

# AVEC NOS ÉLÈVES

## Six idées d'activités autour du passage de Mercure

Pierre Causeret

Que faire pour préparer le passage de Mercure devant le Soleil du 9 mai ? Voici quelques idées d'activités de différents niveaux (de l'école primaire à la Terminale, voire plus) qui pourront aider à mieux comprendre le phénomène. Et il est toujours intéressant de profiter de l'actualité pour motiver nos élèves...

### 1. Faire une maquette du passage de Mercure à l'échelle

Prendre une même échelle pour distances et diamètres montre la difficulté d'observer le passage de Mercure à l'œil nu.

Données

Diamètre du Soleil : 1 400 000 km

Diamètre de la Terre : 12 700 km

Diamètre de Mercure : 4 900 km

Distance Terre Soleil : 151 000 000 km

Distance Terre Mercure : 83 000 000 km

Énoncé

Représenter les trois astres à l'échelle de 1 / 1 000 000 000 (ou 1 / 2 000 000 000).

Résultats

Il faudra réaliser un soleil de 1,4 m de diamètre (ou 70 cm) sur un grand carton par exemple, et le placer à 151 m (ou 75 m). Mercure sera une perle de 5 mm de diamètre (ou une épingle de 2,5 mm) placée à 83 m (ou 41,5 m) et la Terre une bille de 13 mm (ou 6 mm). On s'aperçoit alors que Mercure n'est pas visible à l'œil nu, il faut des jumelles !

Si vous faites cette maquette en extérieur, attention à ce que personne ne dirige les jumelles vers le vrai Soleil...

### 2. Comparer Mercure et le Soleil

De quelle taille doit apparaître Mercure sur le disque du Soleil ? On peut comparer les diamètres apparents sans les calculer.

Énoncé

On veut calculer combien de fois Mercure apparaîtra plus petite que le Soleil.

On pourra aussi chercher le diamètre de Mercure quand on projette le Soleil sous la forme d'un disque de 9 cm de diamètre, comme dans un Solarscope.

Données

Diamètre du Soleil : 1 400 000 km

Diamètre de Mercure : 4 900 km

Distance Terre Soleil : 151 000 000 km

Distance Terre Mercure : 83 000 000 km

Résultats

$1\,400\,000 / 4\,900 \approx 286$ .

Le Soleil est 286 fois plus gros que Mercure.

$151/83 \approx 1,82$ .

Mercure est 1,86 fois plus proche que le Soleil.

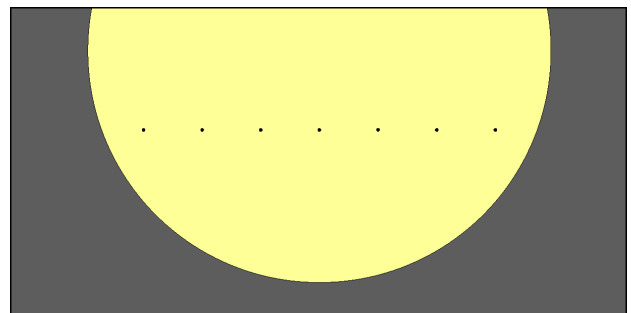
$286/1,82 \approx 157$

Mercure apparaîtra 157 fois plus petite que le Soleil. Si l'image du Soleil a un diamètre de 9 cm, celle de Mercure sera une minuscule tache de 0,6 mm de diamètre.

### 3. Dessiner le passage de Mercure

Énoncé

En prenant 1 cm pour 2', dessiner le passage de Mercure devant le Soleil.



Données

Diamètre apparent de Mercure : 0,2'

Diamètre apparent du Soleil : 31,7'

Distance apparente entre le centre du Soleil et Mercure au milieu du passage : 5,3'

Vitesse apparente de Mercure sur le disque du Soleil : 4' par heure

Résultats

Le Soleil devra mesurer 15,9 cm de diamètre, Mercure 1 mm et passer à 27 mm du centre du Soleil à la vitesse de 2 cm par heure.

## 4. Calculer la baisse de luminosité du Soleil

La majorité des exoplanètes ont été détectées par une baisse de luminosité de leur étoile pendant un transit. Des extraterrestres pourraient-ils détecter le passage de Mercure ?

*Énoncé*

Calculer la baisse de luminosité du Soleil au moment du passage, en %. On supposera le disque solaire uniformément brillant.

On pourra chercher aussi sa variation de magnitude (on rappelle que la formule de la magnitude est de la forme  $-2,5 \log E + C$  ou  $E$  est l'éclat de l'astre et  $C$  une constante).

*Données*

Diamètre apparent de Mercure : 0,2'

Diamètre apparent du Soleil : 31,7'

*Résultats*

L'aire est proportionnelle au carré du rayon, la baisse de luminosité, en %, sera donnée par le rapport des carrés des rayons :

$0,2^2/31,7^2 = 0,000\ 04$  soit 0,004 % ou 40 parties par million. C'est vraiment très peu...

En magnitude : on appelle  $E_0$  et  $m_0$  l'éclat et la magnitude du Soleil avant le passage,  $E$  et  $m$  leurs valeurs pendant le passage.

$m - m_0 = -2,5 \log E + 2,5 \log E_0 = -2,5 \log(E/E_0)$   
 $= -2,5 \log [(31,7^2 - 0,2^2)/31,7^2] = 0,000\ 1.$

Une baisse de luminosité qui correspond à une augmentation de magnitude infime et qui devrait pourtant être détectable par le satellite Kepler pour une étoile de magnitude 12.

## 5. Calculer la durée d'un transit

On ne cherche ici qu'un ordre de grandeur en simplifiant énormément les données.

*Énoncé*

Calculer la durée maximale d'un passage de Mercure devant le Soleil en supposant qu'elle et la Terre parcourent des orbites circulaires à vitesse constante.

*Données*

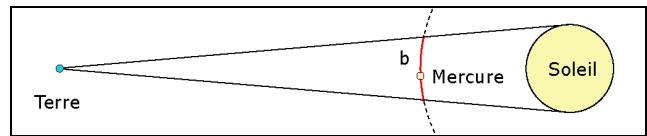
Période synodique de Mercure : 116 jours

Distance moyenne Soleil Mercure : 58 000 000 km

Distance Soleil Terre : 150 000 000 km

*Résultats*

On se place dans un repère où la Terre et le Soleil sont fixes, la droite Soleil Terre servant d'axe. C'est pour cette raison que l'on utilise la période synodique de Mercure de 116 jours : Mercure repasse en conjonction inférieure (entre le Soleil et la Terre) tous les 116 jours. C'est une notion un peu délicate à faire comprendre à des élèves.



Vitesse de Mercure dans ce repère :

$58\ 000\ 000\ \text{km} \times 2\pi / (116 \times 24\ \text{h}) = 130\ 000\ \text{km/h}$

Distance  $b$  à parcourir par Mercure (pour simplifier, on assimile l'arc d'ellipse à un segment), avec le théorème de Thalès (unité, le million de km) :

$1,4/b = 150/(150 - 58),$

d'où  $b = 0,86$  millions de km ou 860 000 km.

Temps de parcours =  $860\ 000 / 130\ 000 \approx 6,6$  h soit environ 6 h 40 min.

Le passage du 9 mai va durer 50 min de plus, 7 h 30. Mais Mercure se déplace sur une orbite très excentrique et à vitesse variable. Le 9 mai, elle sera plus éloignée du Soleil (68 millions de km) et se déplacera donc plus lentement que d'habitude.

Le même calcul pour Vénus donne 8 heures.

## 6. Calculer la date d'un prochain passage

Nous chercherons les différentes périodicités possibles de ces transits, sans entrer dans le détail des calculs.

*Énoncé*

Mercure passe devant le Soleil le 9 mai 2016. Dans combien de temps un tel passage peut-il se reproduire ?

*Données*

Période synodique de Mercure :  $S = 115,877$  jours

Période draconitique de Mercure :  $D = 87,969$  jours

*Résultats*

Pour apercevoir Mercure devant le Soleil, il faut d'une part que la planète se trouve en conjonction inférieure, ce qui se reproduit tous les 116 jours, et d'autre part qu'elle soit dans le plan de l'écliptique pour qu'elle ne passe ni au nord ni au sud du Soleil mais devant. L'orbite de Mercure est inclinée de  $7^\circ$  sur le plan de l'écliptique et elle le traverse en deux points appelés les nœuds (un nœud ascendant et un nœud descendant). Le 9 mai, Mercure passe au nœud descendant. La période draconitique est l'intervalle de temps entre deux passages de Mercure au même nœud.

Nous cherchons quand peut se produire le prochain passage au nœud descendant. Depuis le 9 mai, il se sera écoulé un certain nombre  $a$  (entier) de périodes synodiques et un certain nombre  $b$  (entier) de périodes draconitiques. On doit donc avoir  $a \times 115,877 = b \times 87,969$  ou  $115,877/87,969 = b/a$  avec  $a$  et  $b$  entier. Il existe une technique pour trouver des fractions aussi proches que l'on veut

d'un décimal donné. C'est ce qu'on appelle les fractions continues (\*). On obtient la suite 4/3, 25/19, 29/22, 54/41, 137/104, 191/145... Une des premières bonnes approximations est 54/41 :

$$115,877/87,969 \approx 54/41$$

donc  $41 \times 115,877 \text{ j} \approx 54 \times 87,969 \text{ j} \approx 13 \text{ ans}$ .

Il n'y aura pourtant pas de passage de Mercure dans 13 ans mais il y en a eu un il y a 13 ans, le 7 mai 2003.

L'approximation suivante, plus précise, est 137/104, ce qui correspond à 33 ans. Il y aura bien un passage de Mercure dans 33 ans, le 7 mai 2049.

Une approximation encore meilleure est 191/145 (46 ans) et il y aura un passage le 10 mai 2062.

Cette méthode donne des dates possibles de passage mais ensuite, il faut des calculs plus complexes pour savoir si le passage aura vraiment lieu.

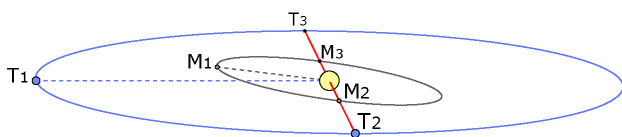
La même chose peut être faite avec le passage de Mercure au nœud ascendant, ce qui donne des transits ayant lieu en novembre.

(\*) Vous trouverez le détail des calculs réalisés par Philippe Merlin, de l'observatoire de Lyon, à l'adresse : [http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/ateliers\\_2015-16/PassageMercure/Documents/fract\\_cont\\_Mercure-Terre.pdf](http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/ateliers_2015-16/PassageMercure/Documents/fract_cont_Mercure-Terre.pdf)

## Six questions sur le passage de Mercure

### Pourquoi les passages de Mercure sont-ils rares ?

Parce que l'orbite de Mercure est inclinée (de 7°) par rapport à l'orbite de la Terre.



**Fig.1.** Orbites de Mercure (en gris) et de la Terre (en bleu). La ligne rouge est la ligne des nœuds, intersection de l'orbite de Mercure avec le plan de l'orbite terrestre.

Sur la figure ci-dessus, quand la Terre est en T<sub>1</sub> et Mercure en M<sub>1</sub>, un observateur terrestre verra Mercure passer au nord du Soleil. Par contre, si la Terre est en T<sub>2</sub> et Mercure en M<sub>2</sub>, on observera bien un passage de Mercure devant le Soleil, de même que pour les positions M<sub>3</sub> et T<sub>3</sub>.

### Pourquoi ces passages ont-ils toujours lieu en mai ou en novembre ?

La ligne des nœuds est quasiment fixe dans l'espace (le décalage est de l'ordre de 1° par siècle). Quand il y a un passage de Mercure, la Terre est en T<sub>2</sub> ou en T<sub>3</sub>. Elle passe en T<sub>2</sub> en mai et en T<sub>3</sub> en novembre.

### Quand auront lieu les prochains passages ?

Voici les dates calculées par l'IMCCE

Date	Heure maximum	Durée
09/05/2016	14 h 57	07 h 33
11/11/2019	15 h 19	05 h 30
13/11/2032	08 h 54	04 h 28
07/11/2039	08 h 46	03 h 00
07/05/2049	14 h 24	06 h 45
09/11/2052	02 h 29	05 h 14
10/05/2062	21 h 37	06 h 45
11/11/2065	20 h 06	05 h 25
14/11/2078	13 h 41	03 h 59
07/11/2085	13 h 34	03 h 46
08/05/2095	21 h 06	07 h 33
10/11/2098	07 h 17	05 h 24

On peut savoir en fonction de l'heure du maximum si le passage sera visible ou non en France. Celui du

11/11/2019 le sera (maximum à 15 h 19). Pour le suivant (maximum à 8 h 54 en novembre), on ne verra pas le début mais la fin sera observable. Celui du 9/11/2052 sera invisible, il aura lieu en pleine nuit pour nous.

### Comment observer ce passage de Mercure ?

Deux conditions pour le voir :

1. Filtrer la lumière du Soleil pour ne pas devenir aveugle. Il faut pour cela utiliser des filtres certifiés.

2. Grossir suffisamment pour que le minuscule disque de Mercure soit visible. Inutile d'essayer de l'observer avec un viséclipse. L'œil humain est capable de détecter des détails de l'ordre de 1' et Mercure ne mesurera que 0,2'.

Un télescope avec un filtre solaire pleine ouverture (à l'entrée du télescope) est le mieux. Il ne faut pas utiliser les filtres "sun" à visser sur l'oculaire que l'on trouve avec certaines lunettes : comme toute la lumière du Soleil rentre dans l'instrument et se concentre sur l'oculaire, le filtre s'échauffe et peut se fendre.

Pour observer ce passage, vous trouverez plus de précision page 16.

### Que verra-t-on ?

Un petit point noir qui traversera le disque solaire entre 13 h 12 et 20 h 41 (heures légales). Les horaires ne diffèrent que de quelques secondes d'un bout à l'autre de la France.

### Pourra-t-on calculer la distance du Soleil ?

Le 8 juin 2004, nous avons photographié Vénus devant le Soleil exactement à la même heure depuis deux lieux éloignés (France métropolitaine et île de La Réunion). Les deux images montraient un léger décalage de Vénus sur fond de Soleil. La mesure de ce décalage nous avait permis de calculer la distance du Soleil.

Avec Mercure, le décalage est 3 fois plus faible. Le CLEA propose un protocole de prise de vue pour tenter ce calcul mais nous ne sommes pas du tout certains d'arriver à un résultat. Les personnes intéressées pour participer à l'opération peuvent s'inscrire à la liste des observateurs sur le site du CLEA (avec nos élèves / observations / page publique)