données du calendrier, calculer la durée du jour et la nuit le 21 de chaque mois.

Tracer les courbes correspondantes.

Analyse des courbes :

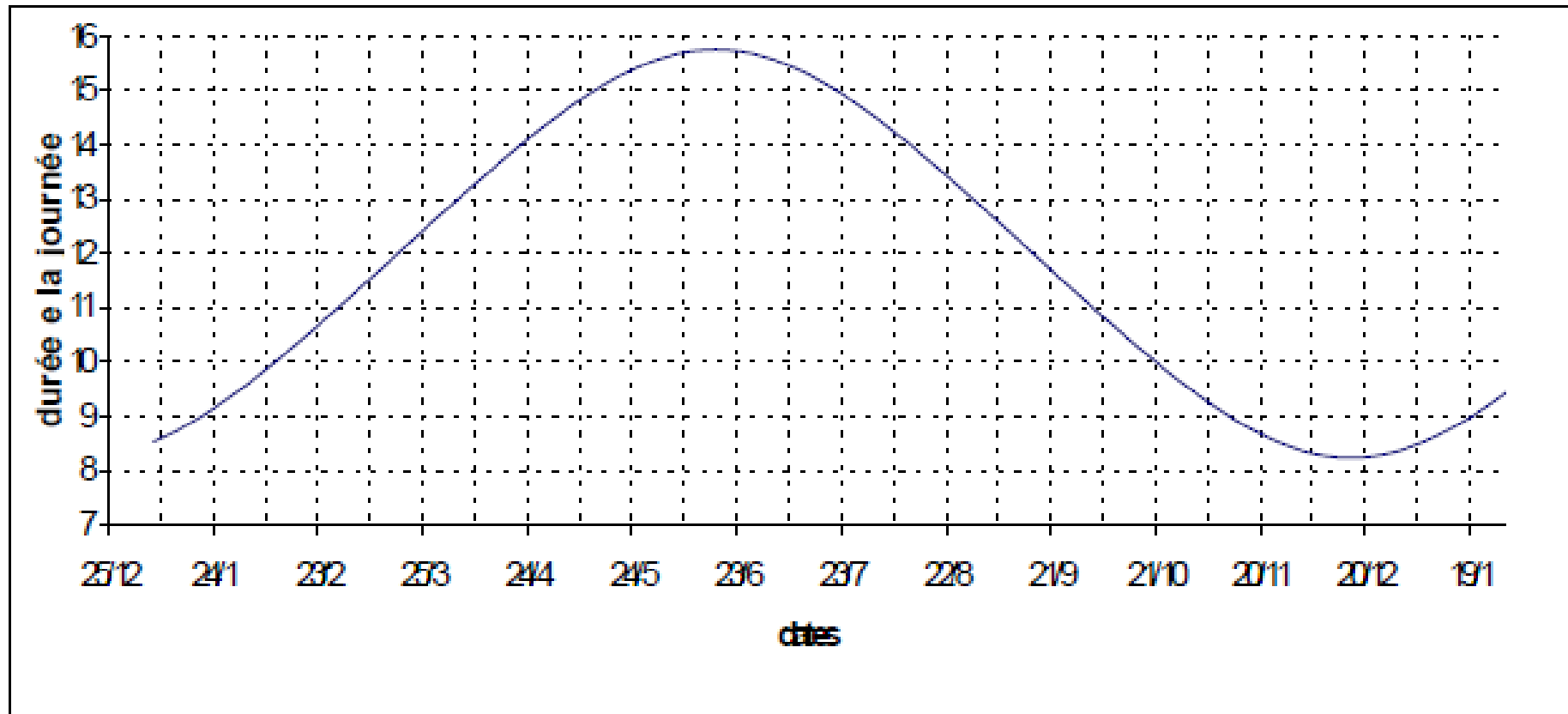
Quand la durée du jour est-elle minimum? maximum?

Quand la durée du jour est-elle égale à celle de la nuit?

exemple : faisons le calcul pour Altkirch ($\varphi = 47,5^\circ$), le 21 juin ($\delta = 23,6^\circ$)

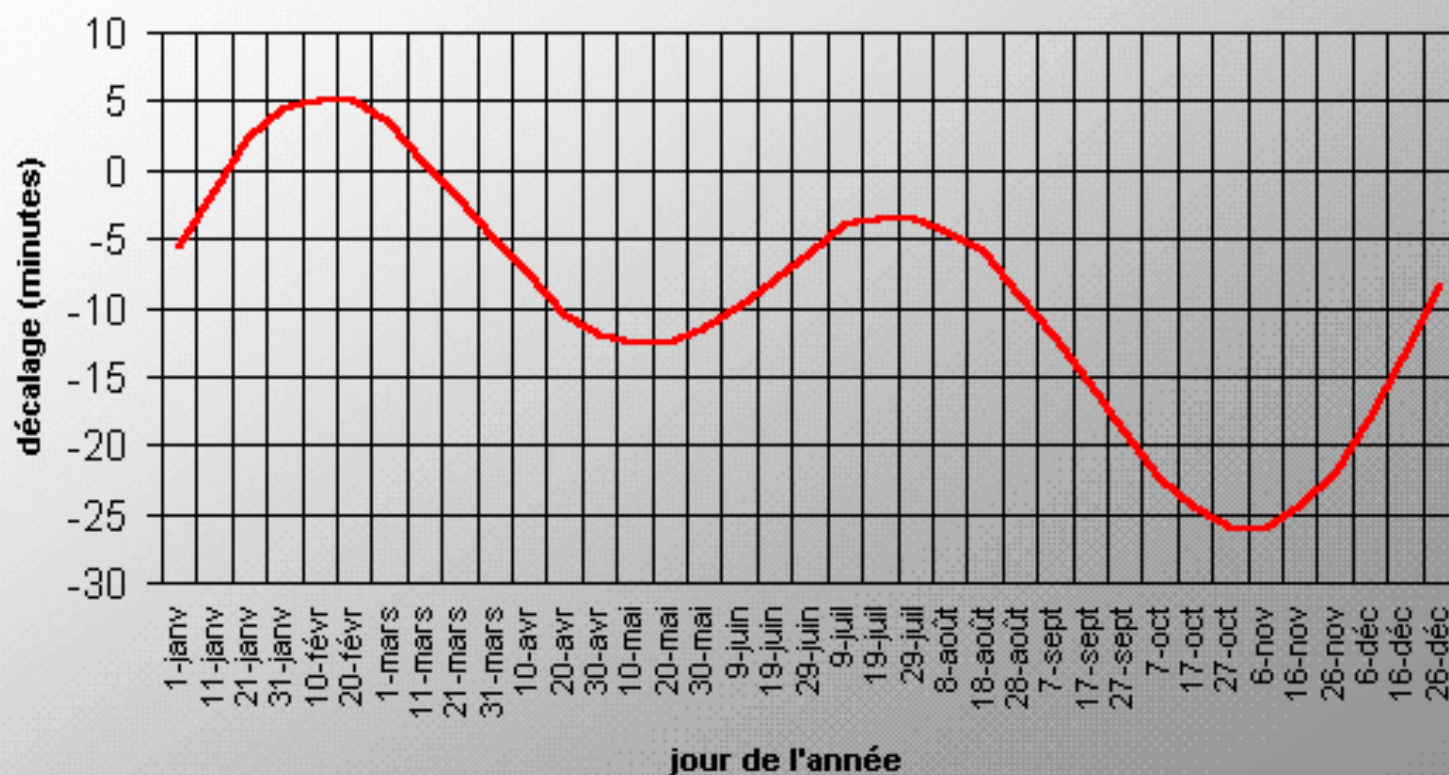
donc : $\cos H = -\tan 47,5^\circ \times \tan 23,6^\circ = -0,47678$ d'où $H = 118,475^\circ$ et $2H = 236,95^\circ = 15,79$ heures

Un tel calcul peut être fait pour tous les jours de l'année . Comme δ suit une variation sinusoïdale , $2H$ aussi ; voilà le travail !

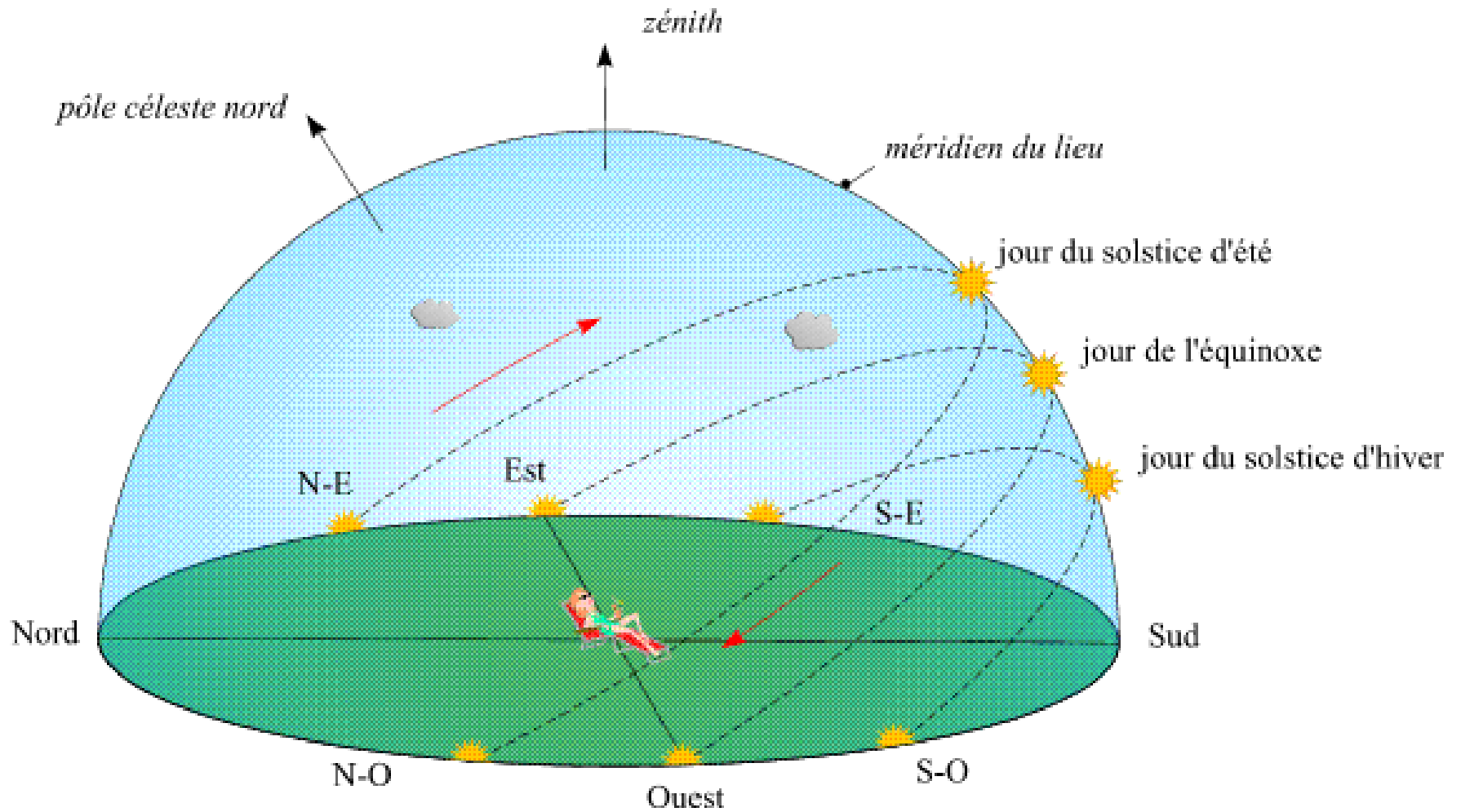




**décalage entre l'heure lue au cadran solaire et l'heure TU
(pour Paris, 1994)**



Les saisons



Représenter la course du Soleil dans le ciel :

<http://www-energie2.arch.ucl.ac.be/donn%C3%A9es%20climatiques/1.3.3.3.htm>

<http://jardin-sciences.unistra.fr/uploads/media/activite-cycle3-le-soleil-et-le-saladier.pdf>

Le gnomon et la course du Soleil dans le ciel ([lien 1](#))

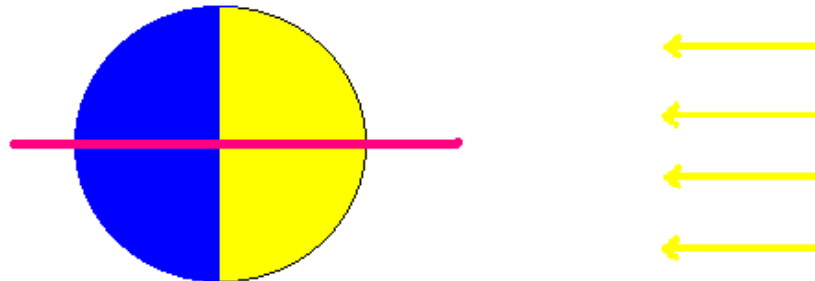
Il est aisé de montrer que l'évolution de la durée du jour au cours de l'année est corrélée aux paramètres suivants :

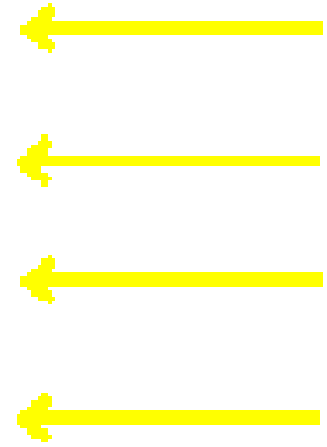
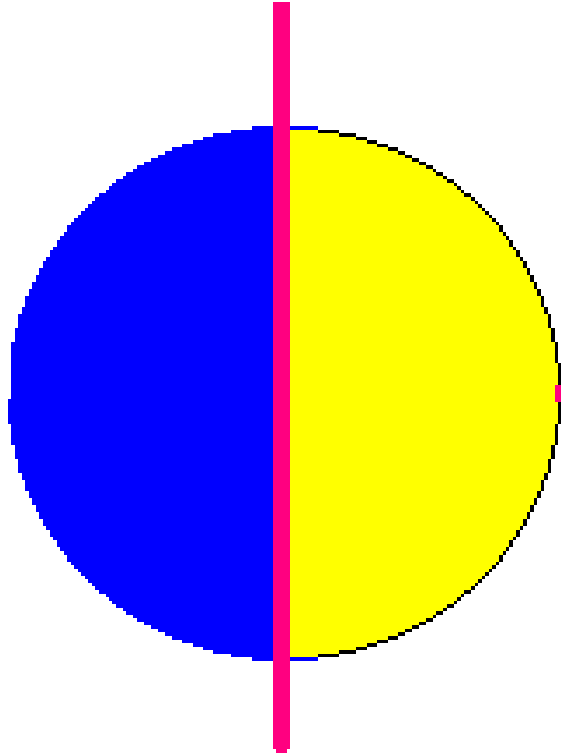
- Hauteur du soleil au zénith
- Position du lever et du coucher de Soleil

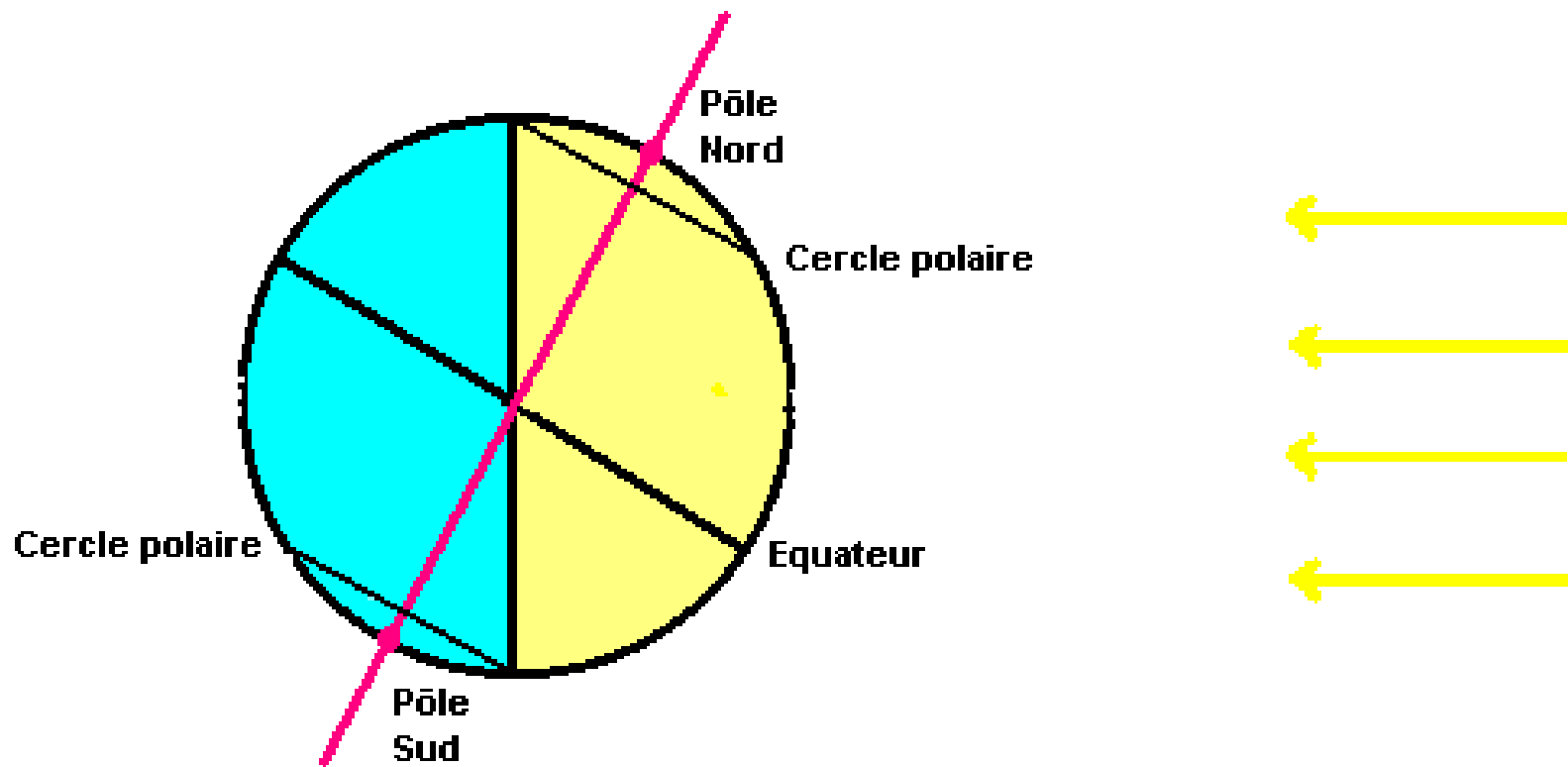
L'évolution de la durée du jour correspond à un phénomène périodique qui présente quatre points remarquables : deux extrema (un maximum appelé solstice d'été le 21 juin, un minimum appelé solstice d'hiver le 21 décembre), deux équinoxes (le 21 mars et le 22 septembre).

Le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest précisément seulement deux jours par an, les jours d'équinoxe. Le reste de l'année, la position de lever évolue approximativement entre le nord-est (solstice d'été) et le sud-est (solstice d'hiver), la position du coucher entre le nord-ouest (solstice d'été) et sud-ouest (solstice d'hiver).

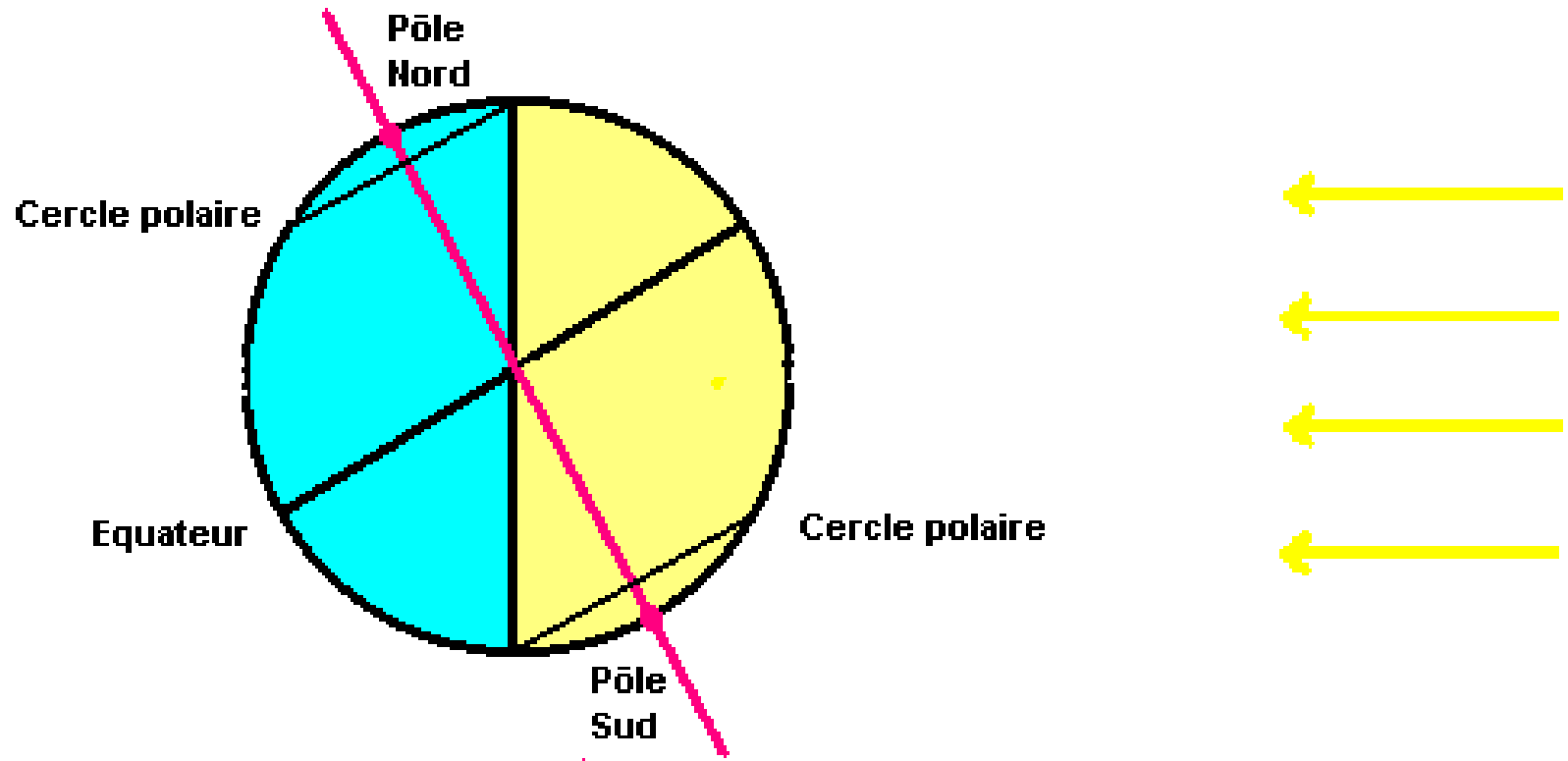
Suggestion de quelques modèles :







Le 21 juin



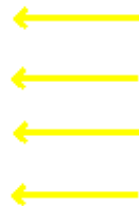
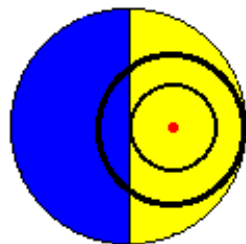
Le 21 décembre



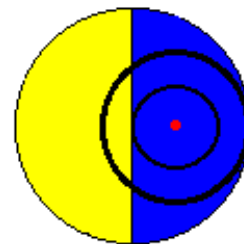
Equinoxe



Solstice d'été



Solstice d'hiver



Equinoxe

Conclusion : La Terre tourne sur elle-même, autour de l'axe des pôles, dans le sens direct (d'ouest en est). L'axe de rotation de la Terre n'est pas normal au plan de l'écliptique. Cette inclinaison, de $23^{\circ} 26'$, est à l'origine des variations de la durée des jours et des nuits ainsi que des saisons.

