

I. Présentation

Cette activité a pour but de vous faire découvrir comment on a découvert des dimensions dans le système solaire en n'utilisant que des mesures angulaires dans le ciel et des distances sur la Terre.

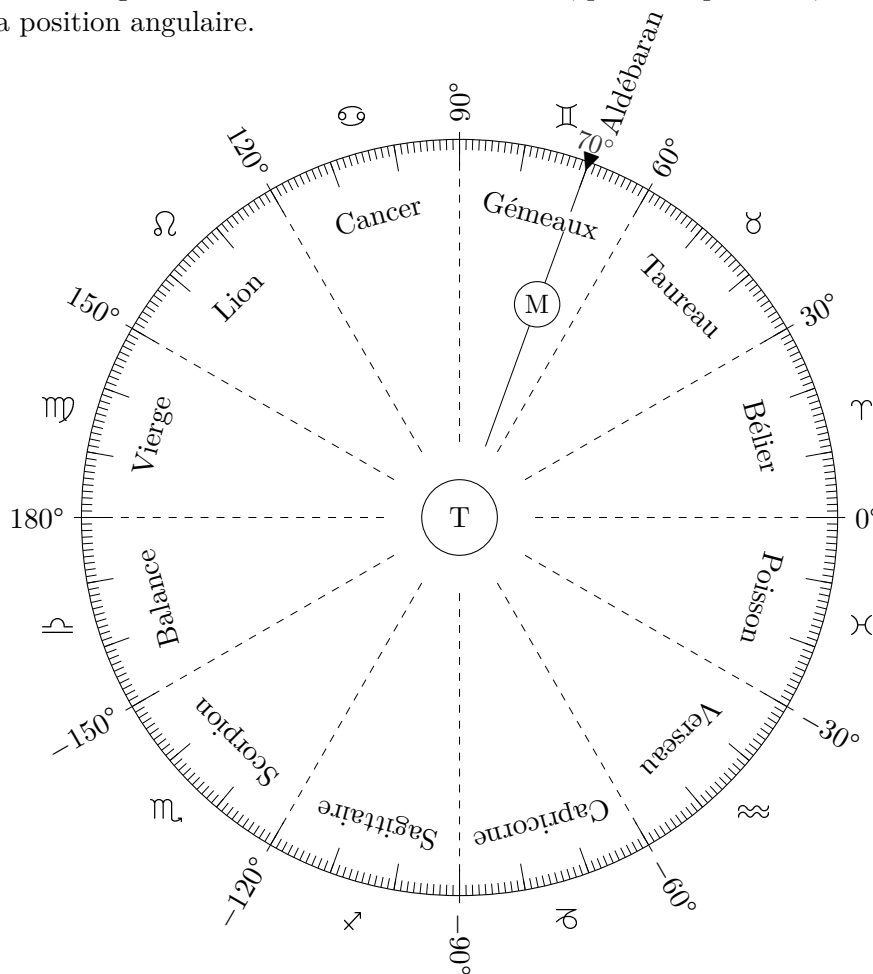
On parlera ici de mesures faites par **Tycho Brahe**, astronome danois du XVI^e siècle et **Johannes Kepler**, astronome allemand du XVII^e siècle. Tycho Brahe n'a fait que des mesures, mais des mesures ultra-précis pour l'époque (à la minute d'arc soit $1/60^e$ de degré) Kepler a de plus énoncé des lois (les planètes suivent des ellipses et non des cercles...) qui ont permis ensuite à **Isaac Newton** (fin XVII^e) d'énoncer sa loi de gravitation universelle.

I.1 L'écliptique et le Zodiaque

Le système solaire est à peu près situé dans un plan. On l'appelle le plan de l'**écliptique**. Vu de la Terre, ce plan apparaît comme une ligne dans le ciel. Le Soleil, Mars, Vénus sont tous dans ce plan.

Au delà, les étoiles sont tellement loin qu'elles semblent fixes. Autrement dit, la Terre a beau se déplacer, c'est tellement peu en comparaison qu'elle semble toujours au centre de la route céleste. C'est donc grâce aux étoiles que l'on fait toutes les mesures.

Les étoiles se situant dans l'écliptique sont les étoiles du Zodiaque. Tout autour de la Terre, le Zodiaque forme un grand cercle. En relevant où se situe, par exemple Mars, dans le Zodiaque, on connaît sa position angulaire.



Dans cet exemple, depuis la Terre, on verra Mars apparaître dans la constellation des Gémeaux, ce qui nous donne un angle de 70° , soit presque alignée avec Aldébaran qui est à 69° . On ne sait pas exactement où est Mars, seulement qu'elle est dans cette direction.

Remarque : Ici Aldébaran apparaît dans le Gémeaux alors que c'est l'œil de la constellation du Taureau ! En vérité, c'est la référence 0° qui se décale car elle est liée à l'axe de rotation de la

Terre et est appelé « point vernal ». Pendant l'Antiquité, point Vernal et entrée dans le Bélier se correspondaient. Mais le point Vernal est aujourd'hui décalé de 24° de sorte que, en astronomie moderne, la zone $0^\circ - 30^\circ$ est nommée d'après le Bélier mais ne correspond plus tout à fait à la constellation du Bélier ! Ainsi, si quelqu'un naît le 22 mars, il est censé être Bélier, et pourtant à ce moment, le Soleil est dans la constellation du Poisson. De plus, les vraies constellations ne font pas toutes pile 30° . Par exemple, la Vierge est très étendue. C'est pourquoi le découpage des astronomes en zones égales n'est pas tout à fait raccord avec les constellations correspondantes.

II. Première observation : la période de révolution martienne

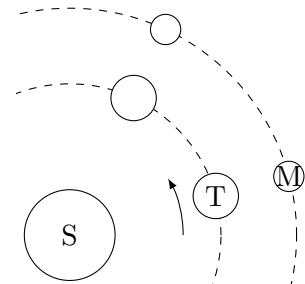
Au Moyen Age, on supposait que les planètes et le Soleil tournaient autour de la Terre. Comme cela ne correspondait pas aux observations, on a imaginé des systèmes plus compliqués comme celui de **Claude Ptolémée** qui a fait référence pendant des siècles. Ce modèle supposait que les astres suivaient des cercles sur des cercles (épicycles). Cela devenait compliqué.

À la Renaissance, on bascule peu à peu sur l'hypothèse de **Copernic** : les planètes tourneraient autour du Soleil. Cela donne des résultats corrects (selon les mesures de l'époque) et c'est plus simple (donc préférable d'un point de vue scientifique). On pense toujours alors que les astres suivent des cercles.

La **période de révolution** est le temps que met une planète à faire le tour du soleil.

Observations :

- i. Le Soleil parcourt tout le Zodiaque en 365,25 jours. C'est la période terrestre T .
- ii. Certains jours, Mars et le Soleil sont en opposition. C'est à dire que le Soleil se couche à l'ouest pile au moment où Mars se lève à l'est. Cela se produit quand les 3 astres (dont la Terre) sont alignés. Il se passe 780 jours entre deux oppositions.



Tout se passe comme si les planètes suivaient un circuit autour du Soleil et les oppositions se produisent au moment où elles sont au même endroit de leur circuit.

En supposant que la Terre fait un tour plus vite que Mars, on en déduit que lors de la première opposition, la Terre dépasse Mars, puis 780 jours plus tard, la Terre rattrape de nouveau Mars en ayant fait un tour de plus.

- a) On se donne une durée D en jours. Combien de tours effectue la Terre dans ce temps là ?
- b) Si T_M est la période martienne, même question.
- c) Quand $D = 780$ jours, le nombre de tours fait par la Terre est 1 de plus. Concluez quant à la valeur de T_M .

III. Deuxième observation : la vitesse variable de la Terre

Observation : Dans le ciel terrestre, le Soleil entre dans le Bélier le 20 mars ; dans le Cancer le 21 juin ; dans la Balance le 23 Septembre ; dans le Capricorne le 21 décembre.

- a) À quel déplacement angulaire correspond l'été ?
- b) Combien de jours dure-t-il ?
- c) Même questions pour l'hiver.
- d) Qu'en conclure ?

IV. Troisième observation : l'orbite de Mars

Dans la section précédente, nous avons vu que la Terre ne se déplace pas à vitesse constante autour du Soleil. Cette observation permettait déjà de deviner que la Terre ne suivait probablement pas non plus un cercle. Mais pour la suite on va faire comme si, cela simplifiera les calculs.

Par définition, la distance Terre – Soleil est de **1 Unité Astronomique** = 1 UA. Pour l'instant, on ne connaît pas la conversion de 1 UA en km.

On donne ci-dessous une série d'observations. Elles fonctionnent par paire : un premier jour, on mesure la position dans le ciel du Soleil et la position de Mars (Soleil, Mars 1). On attend une ou plusieurs périodes de 687 jours, et on mesure de nouveau la position du Soleil et de Mars (Soleil 2, Mars 2). Tous les angles sont en degrés.

	A	B	C	D	E
Soleil 1	-153	-150	1	146	165
Mars 1	-12	134	141	-159	-82
Soleil 2	165	-45	-43	104	123
Mars 2	58	60	-167	-168	-5

Vous aurez besoin d'un **rapporteur**. Ce serait bien aussi de prendre une feuille à carreaux, de la mettre au format paysage et de bien centrer le dessin.

- Pourquoi espacer les paires d'observations de 687 jours ?
- Tracer un cercle de 10 cm de diamètre. Le centre de ce cercle représente la trajectoire de la Terre et son centre est le Soleil.

Le rayon du Cercle est par définition de 1 UA. Le demi-axe horizontal vers la droite est le 0° de référence.

- Prenons la colonne A, correspondant à une première position de Mars. Soleil 1 : 65° . Si de la Terre on voit le Soleil à 65° , alors où est la Terre ? Placez-la.
- Maintenant que l'on sait où est la Terre et puisqu'à ce moment, Mars doit être vu selon l'angle 35° , alors tracez la ligne sur la quelle devrait se trouver Mars à ce moment.
- Recommencez pour Soleil 2, Mars 2.
- Concluez sur la position de Mars pour la colonne A.
- Recommencez avec les colonnes B à E.
- Que peut-on observer quant à la forme de l'orbite de Mars et sa position par rapport au Soleil ?

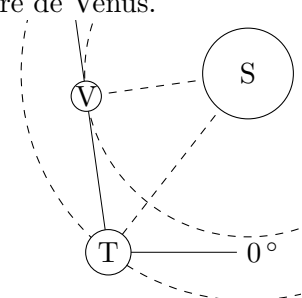
V. Quatrième observation : l'élongation de Vénus

Depuis la Terre, quand on observe Vénus, on peut constater que son mouvement semble atteindre un point maximum : L'angle entre le Soleil et Vénus, vu depuis la Terre, atteint un maximum puis diminue. On appelle cela l'élongation maximum.

Cela se produit quand l'axe Terre – Vénus est tangent à la trajectoire de Vénus.

Cela se produit quand le Soleil est à 52° dans le Zodiaque et Vénus à 98° .

- Quel est l'angle \widehat{TVS} ?
- Placez les angles sur la figure.
- Sachant que $TS = 1 \text{ UA}$, déduisez-en la mesure de VS en UA.



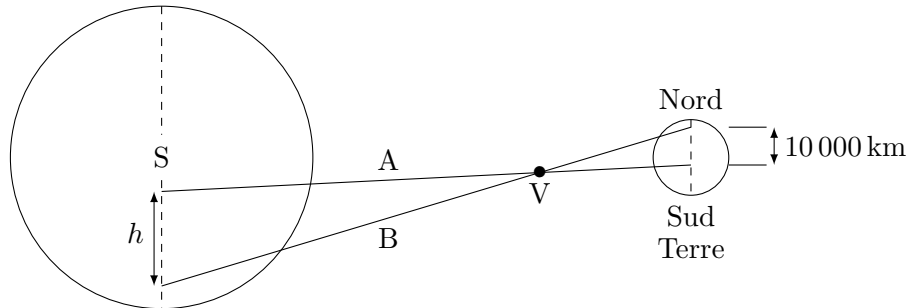
VI. Cinquième observation : le transit de Vénus

Lorsque Vénus passe entre le Soleil et la Terre, on peut voir Vénus former une tache sur le Soleil. Cette tache peut-être vue comme une ombre projetée sur le Soleil.

Pour des observateurs situés sur la Terre, il s'en suit un phénomène de parallaxe.

Ainsi, sur le graphique, vous voyez qu'un observateur situé au Nord de la Terre verra l'ombre de Vénus projeté plutôt vers le bas du Soleil et l'observateur situé vers l'équateur verra Vénus vers le milieu du Soleil.

Notez que Vénus est en fait décaler de 3 à 4 degrés ce qui est représenté très exagéra ici.



- a) Sachant que sur la Terre, les deux observateurs sont à 10 000 km l'un de l'autre, que les trois astres sont alignés et que $SV = 0,72 UA$, déduisez l'écart vertical h entre les deux projections sur le Soleil.

Il faut à présent mesurer des angles. Le problème est qu'ils sont minuscules car à l'échelle, le Soleil et surtout la Terre sont beaucoup plus petits. Au XVIIIe siècle, **Edmond Halley** trouve une idée (qui sera utilisée 20 ans après sa mort car les transits de Vénus ne sont pas si fréquents) : Il faut mesurer le temps que met la tache de Vénus sur le Soleil à le traverser.

Vous prendrez 4 à 5 chiffres significatifs pour tous les calculs.

- b) On sait que Vénus a un mouvement apparent de $\omega = 0,067^\circ/h$. L'observateur A constate que le transit dure 7 heures et 22 minutes.

Déduisez l'angle apparent du transit de Vénus.

- c) Comme l'angle est très petit, on peut considérer qu'il y a proportionnalité

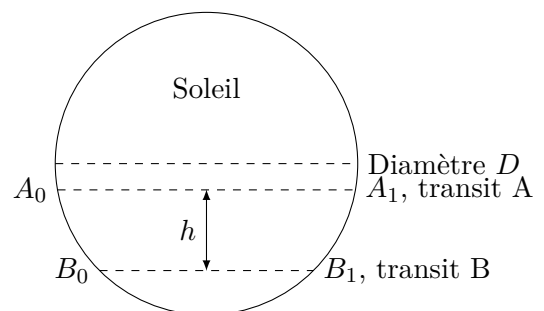
$$A_0A_1 = 1 UA \times \frac{\pi}{180^\circ} \times \text{angle.} \text{ Donnez cette mesure.}$$

- d) L'observateur B observe un transit de 7 heures et 19 minutes. Donnez B_0B_1 .

- e) Le diamètre apparent du soleil est de $0,5^\circ$. Déduisez D en UA.

- f) Déduisez-en une mesure de h en UA.

- g) Maintenant que nous avons h dans les deux unités, déduisez-en la valeur en km de 1 UA.



Remarque : La période de Vénus est de 224,7 jours. L'angle du mouvement de Vénus, vu du Soleil est donc de $360^\circ/224,7 \approx 1,602^\circ/j$ (à peu près constant. Pour la Terre, c'est 365,25 jours de qui donne un angle de $0,986^\circ/j$ (un peu moins constant). Vénus et la Terre vont dans le même sens mais Vénus plus vite, donc vu du Soleil, l'angle Terre-Vénus augmente de $1,602 - 0,986 = 0,616^\circ/j$. Vu de la Terre, c'est proportionnel à la distance (les angles étant petits) et donc c'est un angle de $0,616 \times 0,72/0,28 \approx 1,584^\circ/j$ soit $0,066^\circ/h$. On retrouve à peu près la valeur utilisée dans le calcul.