

Où (comment repérer un point dans l'espace)

1 Repérage spatial.

Toute observation demande de situer dans l'espace et dans le temps un point. Il faut donc convenir d'un système de coordonnées qui ne présente aucune ambiguïté.

1-1 Coordonnées Géographiques

La terre est une **sphère de rayon 6375 km** environ ≈ 6400 km. Elle tourne sur elle-même autour d'un axe PP' axe des pôles.

On utilise un système de méridiens et parallèles qui permettent de se situer sur la terre.

Les **méridiens** sont des cercles passant par les pôles.

Les **parallèles** sont des cercles perpendiculaires à l'axe des pôles. Le plus grand parallèle est l'équateur, qui est équidistant des pôles.

Mais il faut convenir d'une origine, et d'un sens de rotation.

Le méridien origine est le méridien de Greenwich.

Le parallèle origine est l'équateur.

On donne les coordonnées d'un point par sa **longitude** et sa **latitude**.

La longitude est l'angle déterminé par le méridien du lieu et le méridien de Greenwich.

La longitude est un angle compris entre 0 et 180°. On précise si cet angle est à l'ouest (+) ou à l'est (-) de Greenwich.

La latitude est l'angle déterminé par le parallèle de l'équateur et le parallèle du lieu.

La latitude est un angle compris entre 0 et 90°. On précisera si le point est au nord ou au sud de l'équateur.

Exemple : Metz : - 6°11 longitude (Est) et + 49°07' latitude (Nord)

Ce système de coordonnées ne permet que la détermination d'un point sur terre.

(Une route à cap constant est appelée **loxodromie** c'est une droite sur la projection de Mercator, et une route qui suit un grand cercle entre deux points est **orthodromie**, qui est plus rapide)

1-2 Coordonnées Horizontales

A part le pôle Nord, l'horizon n'est pas confondu avec le plan équatorial. Donc pour repérer un astre ponctuel dans le ciel, suivant le lieu où l'on se trouve, on ne voit pas l'étoile dans la même direction. (**Annexe n°1**)

En un lieu donné on peut situer une étoile par sa **hauteur h** sur l'horizon, et par sa direction par rapport à une direction origine ou **azimut a**.

La direction origine est le Sud; et la hauteur origine est l'horizon

La hauteur h varie de -90° à + 90°

L'azimut varie de 0 à 360° dans le sens **rétrograde** (du sud vers l'ouest)

On note z la distance zénithale **$z = 90^\circ - h$**

(Il est à noter qu'en navigation le cap est compté à partir du nord dans le sens rétrograde.)

Avantage : Utilisation de monture azimutale, et a et h sont liés à la notion droite gauche haut bas.

Mais dépendent du lieu, et a et h varient au cours du mouvement diurne.

1-3 Coordonnées Horaires

Les coordonnées horaires prennent pour origine de la hauteur non plus l'horizon du lieu, mais le plan équatorial. (**Annexe n°1**)

La Hauteur par rapport à l'équateur est la déclinaison δ (de +90° à -90°)

L'angle Horaire H est l'angle du méridien de l'astre avec le méridien passant par le sud.

Avantage : la déclinaison ne varie pas au cours du mouvement diurne, donc facilité d'observation avec une monture équatoriale.

Mais il faut connaître l'équateur ou l'axe PP' et l'angle horaire est une coordonnée locale

1-4 Coordonnées équatoriales.

Mais la terre en plus de son mouvement propre tourne autour du Soleil, et son axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de son orbite autour du Soleil. (**Annexe n°1**)

On appelle **écliptique** le plan contenant le Soleil et la trajectoire de la terre.

On note ε l'angle formé par le plan équatorial et le plan écliptique. c'est **l'inclinaison de l'écliptique**.

On va repérer une étoile par l'angle que fait sa direction d'observation avec le plan équatorial, c'est la **déclinaison δ** .

Et par la direction du méridien passant par la direction de l'étoile par rapport à une direction origine.

La direction origine est le point **Vernal γ** .

γ est déterminé par la direction Terre Soleil à l'équinoxe de printemps.

L'angle du méridien contenant la direction de l'étoile par rapport à γ est **l'ascension droite α**

La déclinaison δ varie de $+90^\circ$ à -90° de P vers P'

**L'ascension droite α varie de 0 à 360° dans le sens direct
ou de 0 à 24 h (1 h = 15°)**

Avantage Ces coordonnées sont indépendantes du lieu d'observation et de l'époque d'observation.

Mais il faut connaître le temps pour viser un point donné de plus il existe la précession et la nutation sur une longue durée.

1-5 Coordonnées écliptiques

Le plan de l'écliptique garde une direction très constante au cours du temps. Ce sont des **coordonnées Géocentriques**. (**Annexe n°1**)

Q est le pôle nord de l'écliptique. **L'obliquité $\varepsilon = 23^\circ 27'$**

Les coordonnées équatoriales de Q sont : $\alpha = 18 \text{ h}$
 $\delta = 66^\circ 33'$

Les coordonnées écliptiques sont :

la latitude écliptique β qui varie de $+90^\circ$ à -90°

la longitude écliptique λ qui varie de 0 à 360° depuis γ dans le sens direct

Les **coordonnées galactiques** sont héliocentriques. Ce sont la latitude galactique b et la longitude galactique l dont l'origine est liée à la galaxie, c'est la direction du centre de la galaxie

2 Les unités de distance

L'unité le kilomètre est une unité à l'échelle humaine. En astronomie, la Lune est à 380 000 km, le Soleil, l'étoile la plus proche se trouve à 150 000 000 km Pluton la planète la plus éloignée du système solaire se trouve à 5 940 000 000 km. L'étoile la plus proche du Soleil se trouve à $42,39 \times 10^{12}$ km. Ces nombres n'ont plus de signification, ils sont trop grand par rapport à l'unité.

En astronomie, on a choisi des unités de distance qui vont comparer avec des valeurs simples, les distances. Ces unités vont dépendre de l'éloignement du système observé.

2-1 L'Unité Astronomique U.A.

Pour le système solaire, l'unité choisie est l'Unité Astronomique U.A. qui est la distance moyenne Terre Soleil.

$$1 \text{ U.A.} = 150\,000\,000 \text{ km}$$

En unité astronomique on voit à ce moment que Pluton est 39,6 fois plus loin du Soleil que la Terre.

2-2 L'Année Lumière A.L.

Pour les distances plus grandes, distance des étoiles, dimensions de la Galaxie, on utilise l'Année Lumière, qui est la distance parcourue par la lumière pendant un an.

$$1 \text{ A.L.} = 3.105 \times 365 \times 86400 \text{ km} = 9,46.10^{12} \text{ km}$$

Il existe des sous multiples la minute lumière et la seconde lumière, qui sont respectivement la distance parcourue par la lumière pendant 1 minute, ou une seconde.

Ainsi le Soleil est à 8 min 20 s lumière ou 500 seconde lumière.

Le diamètre de la Galaxie est 100.000 A.L.

Pluton est à 5 h 30 min Lumière du Soleil.

2-3 Le parsec pc

Le parsec est une mesure de distance liée à un angle.

Il faut d'abord définir le **diamètre apparent ϵ** : c'est l'angle sous lequel on voit le diamètre d'une planète. Cet angle est petit, et il s'exprime en seconde d'arc.

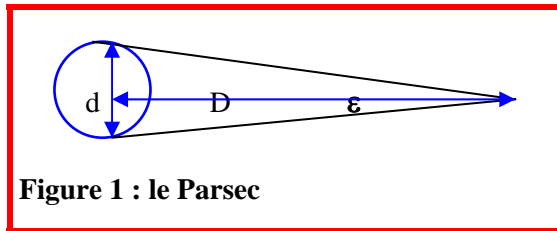


Figure 1 : le Parsec

$$\epsilon \approx \tan \epsilon \approx d/D$$

si ϵ est exprimé en radian.
 $1'' = 4,848.10^{-6} \text{ rad}$

Le parsec

Le parsec pc est la distance d'une étoile d'où l'on voit le rayon de l'orbite de la Terre sous un angle de 1 seconde d'arc.

On voit donc une U.A. sous un angle de 1". On peut écrire $1 \text{ pc} = 1 \text{ U.A.} / \tan(1'') = 30,94.10^{+12} \text{ km}$
 $1 \text{ pc} = 3,27 \text{ A.L.} = 206 \text{ 300 U.A.}$

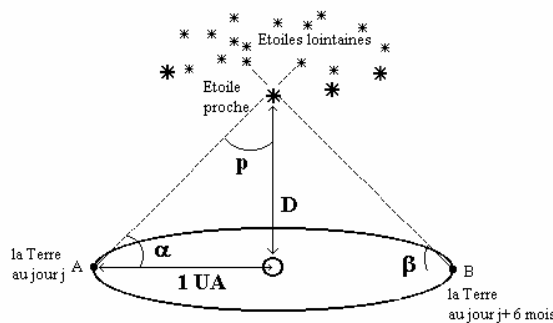


Figure 2 : Le parsec pc

3 Mouvement du système solaire

3-1 La Galaxie

Notre Galaxie est du type spirale, dont le diamètre est 100.000 années lumière, dont le bulbe a une épaisseur de 15.000 années lumière ; le Soleil se trouve dans un bras de spirales dont l'épaisseur est de 5.000 A.L. à une distance de 30 000 A.L. du centre de la Galaxie.



Il y a 100 milliard d'étoiles dans notre Galaxie.

Les galaxies se regroupent en amas de galaxies. Un amas a un diamètre de 10.000.000 d'A.L., et il contient 1000 galaxies

Il existe des superamas de galaxies dont le diamètre est de 100.000.000 d'A.L. Ils contiennent de 5 à 40 amas.

Notre Galaxie est dans un amas local de 20 galaxies, dont les plus proches sont le petit et le grand nuage de Magellan (à 165 000 AL), Andromède (M31) (à 2.25 Millions d'A.L.).

3-2 Le système solaire

Le système solaire est composé du Soleil et de 9 planètes.

Planète	Période de Révolution	Période de Rotation Sidérale	Distance au Soleil million km	Distance au Soleil UA	Diamètre km	Masse relative terre = 1	Température °K
Mercure	88 j	58,65 j	58,7	0,39	4736	0,056	418
Vénus	228 j	243 j	108	0,72	12364,8	0,817	57
Terre	365 j	23 h 56 min	150	1	12800	1	15
Mars	1 an 321 j	24 h 37 min	228	1,52	6912	0,108	12
Jupiter	11 ans 315 j	9 h 55 min	780	5,2	142592	318,36	-140
Saturne	29 ans 167 j	10 h 39 min	1434	9,56	120320	95,22	-153
Uranus	84 ans	17 h 15 min	2883	19,22	51200	14,6	-180
Neptune	164 ans 280 j	16 h 7 min	4516	30,11	55040	17,3	-200
Pluton	249 ans	6,4 j	5940	39,6	3000 ?	0,017	-210
Soleil		25,38 j			1 400 000	332 270	5 600°k

Masse de la terre = 6×10^{24} kg
Masse du soleil = $1,99 \cdot 10^{30}$ kg
Masse de la Lune = $7,352 \cdot 10^{22}$ kg
Distance Soleil terre = 1 UA = 150 000 000 km

	Nombre de Satellites	Gravité au sol	Composition de l'atmosphère	Inclinaison sur l'écliptique	Diamètre relatif terre = 1	Volume relatif Terre = 1	Densité eau = 1
Mercure	0	3,72	trace He	7°	0,37	0,06	5,43
Vénus	0	8,83	H ₂ SO ₄ , CO ₂	3,4°	0,966	0,86	5,24
Terre	1	9,81	N, O ₂ , H ₂ O, Ar	0	1	1	5,52
Mars	2	3,72	CO ₂	1,8°	0,54	0,15	3,93
Jupiter	12	24,8	H, H ₂ , He, CH ₄ , NH ₃	1,3°	11,14	1,323	1,33
Saturne	10	10,5	H ₂ , He	2,5°	9,4	752	0,71
Uranus	5	9	H ₂ , He, CH ₄	0,8°	4	64	1,31
Neptune	2	11,7	H ₂ , CH ₄ , He	1,8°	4,3	54	1,77
Pluton	1	0,5	CH ₄	17,2°	0,25 ?	0,01	1,1
Soleil		274	H, He, ...		109	1 301 000	1.41

Tableau n° 1

3-3 Mouvement des planètes

Les planètes décrivent des trajectoires elliptiques, dont le Soleil occupe l'un des foyers. Le plan de la trajectoire des planètes s'appelle **l'écliptique**. C'est le mouvement de **révolution**.

Le plan de l'écliptique fait un angle $\epsilon = 23^{\circ}27'$ avec le plan équatorial de la terre ; c'est **l'obliquité de l'écliptique**.

Les planètes tournent toutes autour du Soleil dans le même sens. Elles sont toutes faiblement inclinées sur l'écliptique, sauf Pluton qui a une inclinaison de 17° .

Les planètes tournent sur elles même toutes dans le même sens, sauf Vénus, qui tourne dans le sens rétrograde. C'est le mouvement de **rotation**.

Pendant sa révolution autour du Soleil, l'axe de rotation des planètes garde une direction fixe par rapport aux étoiles. (Principe du gyroscope).

Les planètes dans leur mouvement obéissent aux lois de Képler. Le mouvement de la planète n'est pas uniforme le long de l'année. (**Annexe n°3**)

1° loi : les planètes décrivent des orbites elliptiques dont le Soleil est un des foyers.

2° loi : les aires balayées en des temps égaux sont égales (loi des aires).

3° loi : Le rapport du cube du grand axe de l'ellipse sur le carré de la période de révolution est constant. $a^3/T^2 = cte$

Le **Tableau n° 1** résume toutes les caractéristiques du mouvement des planètes.

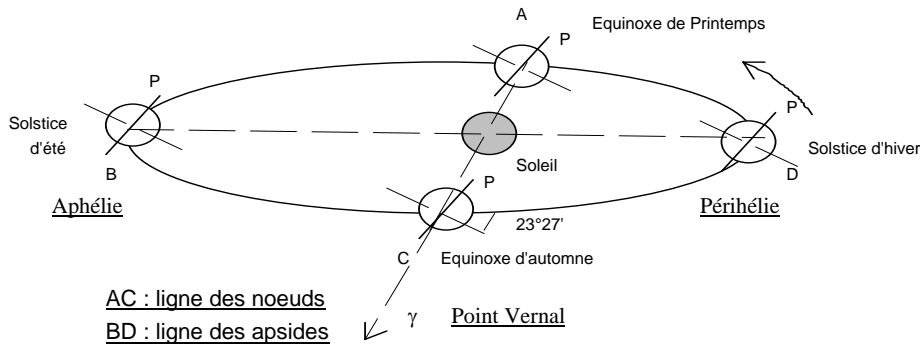


Figure 3 : Ecliptique

3-3-1 Rappels du mouvement de la terre

D'après la première loi de Képler, le Soleil est un des foyers de la trajectoire elliptique de la terre. Donc la durée des saisons n'est pas égale.

L'année est un système élaboré à partir d'événements astronomiques rythmant les durées plus longues que celle du jour

L'année est le temps mis par la terre pour revenir au même point sur sa trajectoire autour du Soleil. Mais elle tourne sur elle-même pendant sa révolution sidérale, autour de son axe des pôles PP'.

Le plan équatorial de la terre (perpendiculaire à l'axe des pôles) est incliné sur le plan de l'écliptique (plan de la trajectoire de la terre et sensiblement des autres planètes) d'un angle de $23^{\circ}27'$.

3-3-2 Anomalies du mouvement

La terre n'est pas une sphère homogène, la lune, le Soleil et les autres planètes exercent une action perturbatrice sur le mouvement de la terre.

α) Mouvement de précession

Le mouvement de rotation autour de l'axe des pôles ne garde pas une direction constante. L'axe des pôles va tourner au tour du pôle nord galactique, en environ **25 800 ans**. Le point vernal rétrograde de **50''3 par an**. C'est la précession des équinoxes découverte par Hipparque 130 ans avant notre ère.

Ce mouvement de précession est du au fait que la Terre n'est pas une sphère homogène et qu'elle décrit une orbite elliptique. Le soleil exerce donc une force d'attraction qui varie en fonction de la répartition de masse et de la distance. Il en résulte un couple qui, composé avec le vecteur vitesse angulaire ω , provoque le mouvement de précession.

β) Nutation

L'axe polaire subit de petites oscillations, dues à la rétrogradation des nœuds de l'orbite de la lune, d'une période de 18,6 ans. Il en résulte une variation périodique de l'obliquité de l'écliptique de $9''21$ d'amplitude.

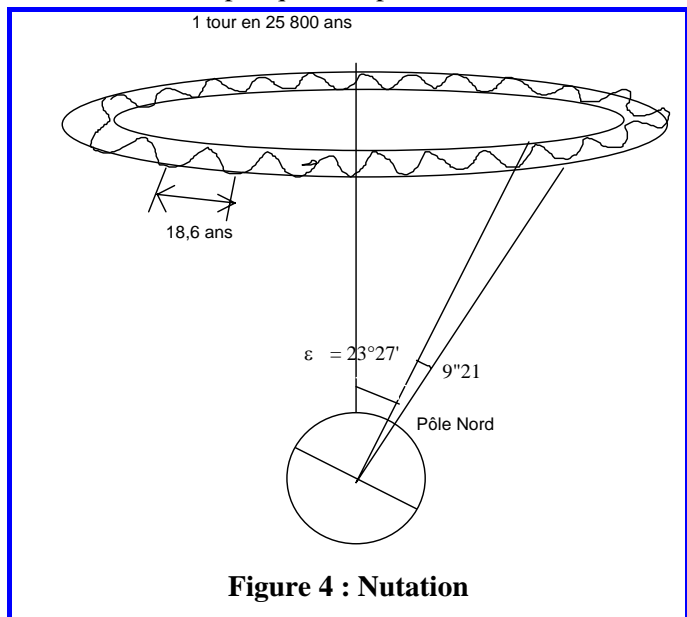
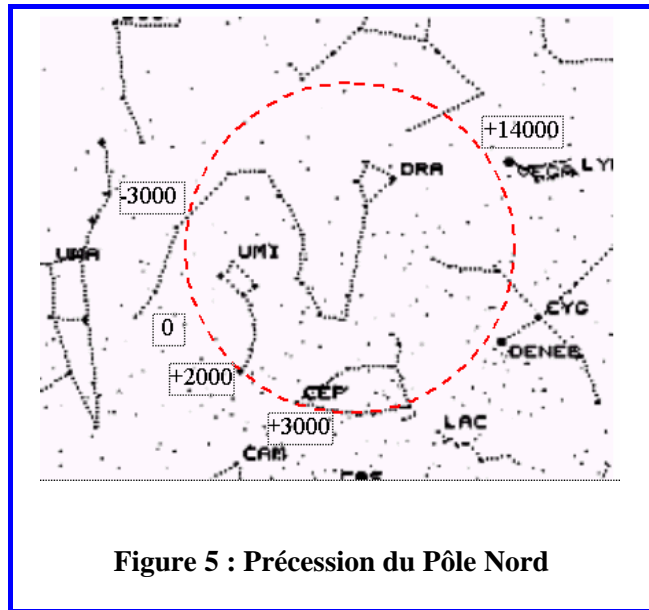


Figure 4 : Nutation

γ) Déplacement du pôle Nord

La direction de l'axe de rotation Nord Sud de la Terre décrit un cône dont l'angle est $23^{\circ}27'$. Le pôle décrit un cercle en 25800 ans. En ce début du XXI^{ème} siècle, il passe tout près de l'étoile Polaire (α Polaris). Du temps de la construction des pyramides le pôle nord était en direction de l'étoile α Thuban du Dragon. Dans 1000 ans il sera vers γ Céphée.



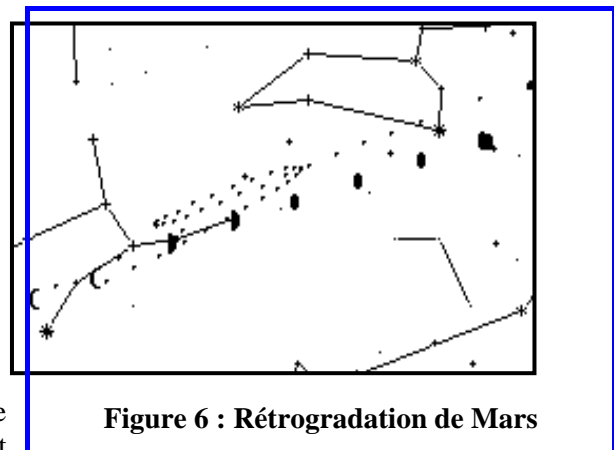
3-3-3 Rétrogradation

Les planètes tournent toutes dans le plan de l'écliptique, dans le sens direct, si on regarde le plan de l'écliptique du pôle nord de l'écliptique.

Si on observe la planète Mars sur le fond du ciel, on peut suivre la planète sur le fond du ciel décrire le plan de l'écliptique. On la voit la nuit en direction du sud se lever du côté de l'est et se coucher en direction de l'ouest.

Si on repère la position de la planète par rapport aux étoiles (son mouvement apparent sidéral), on remarque qu'il lui arrive de s'arrêter de tourner de l'est vers l'ouest puis de repartir de l'ouest vers l'est, s'arrêter et repartir dans le sens normal.

Sur la simulation ci-dessus, on peut remarquer le passage de la Lune devant la constellation du Lion et la rétrogradation de Mars.



Voire simulation à l'aide d'Interactive Physic.

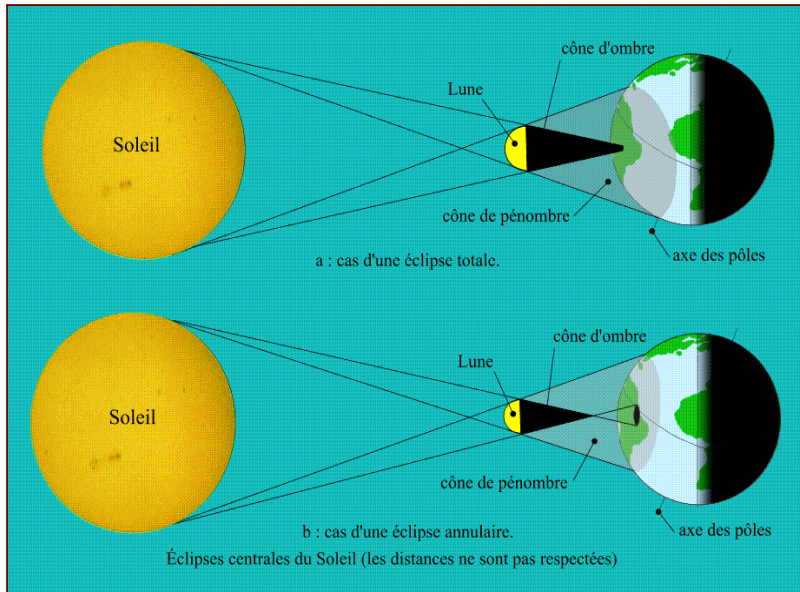
Les éclipses

Le diamètre apparent de la Lune est sensiblement le même que celui du Soleil.

Ce diamètre apparent varie au cours de l'année, car les trajectoires de la Terre autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre sont elliptiques.

La distance de la Terre au Soleil varie de 147,1 à 152,1 millions de km, son diamètre est 1 392 000 km ce qui fait que son diamètre apparent à l'aphélie varie de 32'32" au périhélie à 31'28" à l'aphélie

La distance de la Lune à la Terre varie de 356 410 km à 406 740 km et le diamètre de la Lune est 3476 km ce qui fait que son diamètre apparent varie de 33'28,8" au périgée à 29'23,2" à l'apogée.



Il existe les éclipses de Soleil et les éclipses de Lune. Une éclipse est une interposition de la Lune entre le Soleil et la Terre ou de la Terre entre le Soleil et la Lune.

Une éclipse se passera donc toujours en nouvelle Lune ou en pleine Lune.

Mais ce ne sera pas à chaque nouvelle ou pleine Lune, car le plan de l'orbite de la Lune est incliné de 5°54' sur l'écliptique. Il faut que la Lune soit proche de son nœud ascendant Ω ou de son nœud descendant pour qu'il y ait éclipse.

Figure 7 : Éclipse

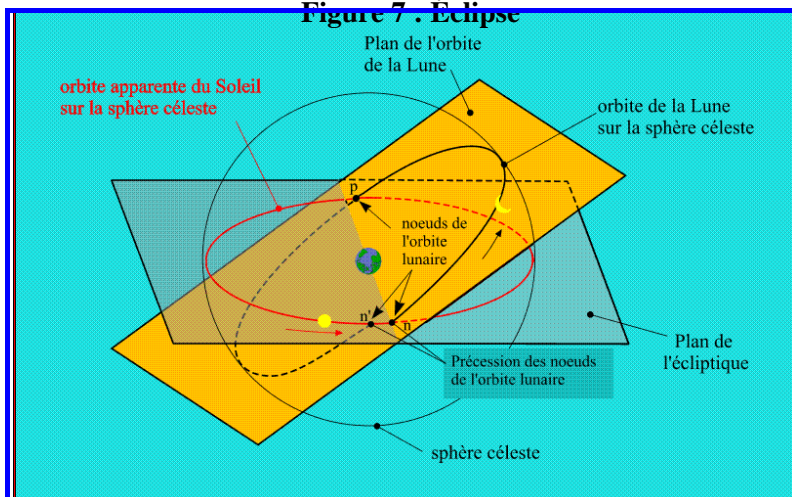


Figure 8 : Précession de la Lune

De plus les éclipses ne se passeront pas toujours à la même époque de l'année, car le plan de l'orbite de la Lune voit sa ligne des nœuds subir une précession de 5° chaque année. Ce qui fait qu'il faut attendre 18,6 ans pour retrouver une périodicité des éclipses. C'est la cycle du Saros.

Mais suivant le diamètre apparent relatif de la Lune et du Soleil, il y aura éclipse totale ou éclipse annulaire.



Éclipse totale



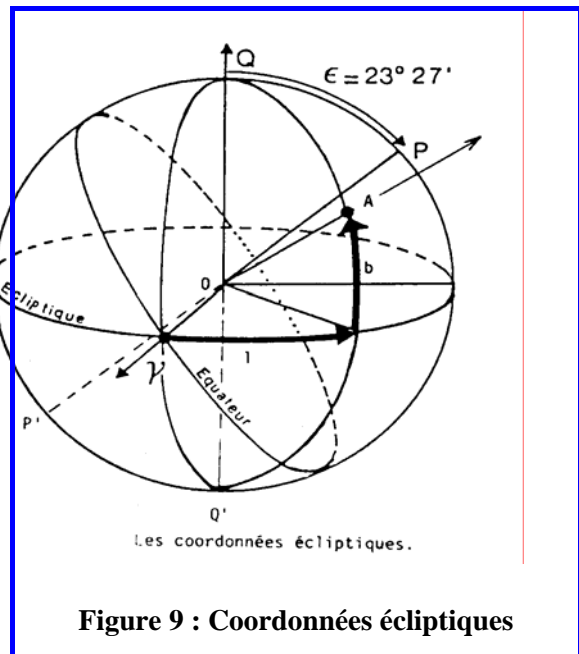
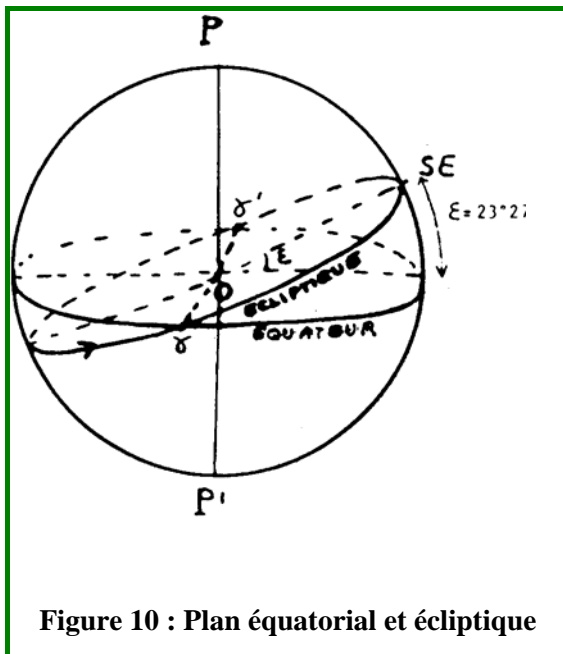
Éclipse annulaire

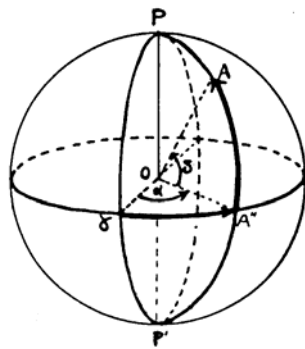
3-3-4 Symboles astronomiques

Q	Soleil	A	Bélier
S	Vénus	B	Taureau
T R	Terre	C	Gémeaux
lune			
U	Mars	D	Cancer
V	Jupiter	E	Lion
W	Saturne	F	Vierge
X	Uranus	H	Scorpion
Y	Neptune	I	Sagittaire
Z	Pluton	J	Capricorne
		K	Verseau
		L	Poissons

4 Annexe

Schéma des différentes coordonnées astronomiques.





Les coordonnées équatoriales.

Figure 12 : Coordonnées équatoriales

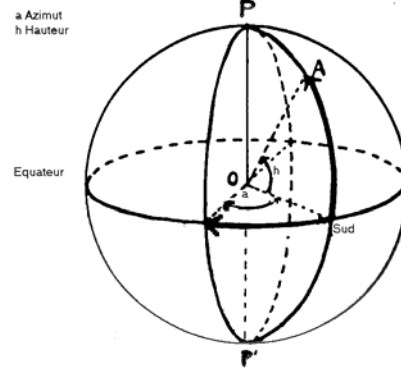


Figure 11 : Coordonnées azimutales