

T.P. n° 1 :

Loi de Kepler

On se propose de vérifier la troisième loi de Kepler : $a^3/T^2 = \text{cte}$, de déterminer le rayon de l'orbite des satellites de Jupiter, de leur période de révolution, ainsi que la masse de Jupiter.

En 1610 Galilée vient de mettre au point sa cinquième lunette astronomique, dont le grossissement est de x30. Il l'utilisa pour faire des observations de Jupiter.

La planète Jupiter possède 4 satellites galiléens : Io, Europa, Ganymède et Callisto.

Satellite	Distance à Jupiter km	Période sidérale en jours	rayon en km	magnitude
Io	422 000	1,769	1810	4,9
Europa	671 000		1480	5,3
Ganymède	1 010 000	7,154	1600	4,6
Callisto	1 883 000	16,689	2360	5,6

1° Vérifier la troisième loi de Képler

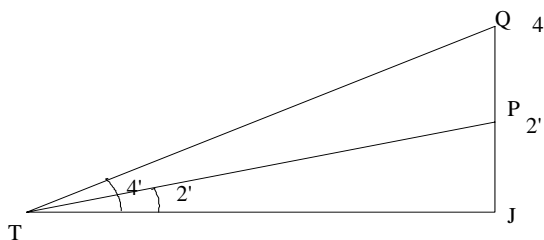
Vérifier la troisième loi de Kepler , en assimilant la trajectoire des satellites à des cercles, à l'aide du tableau ci-dessus.

2° Détermination du rayon de l'orbite

Pour chacune des observations, sur le document ci-joint, on reportera sur un graphique la distance du satellite au centre de la planète, en fonction du temps. Sur ce graphique on déterminera l'éloignement maximum des satellites de la planète, donc le rayon moyen apparent de l'orbite.

Pour obtenir le rayon réel moyen des orbites, en U.A. ou en km on utilisera, soit le diamètre réel de Jupiter (142 000 km), soit l'échelle fournie avec les croquis : la distance de Jupiter au moment de l'observation était de 4,46 U.A. (1 U.A. = 150.10^6 km)

Evaluer la distance réelle représentée au niveau de Jupiter par une distance angulaire de 2' ou de 4'.



3° Détermination de la période de révolution

On choisit sur les croquis des observations pour chacun des satellites, deux positions, si possible de part et d'autre de la position relative à un éloignement maximum. On détermine alors l'angle balayé par le satellite, pendant la durée correspondante. En déduire la période de révolution sidérale du satellite.

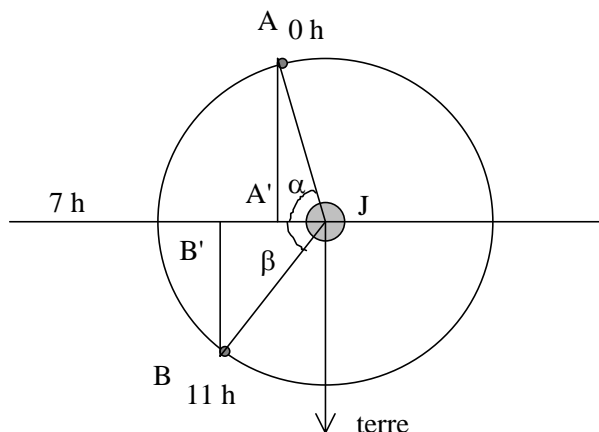
4° Détermination de la masse de Jupiter

On utilise la troisième loi de Kepler

$$\frac{a^3}{T^2} = G * \frac{M_{j_s}}{4\pi^2}$$

où M_j et M_s sont les masses de Jupiter et du satellite, et G la constante d'attraction universelle $G=6,67 \cdot 10^{-11}$ pour une masse exprimée en kg, le rayon en mètres et la période en secondes.

On rappelle les propriétés trigonométriques :



$$\cos(\alpha) = \frac{A'J}{AJ}$$
$$\cos(\beta) = \frac{B'J}{BJ}$$

La terre est vers le bas de la feuille.

Attention les observations ne sont pas à intervalles de temps réguliers.

Objectif :

On se propose de construire une carte céleste, pour :

- ♦ Etudier le mouvement apparent annuel du soleil par rapport aux étoiles.
- ♦ Apprendre à utiliser les coordonnées équatoriales.
- ♦ Apprendre à lire une carte.
- ♦ Porter des points sur un graphique à partir d'un tableau de mesures.
- ♦ Se familiariser avec un système de projection.

Définitions

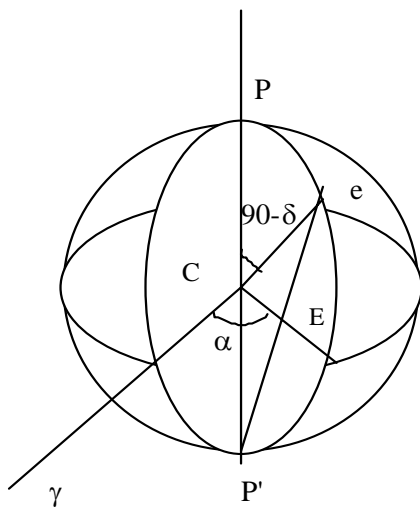
1° Coordonnées équatoriales :

On repère la direction d'un astre par sa **déclinaison δ** et son **ascension droite α** repérées par référence au plan équatorial de la terre.

La déclinaison est mesurée en degrés : °, ' , et " , et l'ascension droite en heures, minutes et secondes (h, min, s)

2° Projection stéréographique (inversion)

La projection stéréographique s'effectue sur le plan équatorial, à partir du pôle sud.



Si une étoile e a pour coordonnées équatoriales α et δ , sa projection stéréographique est E.

a) montrer que l'angle $PP'e$ est égal à : $\frac{90^\circ - \delta}{2}$

b) La projection étant effectuée sur une carte destinée à être placée au-dessus de la tête de l'observateur, s'inscrit sur la face du plan équatorial tournée vers le pôle sud : montrer qu'il en résulte que sur la carte, les ascensions droites croissent dans le sens rétrograde.

3° Activités

a) Réalisation d'un réseau de lignes coordonnées :

Ce réseau est constitué d'un ensemble de cercles concentriques de centre O et d'un faisceau de demi-droites passant par O.

On représentera ce réseau sur une feuille pour des déclinaisons variant de 10° en 10° de -90° à $+90^\circ$, et les ascensions droites de 0 à 23 heures donc de 15° en 15° .

On prendra une échelle de la carte dans laquelle le rayon du cercle équatorial vaut 7 cm.

b) calcul des rayons des cercles de déclinaison

Le lieu des points de même déclinaison δ sont des cercles concentriques de centre C. L'angle $PP'e = Pce/2$

$Pce = 90^\circ - \delta$

On en déduit que : $CE = CP' \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\delta}{2}\right)$

CP' est le cercle de rayon R pour $\delta = 0$

On peut remarquer que les cercles de déclinaison n'ont pas un rayon proportionnel à δ .

Le lieu des points de même ascension droite est un ensemble de demi-droites passant par Celles sont équidistantes et augmentent dans le sens rétrograde.

c) construction de la fenêtre de l'horizon.

Chaque point de l'horizon d'un lieu de latitude φ est caractérisé par ses deux coordonnées horizontales, azimut a et hauteur $h = 0$; on montre que ses coordonnées horaires sont H et δ tels que :

$$\sin \delta = - \cos \varphi \cdot \cos \alpha$$

$H = TS - \alpha$ (TS est le temps solaire du lieu, et α l'ascension droite de l'étoile.)

On peut tracer sur le réseau de lignes de coordonnées la courbe de l'horizon pour toute les ascensions droites α de 0 à 23 h, et pour la latitude du lieu. ($\varphi = 48^\circ$)

remplir le tableau suivant :

	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
α°													
$\sin(\delta)$													
δ°													

c) représentation de quelques constellations

Utiliser le tableau suivant pour représenter les étoiles et les constellations indiquées.

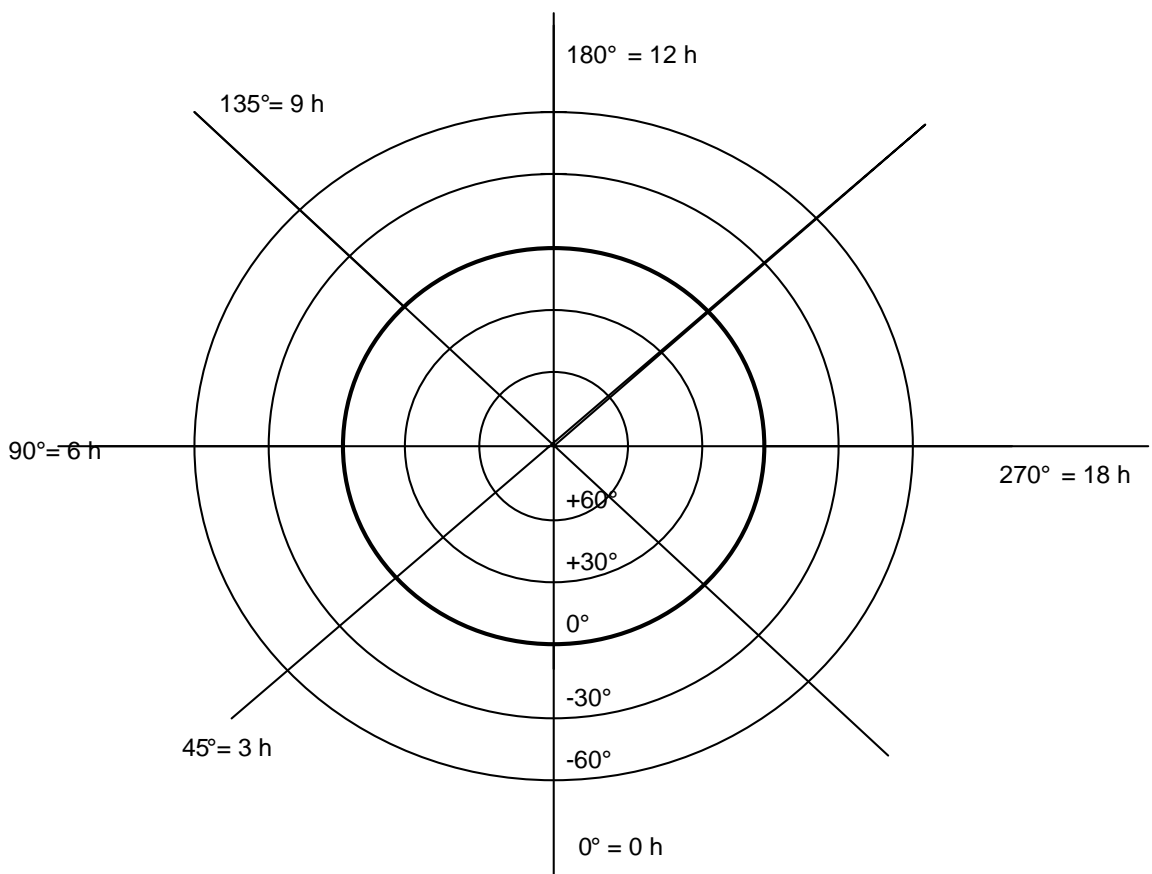


Tableau n°2

Cassiopee				Cygne			
étoile	α (h,min)	α (h)	δ°	étoile	α (h,min)	α (h)	δ°
β	00 08	0,13	59	β	19 30	19,5	28
α	00 39	0,65	56	δ	19 44	19,73	45
γ	00 55	0,92	61	γ	20 21	20,35	40
δ	01 24	1,4	60	α	20 41	20,68	45
ϵ	01 52	0,87	64	ϵ	20 45	20,75	34
Orion				Pégase			
étoile	α (h,min)	α (h)	δ°	étoile	α (h,min)	α (h)	δ°
β	05 13	5,22	-8	β	23 03	23,05	28
γ	05 24	5,4	6	α	00 07	0,12	29
δ	05 31	5,52	0	α	23 04	23,07	15
ι	05 34	5,57	-6	γ	00 12	0,2	15
ϵ	05 35	5,58	-1	Lion			
ξ	05 38	5,63	-2	étoile	α (h,min)	α (h)	δ°
χ	05 47	5,78	-10	\circ	09 40	9,67	10
α	05 54	5,9	7	ϵ	09 44	9,73	24
Bouvier				μ	09 51	9,85	26
étoile	α (h,min)	α (h)	δ°	η	10 06	10,1	17
η	13 54	13,9	19	α	10 07	10,12	12
α	14 15	14,25	19	ξ	10 15	10,25	24
γ	14 31	14,52	38	γ	10 18	10,3	21
ρ	14 31	14,52	30	δ	11 13	11,22	21
σ	14 34	14,57	30	θ	11 13	11,22	16
ξ	14 38	14,63	14	σ	11 20	11,33	7
ϵ	14 42	14,17	27	ι	11 24	11,4	11
β	15 01	15,02	2	β	11 48	11,8	11
δ	15 15	15,25	33	étoiles brillantes			
μ	15 24	15,4	37	étoile	α (h,min)	α (h)	δ°
Petite ourse				Aldebaran	04 35	4,58	16
étoile	α (h,min)	α (h)	δ°	Capella	05 15	5,25	46
α	02 29	2,15	89	Sirius	06 44	6,73	-17
β	14 51	14,85	74	Castor	07 33	7,55	32
γ	15 21	15,35	72	Pollux	07 44	7,73	28
ξ	15 44	15,73	78	Epi	13 24	13,4	-11
η	16 18	16,3	76	Véga	18 36	18,6	39
ϵ	16 48	16,8	82	Altaïr	19 50	19,83	9
δ	17 40	17,67	87				

Schedar

Deneb

Rigel

Bételgeuse

Acturus

Polaris

Régulus

Denebola

T.P. n°3

Effet Doppler-Fizeau

Objectif :

On se propose de déterminer la vitesse de rotation de saturne, par analyse du spectre de lumière de la planète et de ses anneaux.

Spectre de raies

Tout corps porté à une certaine température émet un spectre de raies, caractéristiques des atomes et des molécules qui le composent.

De même, tout corps qui reçoit un spectre continu de lumière transmet un spectre d'absorption, dont les raies d'absorption sont caractéristiques des atomes ou molécules qui le composent.

C'est le cas de saturne, qui reçoit la lumière du soleil, et réfléchit, après traversé de son atmosphère, un spectre où les raies caractéristiques des composantes de l'atmosphère, sont absorbées.

On peut superposer sur le film, un spectre étalonné, qui permet d'identifier les longueurs d'ondes du spectre.

Effet Doppler-Fizeau

Si une source de lumière se déplace par rapport à un observateur, la lumière subit un décalage de ses raies spectrales; c'est ce qui correspond au changement de fréquence lorsqu'une source sonore s'éloigne ou se rapproche d'un observateur.

Si la source de lumière se rapproche les couleurs sont décalées vers le bleu, la fréquence augmente, et il y a un décalage vers le rouge, si la source s'éloigne c'est à dire que la fréquence diminue ou la longueur d'onde augmente.

Rappel des relations mathématiques

1° Longueur d'onde

La longueur d'onde λ d'une radiation est liée à sa fréquence ν en fonction de la célérité de l'onde par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

2° Décalage de longueur d'onde

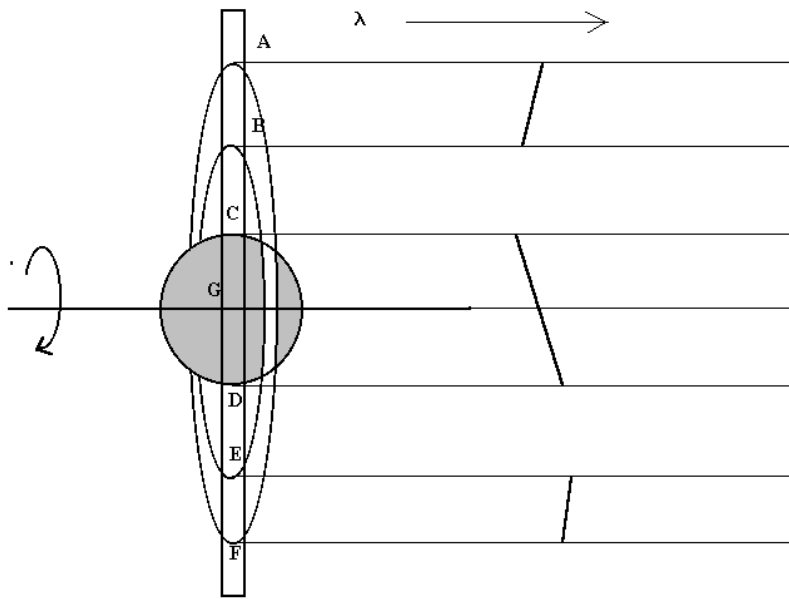
Si une source lumineuse se déplace avec une vitesse radiale V_r d'un observateur, la lumière de longueur d'onde λ subit un décalage $\Delta\lambda$ tel que :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V_r}{c}$$

Mouvement de rotation de saturne

On observe le spectre de saturne vue à travers une fente fine qui isole les deux extrémités des anneaux et une partie centrale du globe de la planète.

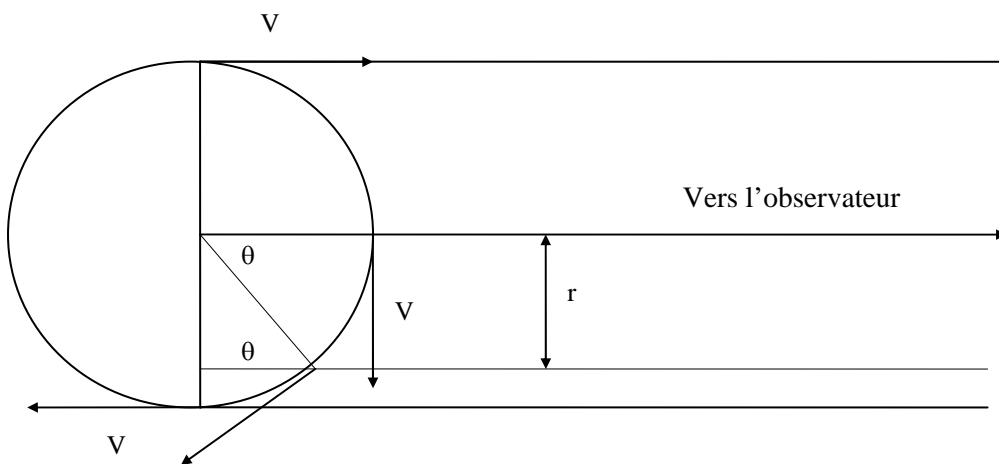
La ligne de visée est perpendiculaire au plan de la figure.



Fente du réseau

Schéma d'une raie du spectre de Saturne et des anneaux

Étude du spectre



Vitesse en différents points de saturne.

On peut remarquer que les différents points de la surface de saturne, face à l'observateur, n'ont pas la même vitesse. Seul le point du centre a une vitesse radiale V nulle. Un point a une vitesse d'approche égale à V et le point diamétralement opposé a une vitesse de fuite égale à V . Un point intermédiaire a une vitesse radiale $V_r = V \sin \theta$ à une distance $r = R \cos \theta$ du centre de la planète.

Travail à effectuer :

1. Mesurer en mm la distance Δx de chacune des raies d'émission à la première raie d'émission ($\lambda = 440,475 \text{ nm}$)
2. Calculer la différence de longueur d'onde $\Delta\lambda$ de chacune des 8 raies d'émission par rapport à la première raie ($\lambda = 440,475 \text{ nm}$)
3. Représenter sur un graphique les 9 couples de valeurs ($\Delta x, \Delta\lambda$). Que peut-on en conclure ?
4. Calculer l'échelle du spectre en nm/mm en utilisant les raies les plus éloignées.
5. Donner les limites en longueur d'onde du spectre, et en donner les couleurs.
6. Montrer qu'un point M quelconque a une vitesse radiale est une fonction de θ que l'on établira.
7. A partir de la relation de Doppler-Fizeau en déduire la vitesse radiale de rotation de la planète saturne.
8. Mesurer la vitesse de rotation des anneaux. Que peut-on dire de la vitesse de rotation des anneaux ? Comment interpréter cette observation ?

On précise que le rayon du globe de saturne est $R = 60400 \text{ km}$

On rappelle que la lumière du soleil «étant réfléchie, cela double l'effet du décalage des raies.

T.P. n° 4

**Relativité du
Mouvement**

1° But de la manipulation.

On se propose de tracer la trajectoire de la planète Mercure par rapport à la terre, connaissant sa trajectoire par rapport au soleil. (Passage d'un référentiel Héliocentrique à un référentiel Géocentrique)

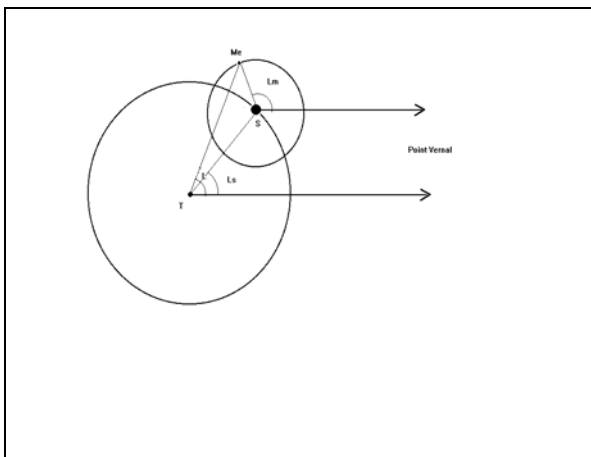
2° Rappels et définitions.

Trajectoire : lieu des points occupés par le système au cours du temps dans un référentiel donné.

Coordonnées équatoriales : α (ascension droite) et δ (déclinaison.).

Longitude Héliocentrique : λ

Date	Longitude		Date	Longitude	
	Héliocentrique Mercure	Géocentrique Soleil		Héliocentrique Mercure	Géocentrique Soleil
jan-01	199	280	avr-01	209	11
6	219	285	6	225	15,5
11	233,5	290	11	239	20,5
16	247	295	16	253	25,5
21	261	300	21	267	30
26	275	305	26	281	35
31	290	310,5			
			mai-01	296	40
fév- 5	305	315,5	6	312	45
10	322,5	320,5	11	330	50
15	342	326	16	351	54,5
20	5	331	21	15,5	59
25	32	336	26	43,5	64
			31	74	69
mar-02	62	341			
7	93	346			
12	123	351			
17	150	356			
22	173	1			
27	192	6			



On Note λ_s la longitude du soleil par rapport à la terre, et λ_m la longitude Héliocentrique de Mercure. Ces longitudes sont relevées tous les cinq jours de janvier à Mai.

On donne le rayon moyen de l'orbite de la terre et de mercure :

$$R_T = 150.10^6 \text{ km}$$

$$R_{me} = 60.10^6 \text{ km}$$

3° Manipulation

On suppose que la trajectoire de la terre et de mercure par rapport au Soleil est un cercle dans le plan de l'écliptique.

Prendre un point T qui représente la terre.

Tracer un cercle proportionnel au rayon de l'orbite de la terre.

Choisir une direction pour le point Vernal γ .

Pour le 1^{er} Janvier, tracer sur le cercle de centre T et de rayon 150.10^6 km la position du soleil en fonction de sa longitude géocentrique.

De la position du soleil tracer un cercle de 60.10^6 km . Tracer la position de mercure en fonction de sa longitude héliocentrique.

Recommencer ainsi pour chaque date.

Joindre ces positions successives de mercure.

Comparer la trajectoire de mercure par rapport au soleil, et par rapport à la terre.

Quelle est l'influence du référentiel sur la trajectoire ?

On peut lire les coordonnées héliocentriques des planètes sur les logiciels d'astronomie.

Objectif :

On se propose d'établir un calendrier mixte, et de faire apparaître les coïncidences des phases de la lune avec les calendriers lunaires, et la durée du jour au cours de l'année.

I) Le soleil dans le calendrier.

1° A partir des données du calendrier des postes de 1989, on se propose de construire les courbes de lever et de coucher du soleil. Les heures de lever et de coucher données dans le calendrier sont celles du soleil à Paris ; elles sont données en T.U.

On utilisera du papier millimétré. on choisira une échelle de 2 cm par heure et de 1 cm par semaine. Il y a donc besoin de deux feuilles quadrillées double format, collées.

a) Porter en abscisse la date, croissant de janvier à décembre et en ordonnées l'heure T.U., croissant de bas en haut de 3 heures à 21 heures. On représentera une observation par semaine, le dimanche.

b) joindre les points de la courbe, puis ceux du coucher.

2° Détermination des dates des équinoxes et des solstices. :

a) La durée du jour étant de 12 heures à l'équinoxe, découper une bande de papier correspondant à 12 heures, soit 24 cm. La déplacer et déterminer les deux dates d'équinoxe.

b) La durée du jour étant la plus grande ou la plus petite aux solstices d'été ou d'hiver, déterminer la date des solstices, et la durée du jour à ces deux dates.

c) Comment ces résultats seraient-ils modifiés si on avait représenté les heures de lever ou de coucher à Alger ou à Narvik ?

3° On suppose que le français moyen dort 8 heures par nuit, et se couche à 22 heures pour se lever à 6 heures.

Montrer que le changement horaire, qui fait utiliser comme heure légale l'été TU+2h, correspond à l'adaptation optimale de la période de veille à celle de l'éclairement solaire.

4° On se propose d'étudier l'heure de passage du soleil au méridien de Paris, qu'on appelle « midi solaire vrai » à Paris.

a) Tracer sur la figure la courbe du midi vrai, obtenue comme milieu des segments définis entre le lever et le coucher du soleil.

b) La courbe obtenue est-elle la droite TU = 12 heures ? Pourquoi ? Les écarts entre 12 heures TU et le midi vrai sont-ils en moyenne nuls sur l'année ? Que représente cette différence.

5° Utiliser les données du calendrier pour calculer la durée de chacune des 4 saisons.

II) Le soleil, la lune dans le calendrier.

a) Représenter, sur une feuille de papier quadrillé de format, les 12 mois successifs ; on portera sur le petit côté de la feuille le numéro du jour. Porter pour chaque mois de l'année 1989 les phases de la lune.

b) Indiquer le début de chaque mois du calendrier musulman et Israélites.

c) A quel mois de notre calendrier se situe le mois de Ramadan. ?

d) A quelle date est le nouvel an juif ?

e) A quelle date est le nouvel an musulman ?

T.P. n° 6

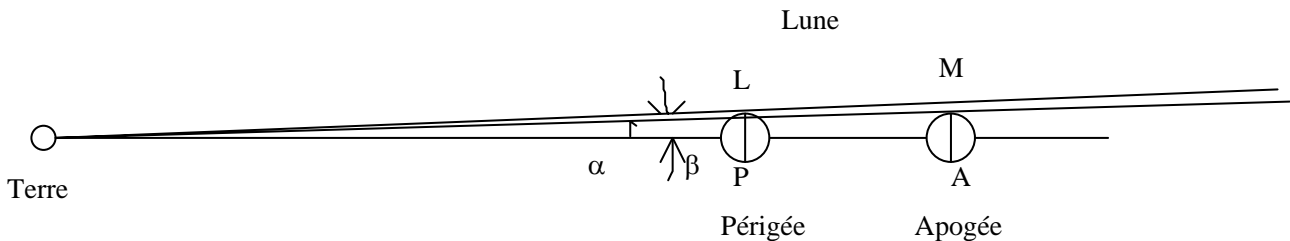
Orbite de la Lune

Objectif :

Établir à partir d'un document photographique que la trajectoire de la lune autour de la terre n'est pas un cercle, mais une ellipse, et déterminer les caractéristiques de cette ellipse.

Définitions

On peut remarquer que la lune, au cours d'un mois reste sensiblement sur l'écliptique. Les phases de la lune se répartissent régulièrement au cours de la lunaison de 29,5 jours. On peut observer que le diamètre apparent de la lune varie au cours de cette lunaison. Cette variation résulte de la variation de distance terre-lune, c'est à dire que la lune ne décrit pas un cercle autour de la terre.



La lune lorsqu'elle est au plus près de la terre est au Périgée, lorsqu'elle est au plus loin c'est l'apogée.

La révolution sidérale dure 27,3 jours, et la révolution synodique 29,5 jours.

Le diamètre apparent de la lune est donc plus petit lorsqu'elle est à l'apogée, et plus grand lorsqu'elle est au périhélie.

$$\boxed{\text{Diamètre apparent} * \text{distance} = \text{diamètre de la lune.}} \quad (1)$$

Activités

A l'aide des photos ci-jointe prise durant les mois de juillet et août 1990 et des données ci-jointes construire la trajectoire de la lune par rapport à la terre.

L'orbite de notre satellite est inclinée de 5° sur le plan de l'écliptique.

n° de photo	date 1990	Longitude °	Latitude °
1	30/07	231	-5.1
2	01/08	249	-4.7
3	02 08	267	-3.4
4	06 08	319	+1.0
5	09 08	1	+4.2
6	10 08	13	+4.8
7	12 08	41	+5.2
8	16 07	31	+5.2
9	18 07	60	+4.85
10	19 07	75	+4.2
11	20 07	90	+3.2
12	26 07	172	-4.3
13	28 07	207	-5.2

1° Mesure du diamètre des images de la lune

L'image de la lune n'est pas toujours un disque plein, en particulier lorsque la lune est en phase de croissant : les pointes n'atteignent pas le diamètre à mesurer. On peut les déterminer de deux façons :

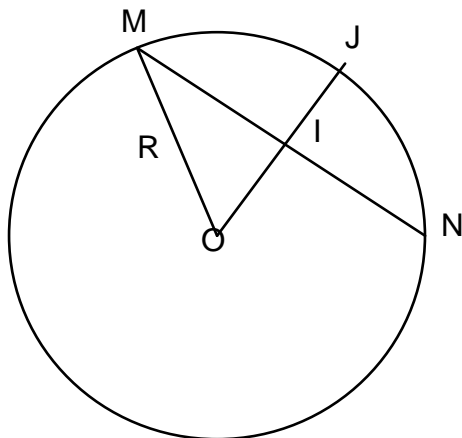
a) première méthode :

On trace avec un feutre fin fixé sur un compas une série de cercles qui serviront de gabarit aux diamètres désirés.

On trace des cercles de diamètre φ variant de 8,2 à 9,4 cm, concentriques de 2 en 2 mm, sur une feuille de papier millimétré transparent.

On superpose ces abaques sur les photos de la lune et on note les diamètres correspondant à chaque photo.

b) seconde méthode :



On mesure la longueur d'une corde MN sur le disque lunaire et la flèche correspondante IJ. Cette mesure peut se faire sur un papier millimétré transparent qui permet de faire les deux mesures en même temps.

Dans le triangle OIM rectangle en I on peut écrire :

$$OM^2 = (OJ - IJ)^2 + (MN/2)^2$$

Or $OM = OJ = R$

$$\text{d'où } 2R = IJ + MN^2 / (4 * IJ)$$

2° Tracé de l'orbite

Sur une feuille de papier, à partir du centre F du rectangle, joindre F au milieu du grand côté de la feuille. Cette demi-médiane sert de ligne de départ des longitudes. Tracer les 13 longitudes données dans le tableau. On tournera dans le sens direct.

De la relation (1) on en déduit que la distance terre-lune = k/φ

Un choix de k permet de cadrer la trajectoire dans la feuille.

Additionner les valeurs de distances obtenues et en calculer la moyenne.

Tracer sur ce calque un cercle ayant cette moyenne pour rayon. Ce cercle permet par approximations successives de déterminer le rayon du cercle qui passe par les 13 points Soit a son rayon et O son centre.

3° Détermination de caractéristiques de l'orbite

Connaissant le centre O de l'ellipse et son foyer F, on peut en déduire son excentricité $e = OF/a$. Le grand axe OF coupe l'ellipse au périhélie et à l'apogée. Repérer ces deux points et mesurer leur longitude. A quelles dates la lune est-elle passée en ces points ?

Le petit axe de l'ellipse est perpendiculaire au grand axe et passe par O sa longueur 2b est telle que $a^2 = b^2 + a^2e^2$. Calculer b et discuter sur la forme de l'ellipse

Grand axe = 2a petit axe = 2b excentricité $e = c/a$ $OB = b$ $OA = a$ $OF = c$

$$BF = a$$

