



**SOLUTIONS
COMPLÉMENTS POUR L'ENSEIGNANT
À PROPOS DES DOCUMENTS JOINTS**

SOLUTIONS

1. a. 57 900 000 ; 108 200 000 ; 149 600 000 ; 227 900 000 ; 778 300 000 ;
1 427 000 000 ; 2 869 600 000 ; 4 496 600 000.

b. Mercure ; Mars ; Vénus ; Terre ; Neptune ; Uranus ; Saturne ; Jupiter (les diamètres donnés dans le tableau sont des diamètres équatoriaux).

c. 1. Faux ; 2. Vrai ; 3. Vrai (78 300 000) ; 4. Vrai (377 500 000)

Remarque : Quand la planète Mars est au plus loin de la Terre (réponse à la question 4), de l'autre côté du Soleil, on dit qu'elle est en conjonction. Au plus près (question 3), on la dit en opposition (avec le Soleil).

L'orbite de la Terre et surtout celle de Mars étant elliptique, la distance Terre Mars à l'opposition n'est pas toujours de 78 300 000 km. La meilleure opposition du ^{xxi}^e siècle a eu lieu fin août 2003 : la distance de Mars était alors de moins de 55 700 000 km.

3. *Fichier avec les solutions sur le CD M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions*

a. L'échelle peut être donnée sous forme d'un nombre, $1/10^{11}$ ou 10^{-11} , mais aussi sous la forme plus courante de 1 cm pour 1 000 000 km.

b. Diamètres en mm : 0,05 ; 0,12 ; 0,13 ; 0,07 ; 1,40 ; 1,16 ; 0,51 ; 0,49

Distances en m : 0,58 ; 1,08 ; 1,50 ; 2,28 ; 7,78 ; 14,27 ; 28,70 ; 44,97

Remarque : les rayons sont si petits qu'on ne peut donc pas réaliser une telle maquette. On utilise en général deux échelles différentes, l'une pour les distances, l'autre pour les rayons. Si on veut vraiment n'utiliser qu'une seule échelle, on peut choisir par exemple $1/10^{12}$. Dans ce cas Mercure a un diamètre de 0,5 mm et Neptune est à 450 mètres du Soleil...

4. a. Vénus 108 000 000 km ; Terre 1 UA ; Saturne 9,5 UA ; Neptune 4 500 000 000 km

5. *Fichier avec les solutions sur le CD M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions*

a. Vénus : 0% ; Terre : 0,003 ou 0,3% ; Mars : 0,6% ; Jupiter : 6,5% ; Saturne : 9,8 %

b. Il semblerait logique que l'aplatissement ait un rapport avec la vitesse de rotation puisqu'il provient de l'accélération centrifuge. Plus une planète tourne vite sur elle-même, plus elle s'aplatit. Même une planète solide comme la Terre a une élasticité suffisante pour cela.

On peut vérifier que l'aplatissement est nul pour Vénus qui tourne très lentement, un peu plus élevé pour la Terre et Mars et encore plus important pour Jupiter et Saturne qui tournent beaucoup plus vite sur elles-mêmes. Mais ce n'est pas si simple, il suffit de voir que l'aplatissement de Saturne est nettement plus élevé que celui de Jupiter. En réalité, il est aussi lié à la densité de la planète dont dépend l'accélération de la pesanteur. C'est parce que Saturne est moins dense que Jupiter que son aplatissement est beaucoup plus important.

Dans le tableau, les périodes de rotation ont été arrondies à 10 minutes près. Les planètes géantes étant gazeuses, on trouve différentes périodes suivant le repère choisi (zone équatoriale, zone de latitudes plus élevées, magnétosphère).

6. *Fichier avec les solutions sur le CD M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions*

a. $A_V \approx 4,6 \times 10^8$; $A_S \approx 4,3 \times 10^{10}$ (en km^2)

b. $V_V \approx 9,3 \times 10^{11}$; $V_S \approx 8,3 \times 10^{14}$

c. 10 ; 100 ; 1000

d. 4 (2^2) ; 8 (2^3)

Remarque : On a choisi de donner dans le tableau le rayon moyen défini ici comme étant le rayon d'une sphère ayant le même volume que l'ellipsoïde de révolution.

On peut vérifier que : rayon moyen = $(r_{\text{équatoriale}}^2 \times r_{\text{polaire}})^{1/3}$

7. *Feuille de calcul à compléter M&A_CLEA_08_SSolaire_Enonces + Solutions sur le CD*

Volumes en cm^3 :

$6,08 \times 10^{25}$; $9,28 \times 10^{26}$; $1,08 \times 10^{27}$; $1,63 \times 10^{26}$; $1,43 \times 10^{30}$; $8,26 \times 10^{29}$; $6,86 \times 10^{28}$; $6,23 \times 10^{28}$

Masses volumiques en kg/dm^3 ou g/cm^3 : 5,42 ; 5,25 ; 5,51 ; 3,93 ; 1,33 ; 0,69 ; 1,26, 1,64.

8. Feuille de calcul à compléter **M&A_CLEA_08_SSolaire_Enonces + Solutions** sur le CD

La formule n° 3 donne des résultats proches pour chacune des planètes. Il s'agit d'ailleurs de la 3^e loi de Kepler. La constante vaut environ 25 avec les unités données. Elle vaut 1 si on choisit comme unités l'unité astronomique et l'année. En unités S.I. (mètres et secondes), on obtiendrait $3,4 \times 10^{18}$. Cette formule établie par Kepler en 1619 s'explique avec Newton et les lois de la mécanique si la masse des planètes est petite devant la masse du Soleil, ce qui est bien le cas dans le système solaire. On montre que la constante vaut

alors : $\frac{G \times m_S}{4\pi^2}$ où G est la constante de gravitation ($6,67 \times 10^{-11}$ SI) et m_S la masse du Soleil. On retrouve bien ainsi $3,4 \times 10^{18}$.

Plus précisément, la constante vaut $G \times (m_S + m_P) / 4\pi^2$ où m_P est la masse de la planète. Même si m_P est petit devant m_S , la masse d'une planète n'est pas nulle et la constante n'est pas constante (en toute rigueur, cette loi est fautive ; c'est la différence entre les mathématiciens et les physiciens dans l'utilisation du signe = ...).

9. Fichier avec les solutions sur le CD **M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions**

On peut commencer l'exercice en cherchant si les distances des planètes au Soleil sont les termes d'une suite arithmétique ou géométrique.

a Cette formule approximative est empirique et s'explique mal. Elle s'applique aussi aux satellites de Jupiter.

b. On trouve $D = 2,8$

On peut se demander pourquoi il n'y a pas Mercure ($a = 0,39$). On devrait avoir $2^n \approx 0$. On considère que n vaut alors $-\infty$.

10. Fichier avec les solutions sur le CD **M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions**

On pourra discuter auparavant avec les élèves des unités à choisir et des arrondis.

En km/h (arrondi au millier) : 173 000 ; 126 000 ; 108 000 ; 87 000 ; 47 000 ; 35 000

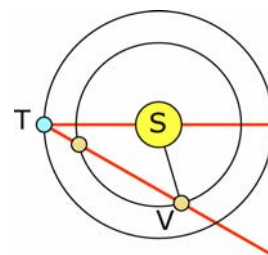
En km/s (arrondi à l'unité) : 48 ; 35 ; 30 ; 24 ; 13 ; 10

11. Fichier GeoGebra **M&A_CLEA_SSolaire_Ex11.ggb**

Dans le triangle Soleil Terre Vénus, on connaît SV (108), ST (150) et T (30°). On cherche TV.

On cherche ici une distance de centre à centre, le rayon des planètes étant petit devant leur distance.

Un schéma montre tout de suite qu'il y a deux solutions



Méthode 1 avec al Kashi : $SV^2 = ST^2 + VT^2 - 2 \times ST \times VT \times \cos T$; $108^2 = 150^2 + VT^2 - 2 \times 150 \times VT \times \cos 30^\circ$

VT est solution de l'équation $VT^2 - 150 \sqrt{3} VT + 10\,836 = 0$. On trouve deux solutions $75\sqrt{3} \pm \sqrt{6039}$ soit 52,2 ou 207,6 millions de km.

Méthode 2 avec la loi des sinus : $\sin \hat{V} = 150/108 \times \sin 30^\circ$ d'où $\sin \hat{V} = 25/36$. Deux solutions 44° ou 136° .

$S = 180^\circ - 30^\circ - \hat{V}$. \hat{S} vaut 14° ou 106° . On applique à nouveau la loi des sinus

$VT = 108 \times \sin \hat{S} / \sin 30^\circ = 216 \sin \hat{S}$. D'où $VT = 52,3$ ou 207,6 millions de km.

12. Un problème de révision très abordable en 3^e ou en 2^{de}.

c. À la même échelle, le diamètre de la Terre serait d'environ 1 micromètre !

d. La distance Terre Vénus varie de 42 à 258 millions de km.

e. L'élongation maximale est obtenue en traçant la tangente à l'orbite de Vénus.

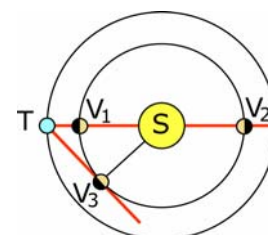
On calcule TV_3 avec le théorème de Pythagore (104 millions de km).

On obtient, avec le sinus, un angle de 46° .

f. Vénus apparaît en quartier sous la forme d'un demi disque.

g. En 584 jours, Vénus effectue 2,6 tours et la Terre 1,6 tour, soit un tour de moins. Vue depuis la Terre, on retrouvera donc Vénus dans la même position par rapport au Soleil.

Les périodes de révolution de 225 jours pour Vénus ou 365 jours pour la Terre sont des périodes sidérales, mesurées par rapport aux étoiles considérées comme fixes. La période apparente de 584 jours de Vénus est appelée période synodique.



Voici deux questions supplémentaires un peu plus difficiles que l'on peut ajouter à l'exercice :

h. Quand Copernic élaborait son système du monde, il ne connaissait que la période de révolution de la Terre de 365 jours et la période apparente de 584 jours (période synodique de Vénus) mais ignorait la période de révolution sidérale de Vénus.

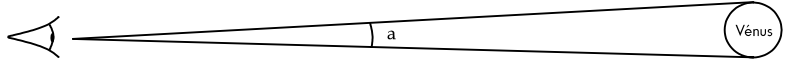
Pour déterminer, comme lui, la période x de révolution de Vénus:

- Calculer le nombre de tours N_1 effectués par la Terre en 584 jours.
- Calculer, en fonction de x , le nombre de tours N_2 effectués par Vénus en 584 j.
- On retrouve les mêmes positions relatives des trois astres après 584 jours, donc Vénus a fait un tour de plus que la Terre autour du Soleil. On a donc : $N_2 = N_1 + 1$.

En déduire x .

i. Calculer le diamètre angulaire de Vénus à l'époque de la conjonction inférieure, de l'élongation maximale et de la conjonction supérieure (en secondes d'arc).

Le diamètre angulaire est l'angle a sous lequel on voit le diamètre de Vénus depuis la Terre.



Solutions des questions supplémentaires :

h. $N_1 = 584/365$ et $N_2 = 584/x$.

L'équation devient : $584/x = 584/365 + 1$ ou $1/x = 1/365 + 1/584$

On obtient 587 jours au lieu de 584 à cause des approximations. Pour avoir un résultat plus précis, il suffit de prendre 224,7 j et 365,3 j au lieu de 225 et 365.

Remarque : l'équation $1/x = 1/365 + 1/584$ peut s'interpréter comme une composition de vitesses angulaires en tours/jour. Elle signifie que la vitesse angulaire de Vénus par rapport aux étoiles ($1/x$ ou $1/225$) est égale à la vitesse angulaire de Vénus par rapport à la Terre ($1/584$) plus la vitesse angulaire de la Terre par rapport aux étoiles ($1/365$).

i. Les élèves pensent la plupart du temps à utiliser la tangente, soit en partageant le triangle isocèle en 2 triangles rectangles, soit en assimilant le triangle isocèle à un triangle rectangle. La différence n'est pas significative.

On peut aussi faire ces calculs sans trigonométrie, en confondant le diamètre de Vénus avec un arc de cercle dont la longueur est proportionnelle à l'angle au centre.

En appelant r la distance Terre-Vénus en km : $2\pi r \rightarrow 360^\circ$ donc $12\,100 \rightarrow 360^\circ \times 12\,100/2\pi$

En multipliant par 3600 pour obtenir des secondes d'arc, on obtient la formule :

$$\text{Diamètre apparent } a \text{ (en secondes d'arc)} \approx 2496 \times 10^6 / r$$

On obtient comme diamètre apparent de Vénus, environ $10''$ à la conjonction supérieure, $24''$ à l'élongation maximale et $59''$ à la conjonction inférieure. Malheureusement à ce moment, c'est le côté non éclairé de Vénus qui fait face à la Terre. Vous trouverez à la suite dans les compléments (dans Observation des planètes) les phases de Vénus observée au télescope.

13. Feuille de calcul avec la solution sur le CD **M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions**

Origine des angles : la direction Soleil Terre lors de la conjonction.

L'angle origine - Soleil - Terre vaut $360^\circ \times t / 365$

L'angle origine - Soleil - Vénus vaut $360^\circ \times t / 225$

L'angle Terre Soleil Vénus vaut $360^\circ \times t / 225 - 360^\circ \times t / 365$ soit environ $0,614 t$ (en degrés)

$$\text{ou } 2\pi \times t / 225 - 2\pi \times t / 365 \text{ soit environ } 0,0107 t \text{ (en radians)}$$

On utilise al Kashi dans le triangle Soleil Terre Vénus

$$TV^2 = 108^2 + 150^2 - 2 \times 108 \times 150 \times \cos(0,614 t)$$

d'où $TV = \text{racine}(34\,164 - 32\,400 \cos(0,614 t))$

14. L'énoncé est ici volontairement très court et la solution n'est pas simple à trouver.

Une simulation sous Geoplan permet de bien comprendre le problème : **M&ACLEA SSolaire Ex14.g2w**

(les flèches haut et bas permettent d'avancer dans le temps, + et - changent le pas).

Première méthode :

Origine des temps : 3 mars 2012 ; des angles : la demi-droite Soleil Terre ce jour-là.

On note t le temps en jour.

Nombre de tours effectués par la Terre : $t/365$

Nombre de tours effectués par Mars : $t/687$

Quand les deux planètes se retrouveront dans la même configuration, la Terre aura effectué un tour de plus que Mars. On peut donc écrire : $t/365 = t/687 + 1$.

La résolution de cette équation donne $t \approx 779$ jours (on trouve 780 jours avec 365,26 jours au lieu de 365)

Deuxième méthode :

Vitesse angulaire de Mars : $1/687$ tour/jour ; de la Terre : $1/365$ tour/jour ;

de Mars par rapport à la Terre : $1/365 - 1/687$ (les vitesses angulaires se soustraient car les deux planètes tournent dans le même sens).

Si on appelle T la période recherchée, on doit avoir : $1/T = 1/365 - 1/687$.

Ce type de problème est aussi abordé dans les parties Lune et calendriers.

15. Feuille de calcul à compléter **M&A_CLEA_08_SSolaire_Enonces + Solutions** sur le CD

Chiron fait partie de la famille des Centaures. Il est classé à la fois dans la famille des astéroïdes et la famille des comètes.

Les données proviennent du site de l'IMCCE. Les coordonnées ont été recalculées dans le plan de l'orbite de Chiron. La première position de Chiron (le 1^{er} janvier 2000 à 12 h) sert d'origine pour les angles.

Les dates sont incrémentées de 365,25 jours à chaque fois.

a. Avec al-Kashi : $CC' = \rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2 \cos a$ où a est la variation de θ .

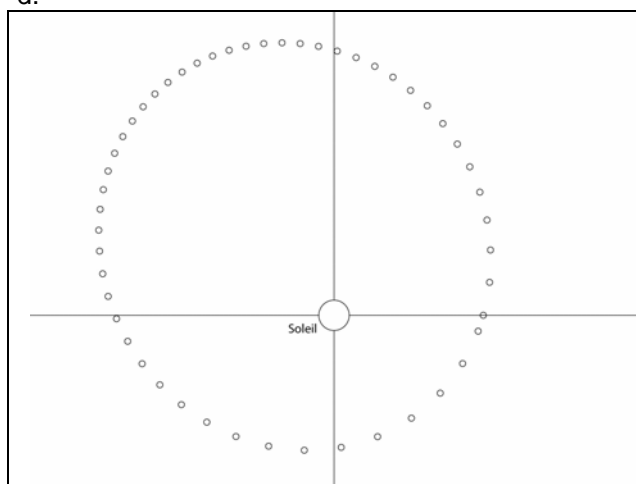
b. $v = CC'/(365,25 \times 24 \times 360)$.

On peut vérifier que, plus Chiron est loin du Soleil, plus il va lentement. En grossière approximation, on pourrait dire que vitesse et distance sont inversement proportionnelles. Mais la loi des aires est plus précise.

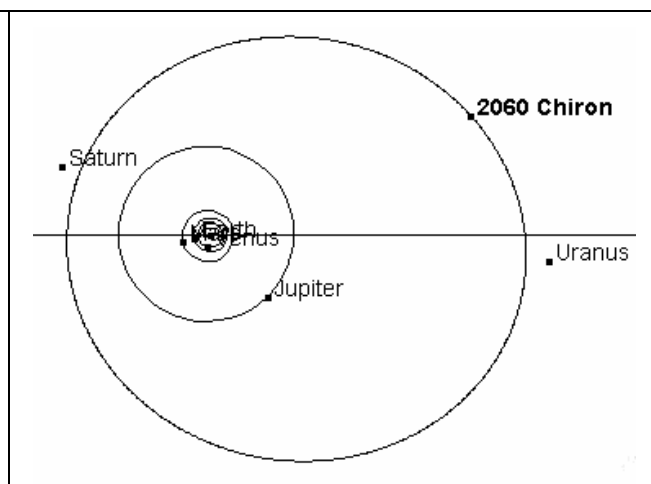
c. On calcule l'aire de chaque triangle avec la formule $\frac{1}{2} \times \rho_1 \times \rho_2 \times \sin a$.

On obtient des valeurs comprises entre 10,5 et 10,9 ua².

d.



L'orbite de Chiron tracée à partir des données de l'énoncé.



L'orbite de Chiron dans le système solaire sur le site www.ssd.jpl.nasa.gov

COMPLÉMENTS POUR L'ENSEIGNANT

Quelques données pour vos propres exercices

Planète	Distance moyenne au Soleil (10 ⁶ km)	Période de révolution sidérale	Période synodique	Période de rotation sidérale	Durée du jour solaire	Rayon équatorial en km	Masse en kg	Masse volum. (g/cm ³)
Mercure	58	88 j	116 j	58,65 j	176 j	2 440	3,3×10 ²³	5,4
Vénus	108	224,7j	584 j	-243 j (*)	117 j	6 052	4,87×10 ²⁴	5,2
Terre	150	365,256 j		23 h 56 min	24 h	6 378	5,97×10 ²⁴	5,5
Mars	228	687 j	780 j	24 h 37 min	24 h 40 min	3 396	6,42×10 ²³	3,9
Jupiter	778	4 333 j (11,86 a)	399 j	9 h 55 min	9 h 55 min	71 492	1,9×10 ²⁷	1,3
Saturne	1 429	10 759 j (29,46 a)	378 j	10 h 40 min	10 h 40 min	60 268	5,68×10 ²⁶	0,7
Uranus	2 875	30 688 j (84 a)	370 j	17 h 14 min	17 h 14 min	25 560	8,68×10 ²⁵	1,3
Neptune	4 504	60 182 j (164,8 a)	367 j	16 h 07 min	16 h 07 min	24 764	1,02×10 ²⁶	1,6

(*) Le signe – indique que la rotation se fait dans le sens rétrograde (dans le sens des aiguilles d'une montre si la planète est vue du nord de l'écliptique).

Précisions sur quelques termes :

Période de révolution sidérale : mesurée par rapport aux étoiles

Période de révolution synodique : période après laquelle on retrouve une même position de la planète par rapport au Soleil (voir l'exercice 12 question h).

Période de rotation sidérale : mesurée par rapport aux étoiles.

Durée du jour solaire : c'est la période de rotation mesurée par rapport au Soleil. Elle diffère de la période de rotation sidérale parce que la planète tourne autour du Soleil (voir le complément 3 de la partie Rotation).

Lune

Distance Terre Lune : de 356 000 km à 407 000 km (moyenne : 384 000 km) ;

Masse : $7,35 \times 10^{22}$ kg ; Rayon : 1 738 km ; Masse volumique : $3,34 \text{ g/cm}^3$.

Soleil

Rayon : 696 000 km ; Masse : 2×10^{30} kg ; Masse volumique moyenne : $1,4 \text{ g/cm}^3$;

Température de surface : 5 800 K ; Température au cœur : 15 000 000 K ;

Puissance totale rayonnée : 4×10^{26} W ; Âge : 4,5 milliards d'années.

A cause des réactions nucléaires produisant l'énergie du Soleil, chaque seconde 600 millions de tonnes d'hydrogène sont transformés en Hélium et 4 millions de tonnes disparaissent en énergie suivant la fameuse formule $E = mc^2$.

Classification des planètes du système solaire

On peut classer les planètes de deux manières : en planètes inférieures et planètes supérieures suivant leur position par rapport à la Terre, ou en planètes telluriques et planètes gazeuses suivant leur composition.

Planètes inférieures et planètes supérieures

Les planètes inférieures sont les planètes plus proches du Soleil que la Terre. Il s'agit donc de Mercure et Vénus.

Observées depuis la Terre, elles ne s'éloignent jamais beaucoup du Soleil. On peut donc les observer le soir ou le matin mais jamais au milieu de la nuit. Leur élancement (distance angulaire avec le Soleil) passe par un maximum quand la direction Terre - planète est tangente à l'orbite (positions 3 et 4).

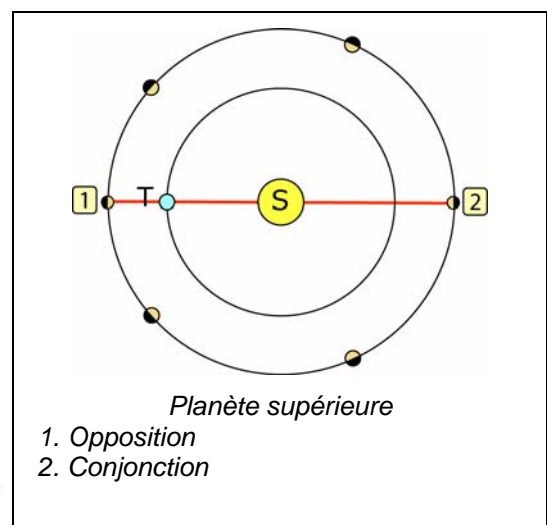
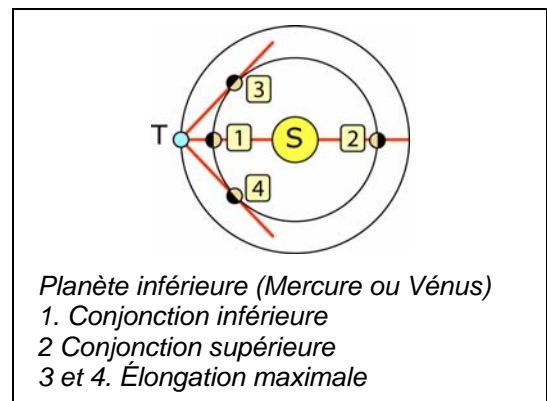
Les planètes inférieures peuvent passer entre la Terre et le Soleil (position 1, conjonction inférieure). Les orbites n'étant pas coplanaires, il est exceptionnel qu'on les voie passer devant le disque solaire. Cela est arrivé pour Vénus le 8 juin 2004 et le 6 juin 2012, les passages suivants ayant lieu en 2117 et 2125. Pour Mercure, c'est un peu plus courant (9 mai 2016, 11 novembre 2019, 13 novembre 2032, 7 novembre 2039, 7 mai 2049...).

Vues au télescope, ces planètes présentent des phases comme la Lune.

Les planètes supérieures sont les planètes plus éloignées du Soleil que la Terre. Il s'agit de Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Elles ne peuvent pas passer entre le Soleil et la Terre. Au télescope, elles ont la forme soit d'un disque soit d'une planète gibbeuse (entre un quartier et un disque). Pour Mars par exemple, on voit au minimum 90% du disque de la planète éclairé.

Quand une planète est située à l'opposé du Soleil (on la dit alors à l'opposition), elle est au plus près de la Terre et est visible toute la nuit. Quand une planète est en conjonction avec le Soleil, elle est invisible et au plus loin de la Terre.



Sur les schémas, on a représenté les orbites circulaires. On sait depuis Kepler qu'elles sont elliptiques mais leur excentricité est relativement faible (voir le paragraphe sur les orbites)

Planètes telluriques et planètes gazeuses

Le calcul des masses volumiques (exercice 7) montre clairement qu'il y a deux types de planètes. D'une part, celles dont la masse volumique est comprise entre 3,9 et 5,6. On les appelle les planètes telluriques, ce sont des planètes rocheuses semblables à la Terre. D'autre part, celles dont la masse volumique est inférieure à 1,7. Ce sont des planètes gazeuses, constituées principalement de gaz, même si elles ont sans doute un noyau rocheux. Ce sont les plus grosses des planètes (de 3,8 à 11,2 fois la Terre en diamètre), d'où leur autre nom de planètes géantes.

À propos des orbites

Dans tous les exercices, nous avons considéré des orbites circulaires parcourues à vitesse constante. Nous savons depuis Kepler que ce n'est pas vrai.

Première loi de Kepler : les orbites des planètes sont des ellipses dont le Soleil est un des foyers.

Deuxième loi de Kepler ou loi des aires : les aires parcourues par le rayon vecteur en des temps égaux sont égales.

Le schéma ci-dessous illustre ces deux lois.

S : Soleil (au foyer de l'ellipse) ;

P : périhélie (point de l'orbite le plus proche du Soleil) ;

A : Aphélie (point de l'orbite le plus éloigné du Soleil) ;

OA = a (demi grand axe)

OB = b (demi petit axe)

OS = c (distance du centre de l'ellipse au foyer)

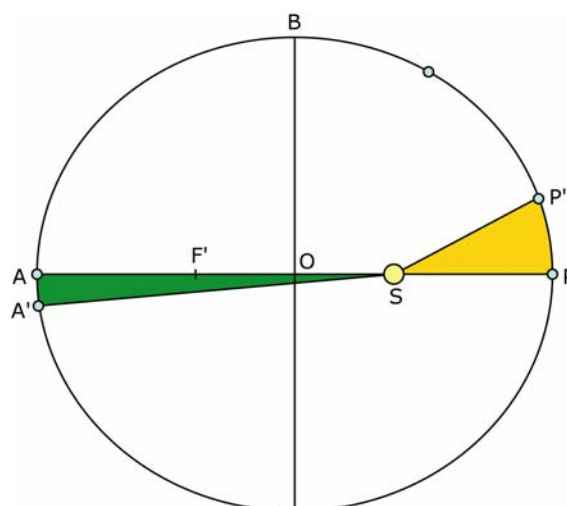
On a : $a^2 = b^2 + c^2$

$e = c/a$ (excentricité)

La distance d'une planète au Soleil varie de $a - c$ au périhélie (P) à $a + c$ à l'aphélie (A).

Si la planète va de P à P' et de A à A' dans le même temps, les aires des surfaces jaune et verte sont égales. Ce qui signifie que la planète va plus vite quand elle est plus proche du Soleil.

L'excentricité est très exagérée ici : elle vaut sur ce schéma 0,38 soit 4 fois plus que celle de Mars.



Autre précision importante : la formation du système solaire à partir d'un nuage de gaz et de poussières explique que les plans des orbites des planètes sont proches mais ils ne sont pas confondus. Le tableau ci-dessous vous donne les inclinaisons. Le plan de référence est le plan de l'orbite terrestre appelé plan de l'écliptique (plus précisément, c'est le plan dans lequel se trouve le centre de masse du système Terre Lune).

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
e	0,206	0,007	0,0167	0,093	0,048	0,056	0,047	0,009
i	7°	3,4°	0°	1,85°	1,3°	2,5°	0,8°	1,8°

À propos des distances

On peut se demander comment ont été déterminées les distances dans le système solaire. En voici un court résumé :

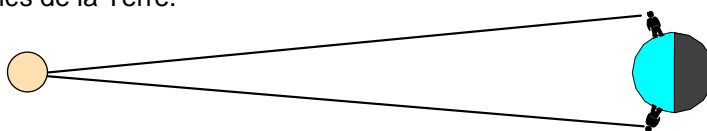
Le plan du système solaire est connu depuis Copernic par l'observation du mouvement apparent des planètes. Il ne manque que l'échelle. Une seule mesure de distance permet donc d'en déduire toutes les autres.

De la même manière, la troisième loi de Kepler relie la période de révolution T d'une planète au demi grand axe de son orbite a par la relation $\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$. La mesure d'une seule distance permet de calculer cette constante puis les autres distances.

Méthode 1 : mesure de parallaxe

On vise le même objet depuis deux points éloignés de la Terre.

La mesure de l'angle entre les deux directions de visée et la connaissance de la distance entre les deux observateurs permettent de calculer la distance de l'astre.

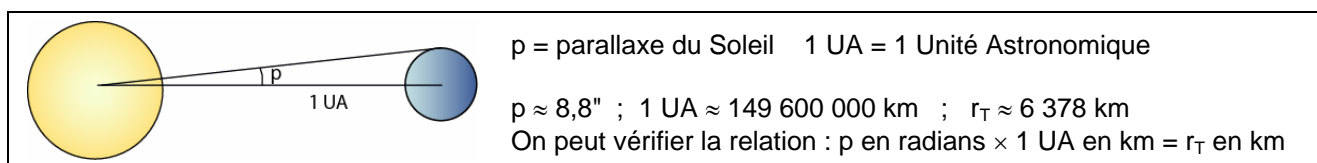


Sur le Soleil : la méthode est difficile à appliquer car l'angle à mesurer est très petit ($<18''$) et l'échauffement des instruments pose problème.

Sur Mars : Richer et Cassini en 1672 ont trouvé une parallaxe d'environ $10''$, ce qui correspond à une distance de 130 000 000 km entre la Terre et le Soleil.

Sur Éros (un astéroïde qui est passé à 22 millions de km de la Terre en 1931). On a trouvé 150 000 000 km pour la distance Terre Soleil.

On utilise souvent l'unité astronomique (UA) pour donner les distances dans le système solaire. Il s'agit du demi-grand axe de l'orbite terrestre. **1 UA = 149 597 870 610 m** (arrondi souvent à 150 000 000 km). Dans la littérature, on trouve souvent la parallaxe du Soleil plutôt que la distance Terre - Soleil. Il s'agit de l'angle sous lequel on observerait le rayon équatorial terrestre depuis le Soleil.



Méthode 2 : passage de Vénus devant le Soleil

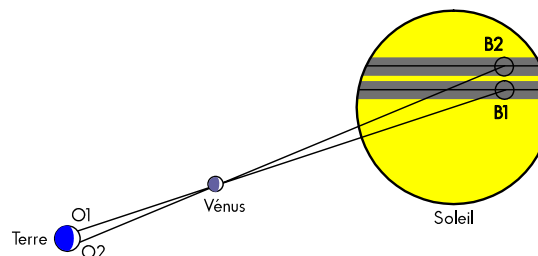
On mesure les durées du passage de Vénus depuis 2 points O_1 et O_2 .

Les différences de durée nous renseignent sur B_1B_2 en seconde d'arc.

On mesure O_1O_2 en km puis on calcule B_1B_2 en km (sachant que $SV = 0,72 \times ST$).

On déduit ensuite de ces 2 résultats la distance Terre - Soleil en km.

Les premières mesures ont été réalisées en 1769.



La fiche **Le passage de Venus Fiche CLEA** propose une autre méthode basée non plus sur la mesure du temps mais sur deux photographies du passage faites au même instant depuis deux lieux éloignés.

Méthode 3 : écho radar et écho laser

Écho radar sur la Lune en 1946, sur Vénus en 1961. Écho laser sur la Lune depuis 1969.

La mesure du temps que met la lumière à faire l'aller et retour donne immédiatement la distance. La précision est de l'ordre du cm pour la Lune et du km pour les planètes.

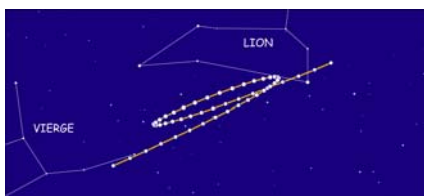
(Pour le laser Lune, nombreux renseignements sur le site

<http://wwwrc.obs-azur.fr/cerga/laser/laslune/llr.htm>).

L'observation des planètes

Il serait dommage de travailler avec les élèves sur les planètes sans qu'ils puissent en observer. Cinq planètes sont visibles à l'œil nu : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Voici ci-dessous leurs conditions générales d'observation. Pour savoir ensuite à quelles dates il vaut mieux observer, il faut consulter des éphémérides. Vous en trouverez sur le site du CLEA.

Les planètes ne sont pas inscrites sur les cartes du ciel. C'est d'ailleurs leur caractéristique. À l'origine (à l'époque babylonienne puis grecque), une planète est un "astre errant", un point lumineux qui, au cours des mois, change de position au milieu des étoiles. On les a longtemps prises pour des dieux se promenant dans le ciel et on leur a donc donné des noms de dieux (Vénus, déesse de l'amour, Mars, dieu de la guerre...). On a expliqué leur mouvement erratique avec Copernic : on observe des objets qui tournent autour du Soleil depuis une planète qui, elle aussi, se déplace.



Opposition du 3/03/2012



Opposition du 8/04/2014



Opposition du 22/05/2016

Mouvement apparent de Mars dans le ciel dans les 8 mois qui entourent son opposition. Quand la Terre double la planète Mars, on voit celle-ci reculer. On parle alors de boucle de rétrogradation.

Planètes inférieures

Mercure et Vénus, les deux planètes intérieures, restent toujours à proximité du Soleil et sont donc visibles soit le soir, soit le matin.

Mercure est la plus difficile à observer car elle est la plus proche du Soleil. La forte excentricité et l'inclinaison importante de son orbite font que ses conditions de visibilité sont peu régulières.

Vénus est l'astre le plus lumineux du ciel après le Soleil et la Lune. On la surnomme l'étoile du Berger bien qu'elle n'ait rien d'une étoile.

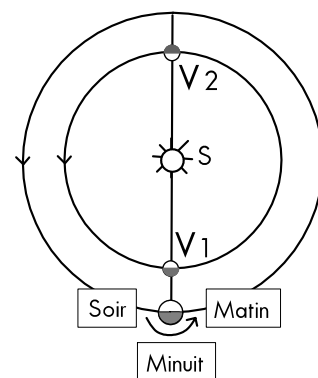
Sur ce schéma, on a représenté la Terre fixe et Vénus à différentes positions de son orbite autour du Soleil. Vénus semble ainsi tourner autour du Soleil en 584 jours (période synodique). On sait qu'en réalité, la Terre et Vénus tournent autour du Soleil en 225 et 365 jours. Géométriquement, ces deux représentations sont strictement équivalentes.

V2 : conjonction supérieure de Vénus.

V1 : conjonction inférieure de Vénus.

De V2 à V1, Vénus est visible le soir.

De V1 à V2, elle est visible le matin.



Quelques dates

Conjonctions inférieures	6/06/2012	11/01/2014	15/08/2015	25/03/2017	27/10/2018
Conjonctions supérieures	29/03/2013	25/10/2014	6/06/2016	8/01/2018	13/08/2019

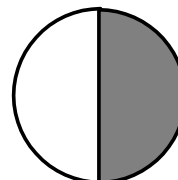
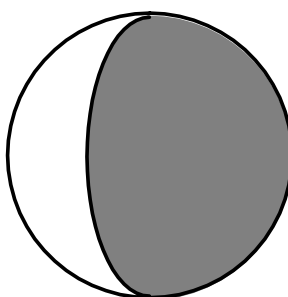
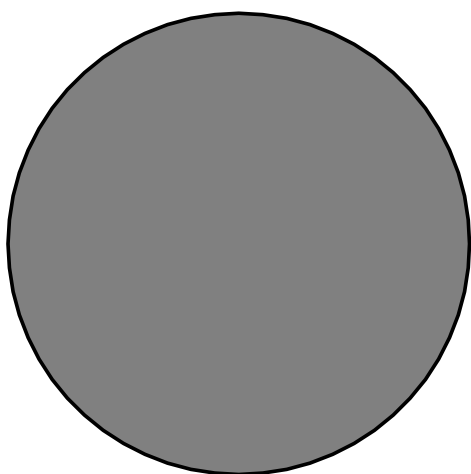
Lorsque l'on observe Vénus dans un télescope, on voit son diamètre apparent diminuer de 60" à 10" entre la conjonction inférieure V₁ et la conjonction supérieure V₂. Mais en même temps, le pourcentage éclairé du disque augmente en passant de 0% (conjonction inférieure) à 100% (conjonction supérieure). La position de Vénus où son éclat est maximal est située entre la conjonction inférieure et l'élongation maximale.

Conjonction inférieure

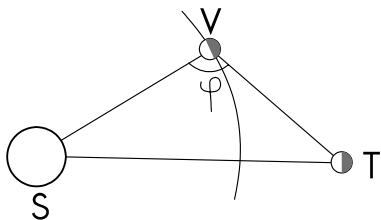
Éclat maximal

Élongation maximale

Conjonction supérieure



(1mm pour 1")



Angle de phase et partie éclairée de Vénus :

L'angle Soleil-Vénus-Terre, noté φ sur la figure, s'appelle l'angle de phase. La fraction éclairée du disque de Vénus vaut $1/2 (1 + \cos \varphi)$.

Planètes supérieures

La meilleure époque pour observer une planète supérieure, c'est le moment de son opposition. Elle est alors au plus près de la Terre et reste visible toute la nuit.

Avant son opposition, la planète est visible le matin.

Après l'opposition, elle est visible le soir.

Jupiter est la plus brillante de toutes, très facile à trouver.

Mars est reconnaissable à sa couleur orangée. Sa distance à la Terre varie énormément, c'est donc dans les quelques mois qui entourent son opposition qu'il convient de l'observer.

Saturne a la même luminosité que les étoiles brillantes. Il vaut donc mieux savoir où la chercher pour la trouver.

On peut reconnaître une planète d'une étoile à son type d'éclat : une étoile scintille alors que l'éclat d'une planète est plus stable. La scintillation s'explique par la turbulence atmosphérique qui perturbe le chemin lumineux. Pour une planète qui a un diamètre apparent non négligeable, la lumière qui nous en parvient suit différents chemins lumineux, ce qui atténue la scintillation.

À PROPOS DES DOCUMENTS JOINTS

Le passage de Venus Fiche CLEA

Cette fiche a été réalisée par le CLEA à la suite du passage de Vénus devant le Soleil en 2004. À partir de deux photos prises à la même heure, l'une depuis l'île de la Réunion et l'autre depuis la métropole, on peut calculer la distance du Soleil. Les calculs sont du niveau du collège.

M&A_CLEA_08_SSolaire_Enonces et M&A_CLEA_08_SSolaire_Solutions

Deux feuilles de calcul donnant les énoncés (exercices 7, 8 et 15) et les solutions (exercices 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13 et 15).

M&A_CLEA_08_SSolaire_Ex11.ggb

Une figure pour l'exercice 11

M&A_CLEA_SSolaire_Ex14.g2w

Un fichier Geoplan pour simuler les mouvements de la Terre et de Mars autour du Soleil. Le nombre de jours s'affiche en haut à gauche.

On part d'une opposition de Mars (Soleil Terre Mars alignés). Après 780 jours (la période synodique), on retrouve une nouvelle opposition. Cette animation permet d'illustrer l'exercice 14 et de vérifier la solution. On fait avancer le temps avec les flèches. On peut changer le pas avec + et -.

