Familles rurales
Vivre mieux !

ASSOCIATION DE MAILLET

Club d'astronomie
Caroline H

La planète MERCURE

JP. Maratrey - Janvier 2008 – MàJ mai 2021

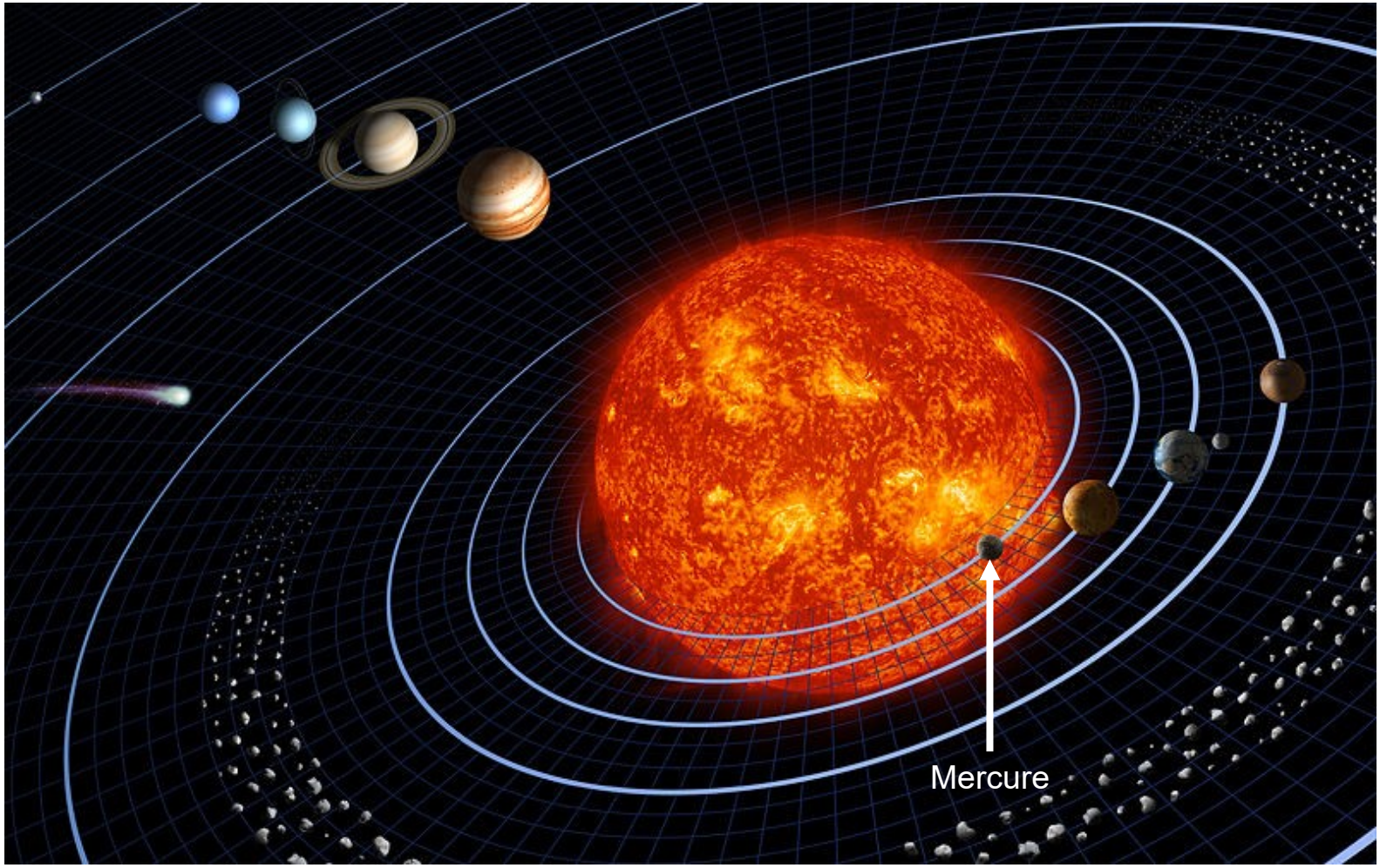
Situation générale

Au programme :

Situation générale
Histoire (passée, présente et future)
Caractéristiques physiques
Jour et année
Précession du périhélie
Atmosphère
Température
Surface
Composition interne
Noyau
Champ magnétique
Histoire géologique
Mercure et le chaos

Situation générale

Mercure est la première planète du système solaire, la plus proche du Soleil, mais aussi la plus petite.



Histoire

Le découvreur de la planète Mercure est… inconnu.

Les hommes préhistoriques ont dû la voir, tout comme ils ont dû voir les étoiles et les planètes visibles à l'œil nu.

Les traces écrites les plus anciennes qui nous soient parvenues viennent des sumériens (inventeurs de l'écriture), il y a plus de 5 000 ans.
Ils avaient remarqué un point lumineux dans le ciel, observable au lever et au coucher du Soleil.
Ils la nommèrent « Ubu-idim-gud-ud »

Inscription pré-cunéiforme – Musée du Louvre

Histoire

Les babyloniens qui leur ont succédé entre le Tigre et l'Euphrate ont étudiés son mouvement apparent, assez différent de celui des autres planètes.
En ces temps reculés, les babyloniens appelaient cette planète « Gu-ad » ou « Gu-utu »

Les chinois l'appelaient « Shui-xing ».

Enfin, les égyptiens en firent mention sous le nom de « Sabkou », associé au dieu de la sagesse « Djéouty »

Histoire

Les grecs l'appelèrent « Hermès » (ils en ont fait le dieu du commerce, des voyageurs, des voleurs, des médecins et messager des dieux) lorsqu'elle était visible le soir,

et « Apollon » (dieu de la clarté solaire, de la raison et des arts) lorsqu'elle était visible le matin.

Apollon

Hermès

Le nom de « Mercure » vient des romains, dieu équivalent à Hermès, messager des dieux.
L'association de la planète avec le dieu Mercure semble venir du fait que la planète se déplace rapidement dans le ciel, rappelant la célérité du dieu.

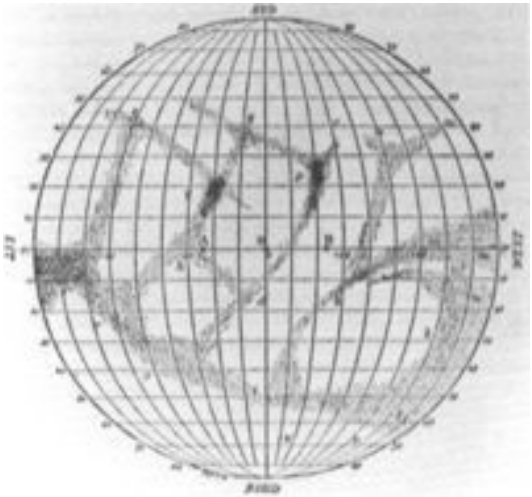
Mercure

Histoire

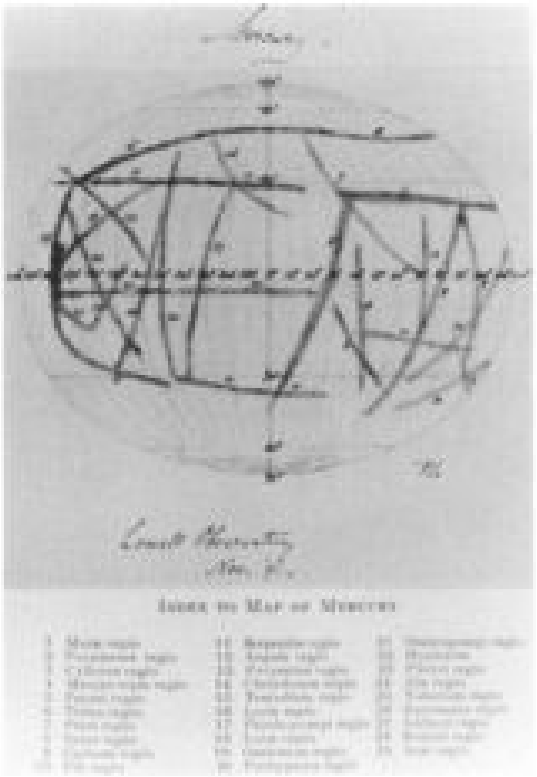
Les premières observations instrumentales des caractéristiques géologiques de la surface de Mercure datent de la fin du XVIIIème siècle.

Johann Hieronymous Schröter dessina ce qu'il observait et décrit des montagnes de 19 km de haut !!! C'est encore William Herschel qui infirma ces allégations, affirmant ne rien avoir vu de tel.

Ce fut le tour de Giovanni Schiaparelli et Percival Lowel de dessiner la surface de Mercure en 1896. Ils voyaient des zones sombres en forme de lignes, comme sur Mars…



Mercure vu par Schiaparelli



Mercure vu par Lowell

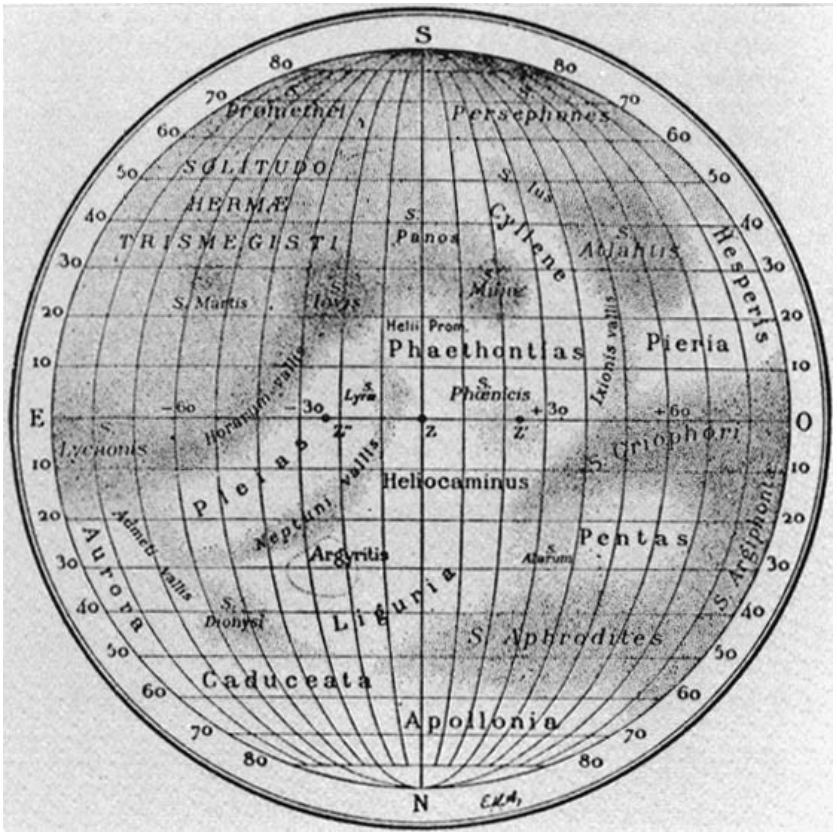
Histoire

Avant l'exploration par des sondes, la meilleure carte de Mercure est l'œuvre de Eugène Antoniadi en 1934.

Antoniadi montra que les « canaux » n'étaient qu'une illusion d'optique.

Il admit que la réalisation d'une carte plus précise était impossible à partir d'observations effectuées à l'aube ou au crépuscule, du fait des turbulences atmosphériques.

Il prit le risque de faire ses observations de jour (Soleil proche). Il y gagna en netteté, mais perdit en contraste.



Carte d'Antoniadi

Histoire

Il fallut attendre 1974-1975 pour voir les premières images prises de près à l'aide de la sonde américaine **Mariner 10**.
Le programme Mariner se proposait d'étudier pour la première fois en s'y approchant, les planètes proches de la Terre : Vénus et Mars.

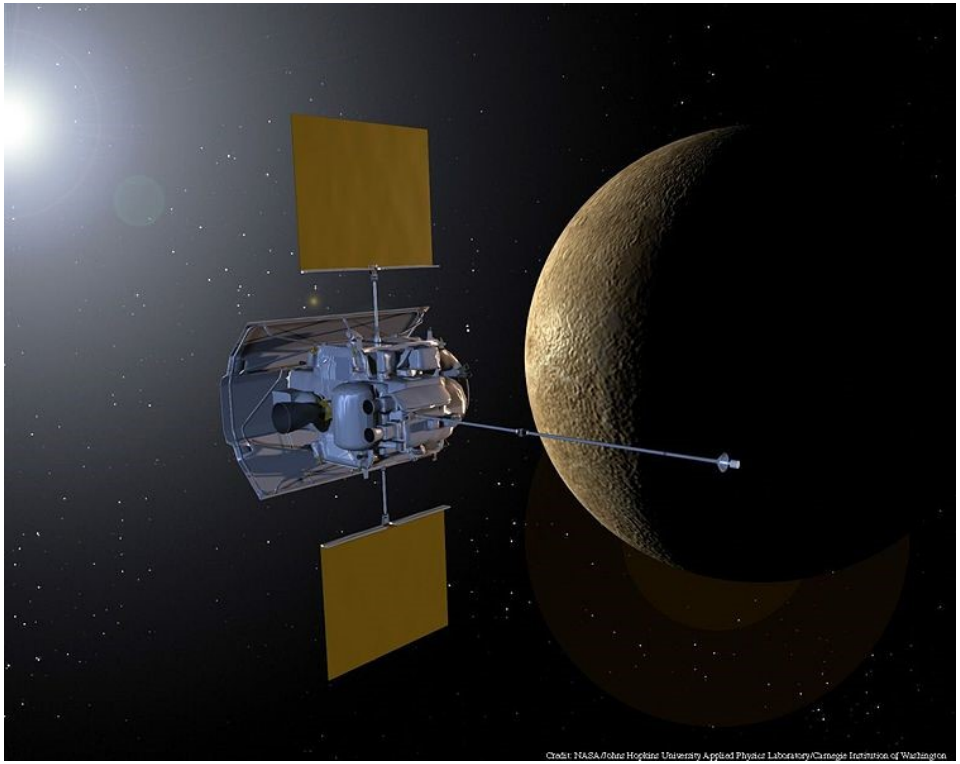
Prévue à l'origine pour survoler Vénus, Mariner 10 vit sa mission modifiée pour aller voir jusqu'à Mercure en s'aidant de l'effet de fronde de Vénus (une première !)

Mariner 10 découvrit le champ magnétique de Mercure, détecta son atmosphère très légère, et pris 3 500 photos d'une excellente qualité, et qui permirent l'étude géologique de 45% de la surface de la planète.

Mariner 10

Histoire présente et future

Une sonde américaine, **Messenger**, lancée en 2004 a effectué deux autres survols en octobre 2008 et septembre 2009 avant d'être satellisée en mars 2011. Elle fit une étude détaillée de la planète entre 2011 et 2015.



Son programme :

- Cartographier l'ensemble de la planète (45% étaient connus précédemment).
- Etudier l'atmosphère et la magnétosphère.
- Etudier sa composition chimique de surface.
- Etudier la structure interne de la planète.

Histoire présente et future

L'Europe n'est pas en reste et a envoyé le 19 octobre 2018, en collaboration avec le Japon, une mission baptisée **Bepi-Colombo**. Elle se compose de deux orbiteurs, l'un spécialisé dans la cartographie et l'étude de l'intérieur de la planète, l'autre dans l'étude de la magnétosphère.

Le lancement initialement prévu en 2012, a été plusieurs fois repoussé du fait des problèmes techniques important dans une région aussi proche du Soleil.

La durée du voyage est de 7 ans, avec plusieurs assistances gravitationnelles de la Terre et de Vénus.
Après plusieurs survols de Mercure en 2024, Bepi-Colombo sera mis en orbite autour d'elle en décembre 2025.

Histoire présente et future

Son programme :

- Cartographie et étude des formations géologiques.
- Origine et évolution de la planète.
- Etude de l’atmosphère et de la magnétosphère.
- Etude de la taille et de la nature du noyau.
- Etude de la présence d’eau dans le fond des cratères polaires.
- Test de la relativité générale.

Mise en orbite

Mettre une sonde en orbite autour de Mercure engendre plusieurs difficultés :

- Sur une trajectoire directe : l'attraction du Soleil implique un très fort ralentissement, donc beaucoup de carburant, sans compter le rattrapage de l'inclinaison de l'orbite de Mercure (7°). D'où l'usage de l'assistance gravitationnelle.

- Proximité du Soleil : la sonde reçoit 11 fois plus d'énergie que si elle orbitait autour de la Terre. D'où des contraintes thermiques importantes, par exemple en passant du jour à la nuit de Mercure.

- Toutes les manœuvres doivent se faire en automatique : le Soleil perturbe les communications, Mercure est plus éloignée que Mars…

Caractéristiques physiques

Rayon	2 440 km*	0,384 Terre
Masse	$3{,}302.10^{23}$ kg	0,055 Terre
densité	5,4	Terre : 5,5
Gravité de surface	3,7 m/s²	= celle de Mars
Rotation sidérale	58,6462 jours terrestres	Terre : 23h 56mn
Température de surface	Moyenne : 179°C (-183 à +427°C)	Terre : 14°C
Atmosphère	2.10^{-7} Pa	Terre : 101 300 Pa
Inclinaison de l'axe de rotation	0,01°	Terre : 23,45°
Orbite : Demi grand axe	57,91 millions km	0,384 ua
Aphélie	69,82 millions km	0,467 ua
Périhélie	46,00 millions km	0,307 ua
Excentricité	0,206	Terre : 0,017
Révolution	87,96934 jours (1,5 x rotation)	Terre : 365,25 jours
Inclinaison sur l'écliptique	7°	

Lune : 1 740 km
Calisto : 2 410 km
Ganymède : 2 630 km
Mars : 3 390 km

Jour et année

Définitions :

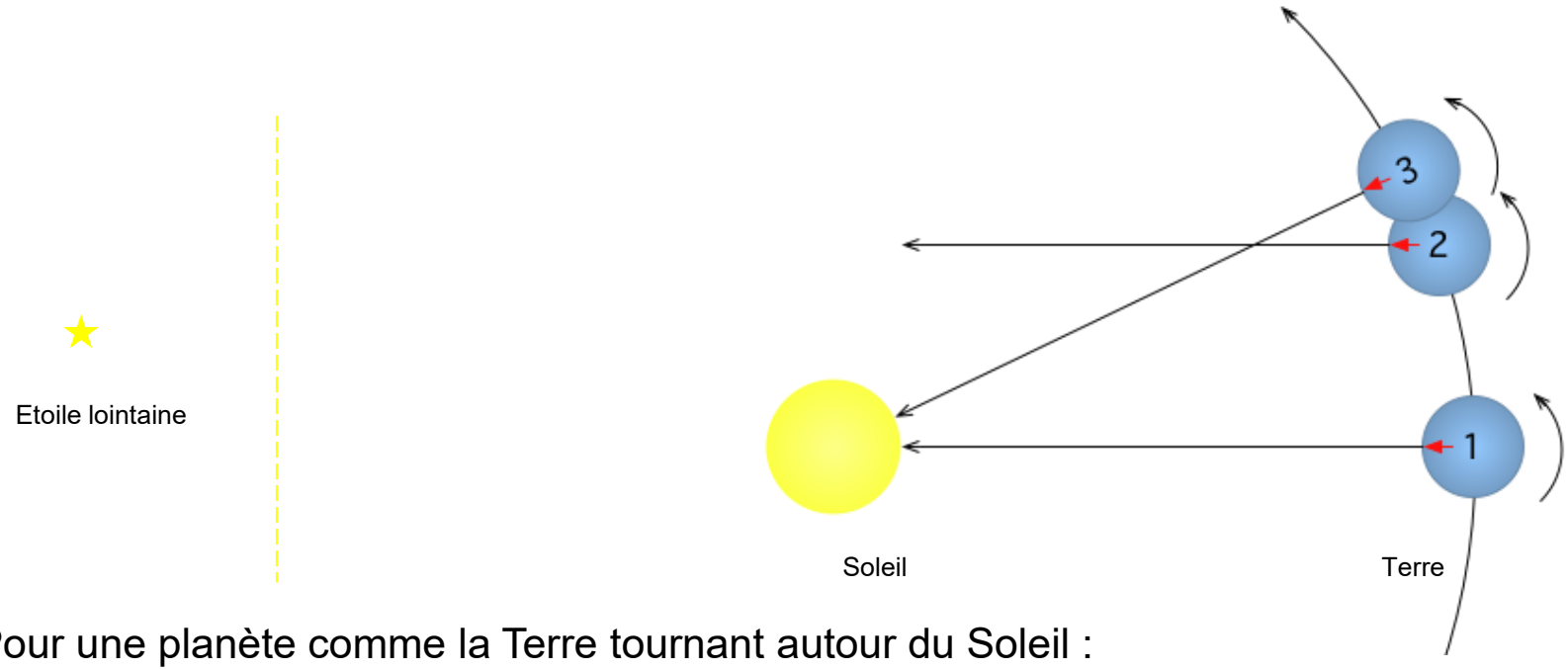
Jour solaire : Temps séparant deux passages successifs du Soleil au méridien.

Temps mis par la Terre pour faire un tour par rapport au Soleil.

Jour sidéral : Temps séparant deux passages d'une étoile lointaine au méridien.

Temps mis par la Terre pour faire un tour par rapport au étoiles lointaines.

Jour et année



Pour une planète comme la Terre tournant autour du Soleil :

1. L'observateur terrestre se trouve au bout de la flèche rouge (il est midi).
2. Lorsque la Terre fait un tour sur elle-même (jour sidéral), elle passe de la position 1 à la position 2 (il n'est pas encore midi). Dans le même temps, elle avance sur son orbite autour du Soleil.
3. Pour retrouver le Soleil dans la même position que la veille à midi, il faut attendre encore un peu (position 3).

Jour sidéral terrestre : 23h 56mn 04s

Jour solaire terrestre : 24h 00mn 00s

Jour et année

Comme on peut le voir, la révolution sidérale est proche de la révolution solaire.

La période de rotation propre de la Terre (t) est environ 365 fois plus faible que sa révolution sidérale (T) autour du Soleil :

Rotation t :	23h 56mn
Révolution T :	365,25 jours

Que se passe-t-il si la rotation d'une planète se rapproche de sa révolution ?

C'est le cas de la planète Mercure :

Rotation t :	58,6462 jours solaires moyens terrestres
Révolution T :	87,969 jours solaires moyens terrestres

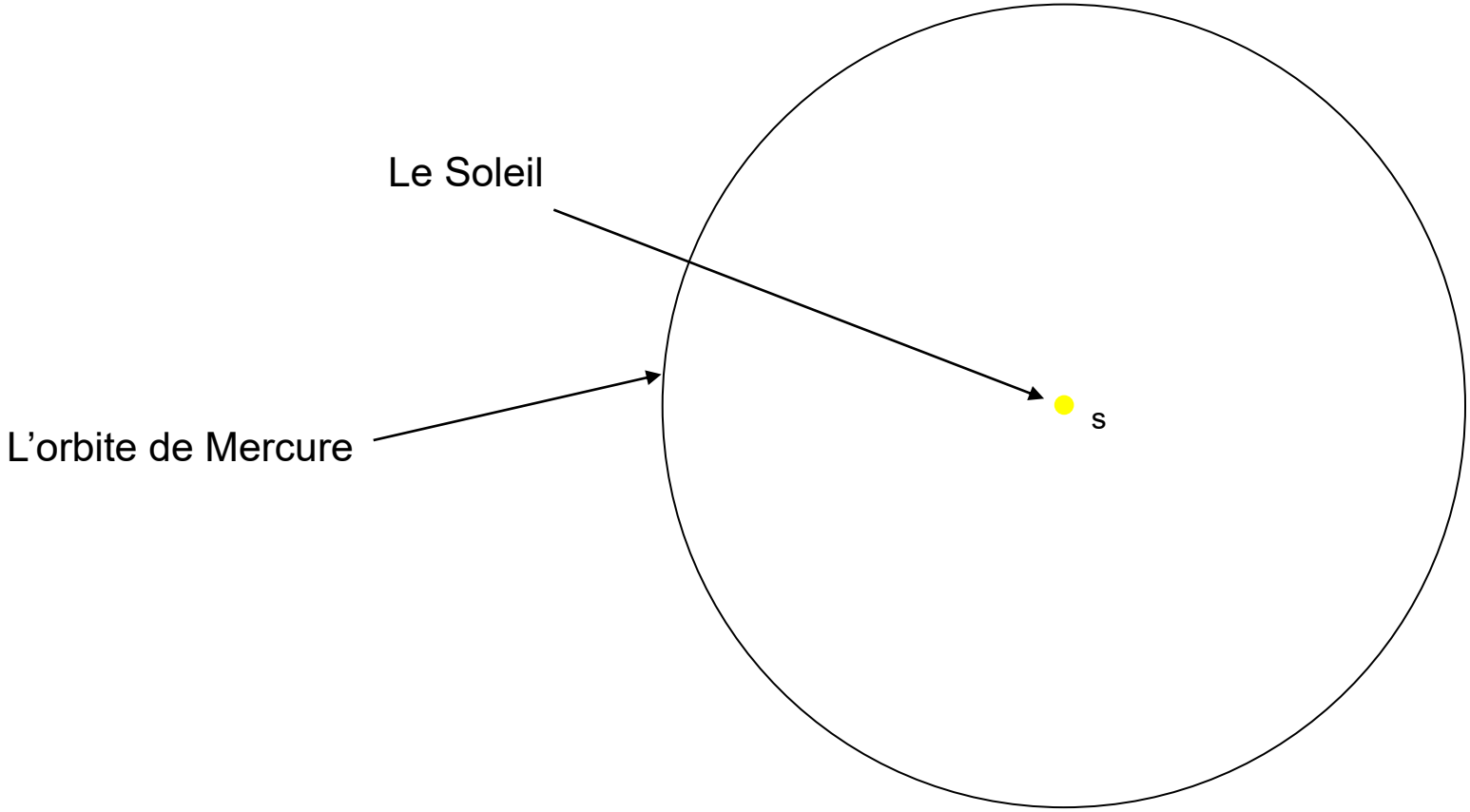
Pour simplifier, on utilisera les données arrondies suivantes :

t = 59 jours T = 88 jours

A noter que, comme dans le cas de la Terre, le sens de rotation est le même que le sens de révolution.

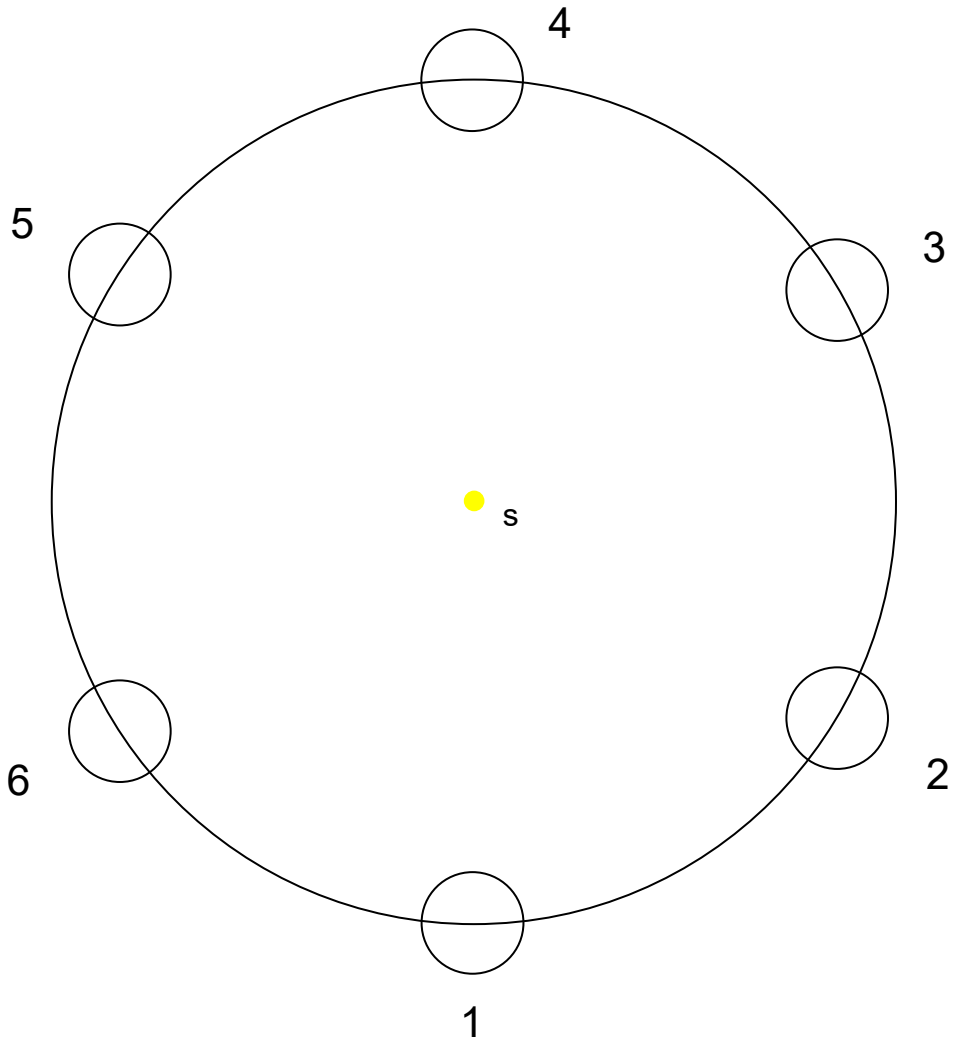
Jour et année

Nous allons déterminer la durée du jour solaire de Mercure, noté J, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui sépare deux midis successifs.



Jour et année

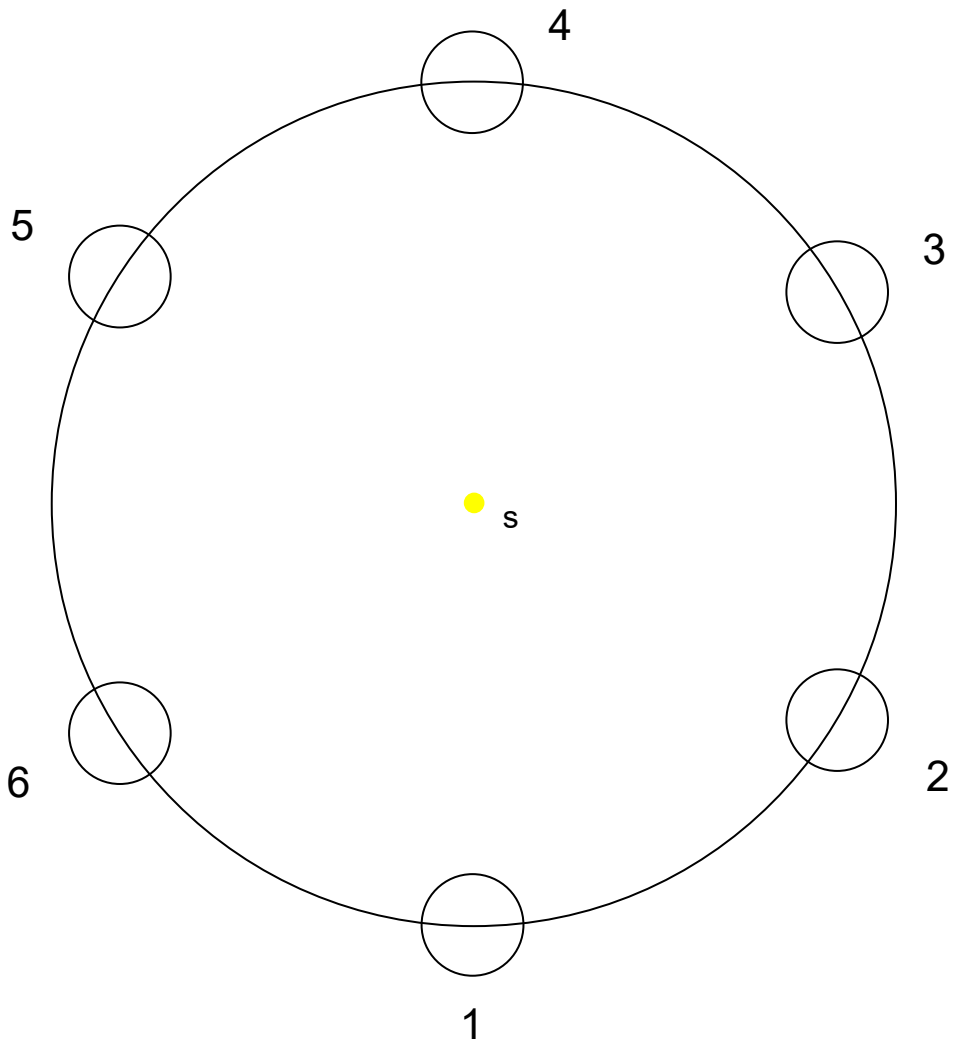
Plaçons la planète Mercure à 6 positions particulières, espacées de 60°, à des temps séparés de T/6 et numérotons ces positions.



Jour et année

Quel est l'angle séparant les différentes positions de Mercure du Soleil (1s2, 2s3, 3s4…) ?

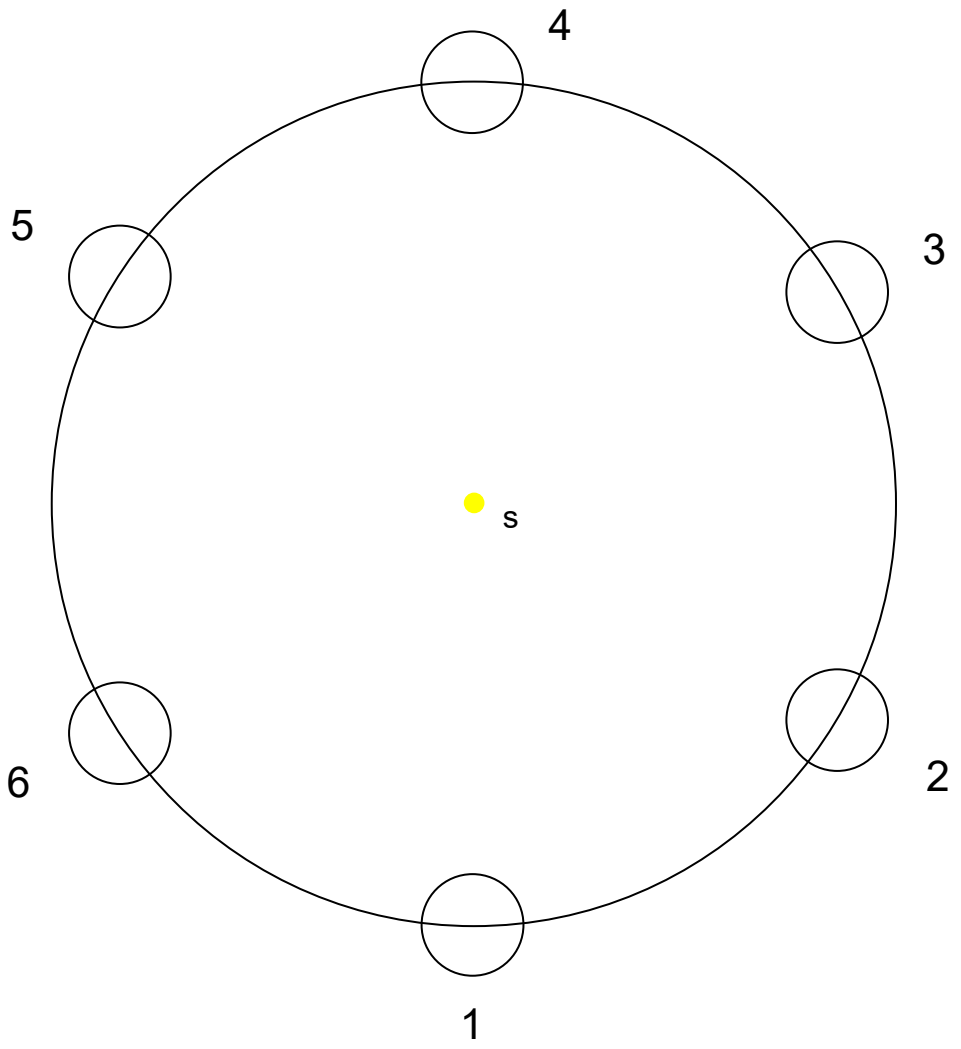
Evidemment : 360°/6 = 60°



Jour et année

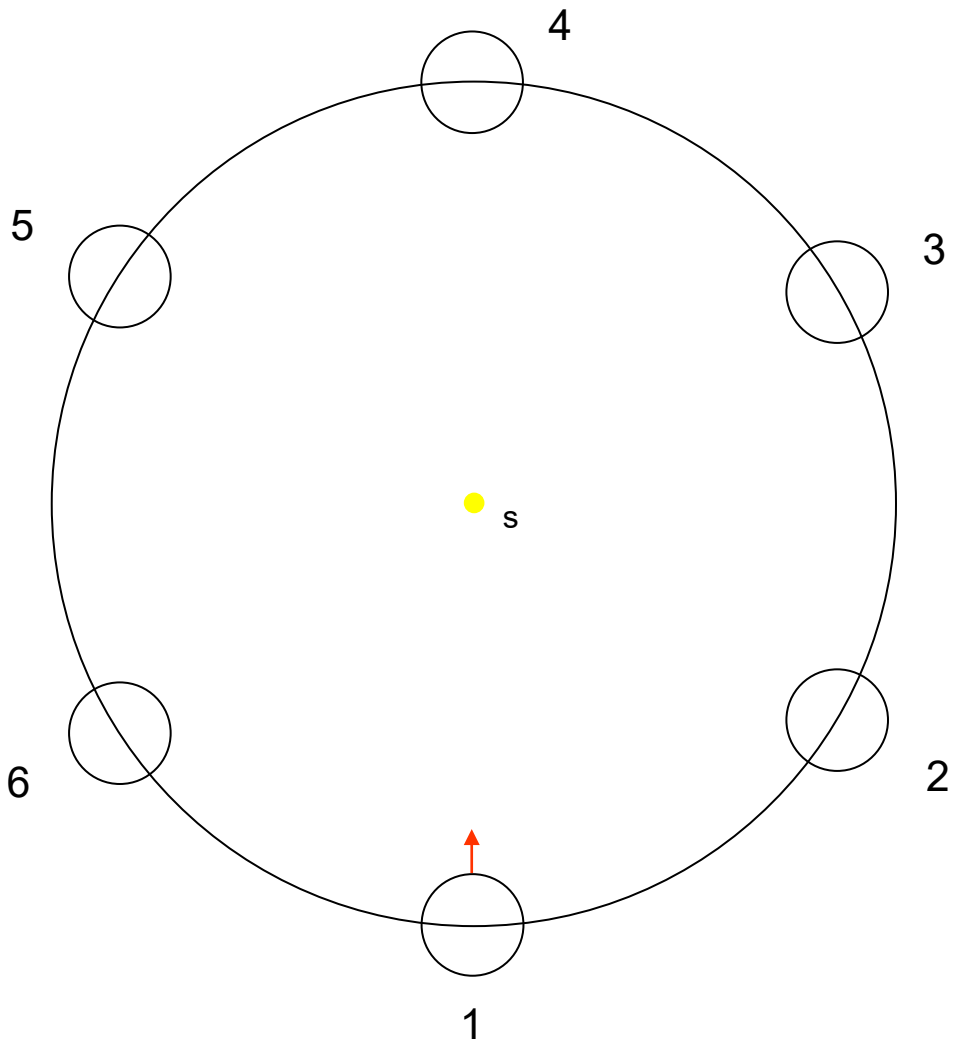
Quel est la durée séparant les différentes positions de Mercure du Soleil ?

C’est T/6, soit 87,969/6 = 14,66 jours



Jour et année

Plaçons un observateur virtuel en 1 (flèche rouge). Il regarde le Soleil. Il est midi pour lui.



Jour et année

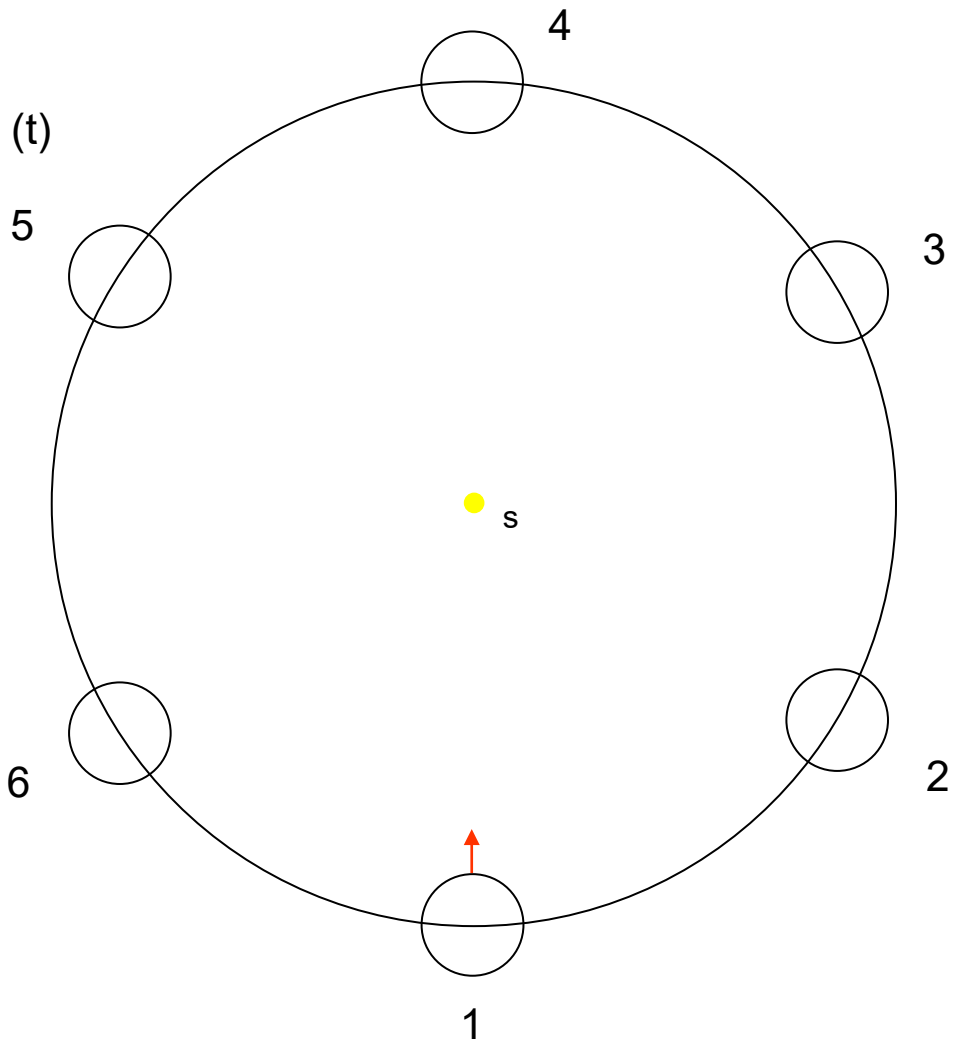
Plus difficile, que vaut l'angle dont a tourné Mercure sur lui-même (avec l'observateur) en passant d'une position à la suivante ?

Simple règle de trois :
Mercure tourne de 360° en 58,65 jours (t)

En 14,66 jours, il tourne de :
360 x 14,66 / 58,65

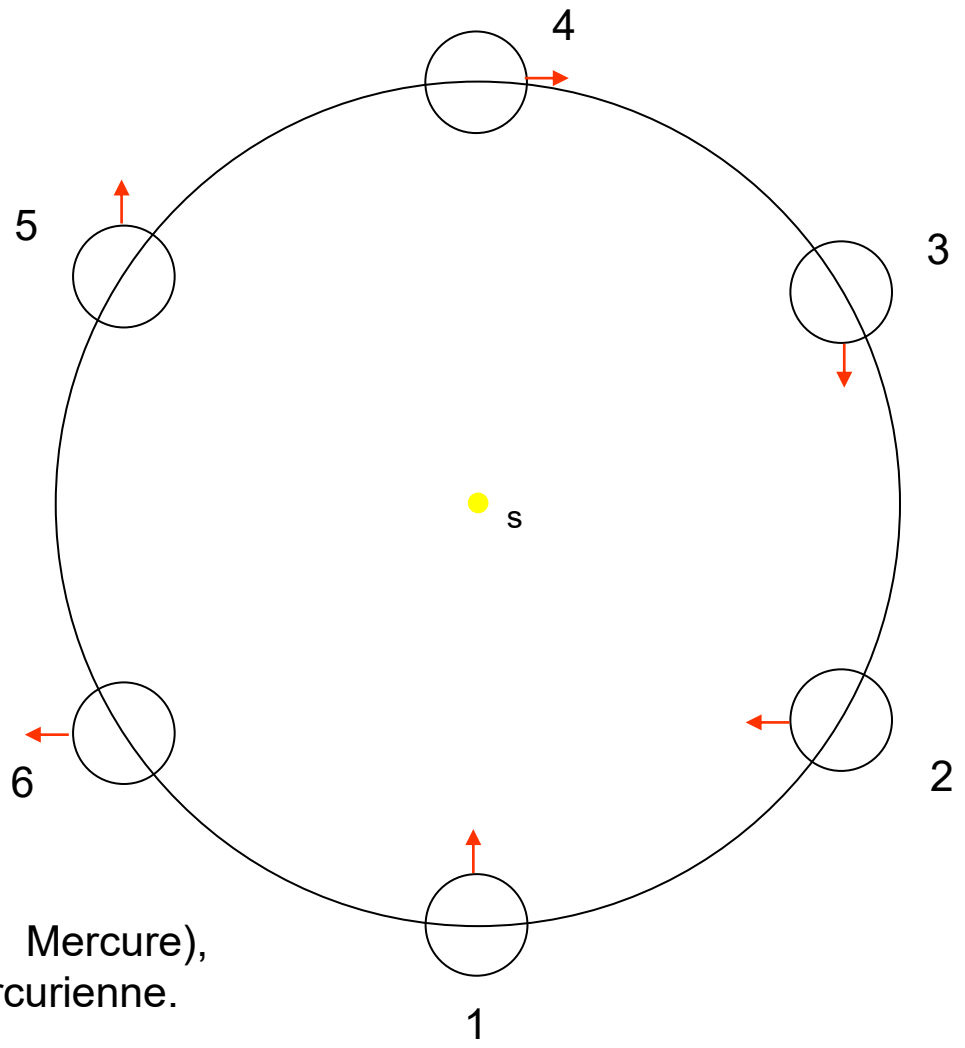
Le calcul donne 89,98°.

On arrondira à 90°



Jour et année

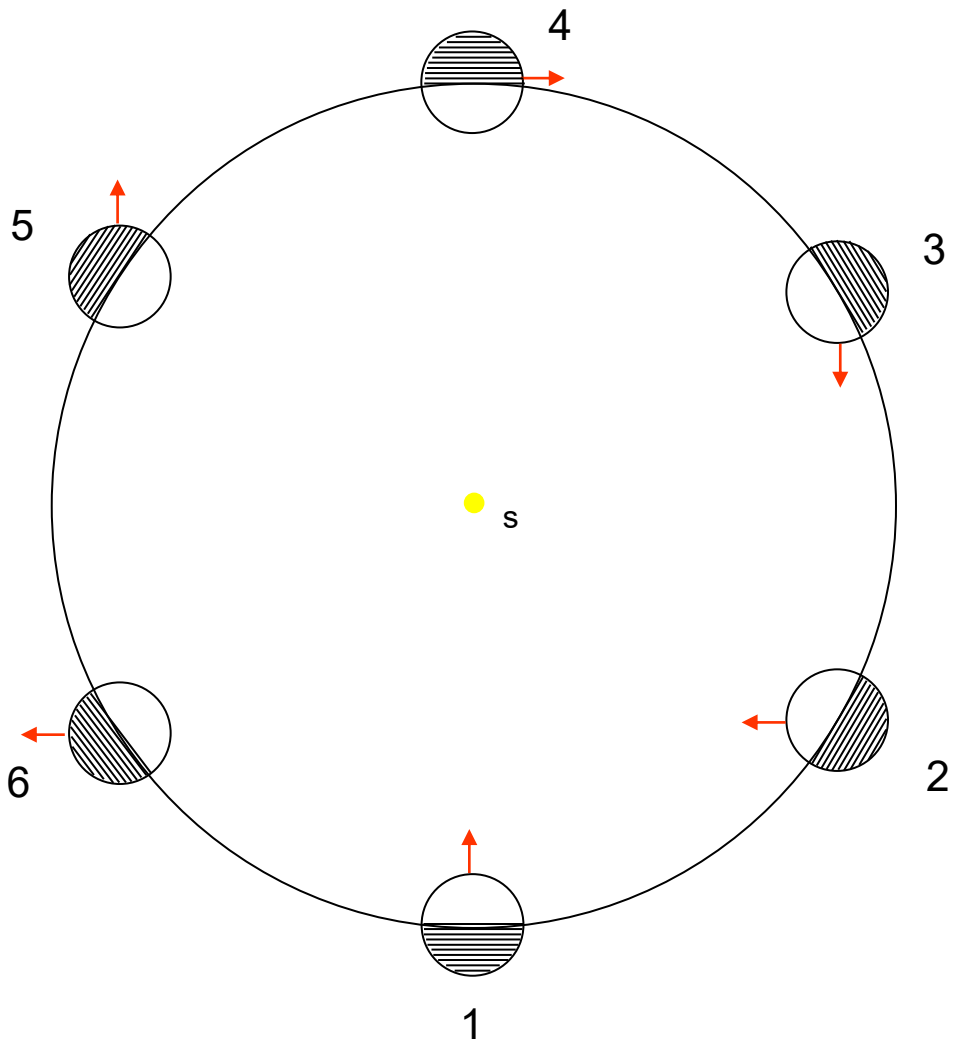
Nous allons maintenant placer l'orientation de l'observateur à chacune des positions, sachant que de l'une à l'autre, il a tourné de 90°.



De retour en position 1 (1 an pour Mercure), l'observateur voit minuit à sa montre mercurienne.

Jour et année

Obscurcissons les régoins non éclairées par le Soleil.



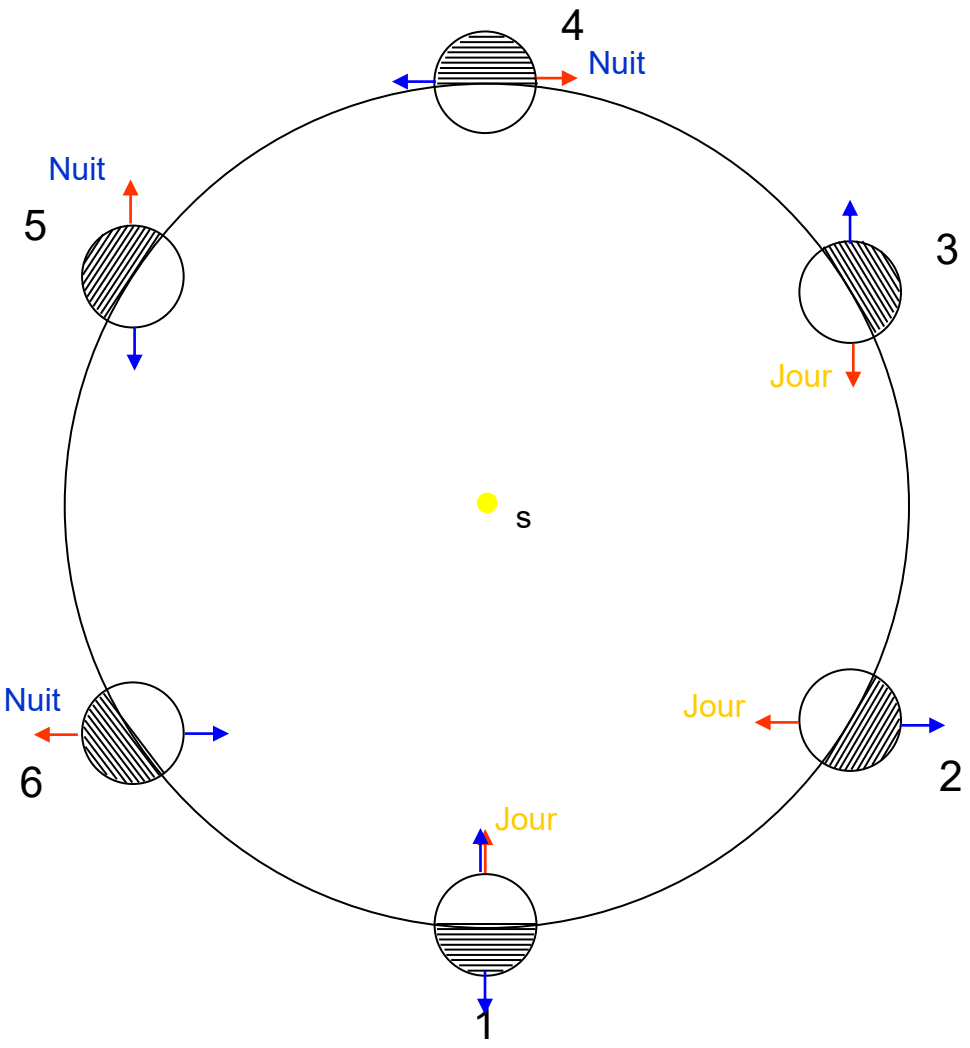
Jour et année

Nous savons maintenant si l'observateur est dans une période de jour ou de nuit.

On voit donc que pour revenir à midi, il faudra encore une révolution à l'observateur.

Pour Mercure, une journée solaire dure 2 ans.

Pendant ces 2 ans, Mercure a fait 3 tours sur elle-même par rapport aux étoiles lointaines (3 jours sidéraux).



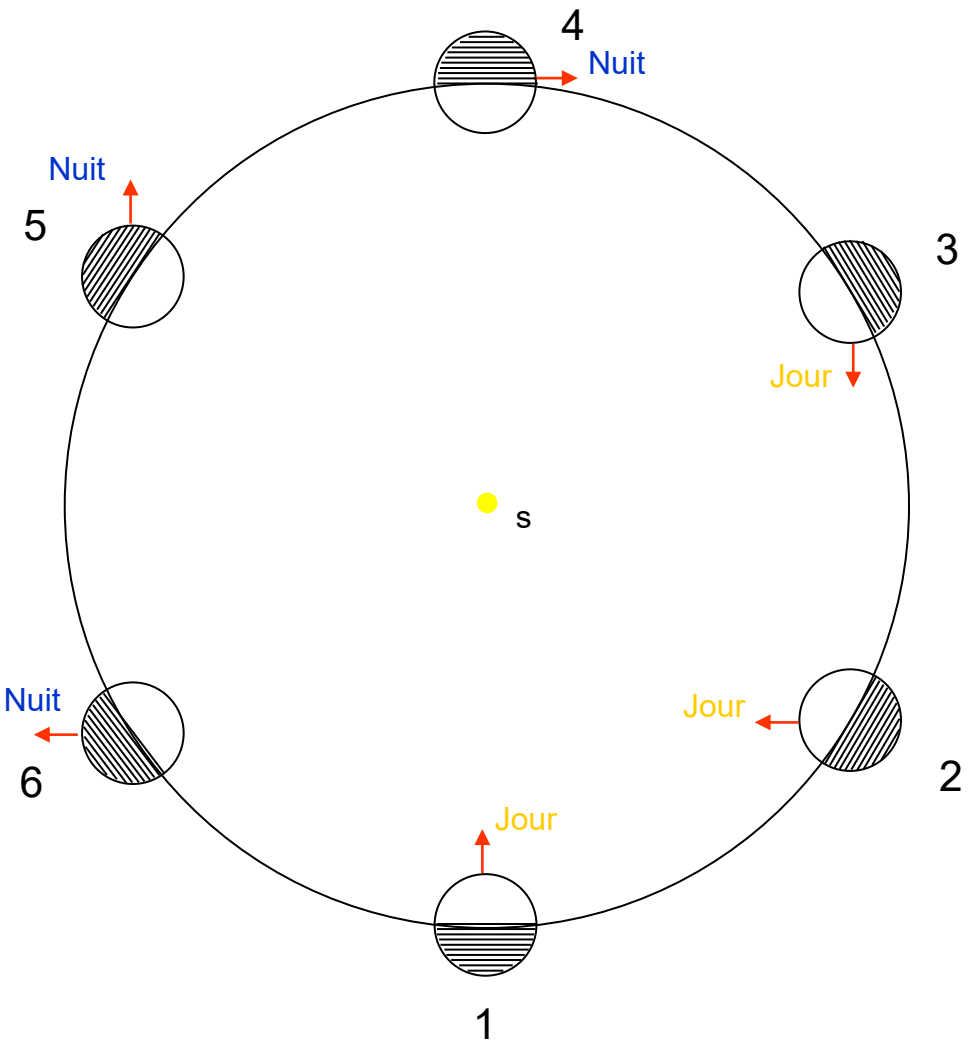
Jour et année

Pour Mercure, une journée solaire dure 2 ans

Mathématiquement, on démontre que :

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{t} - \frac{1}{T}$$

J = jour solaire
t = rotation
T = révolution



Numériquement, on déduit, connaissant t et T, que :

J = 175,94 jours

Soit exactement 2 fois la durée d'une révolution (2 x 87,97).

Et exactement 3 fois la rotation par rapport aux étoiles (3 x 58,64).

Jour et année

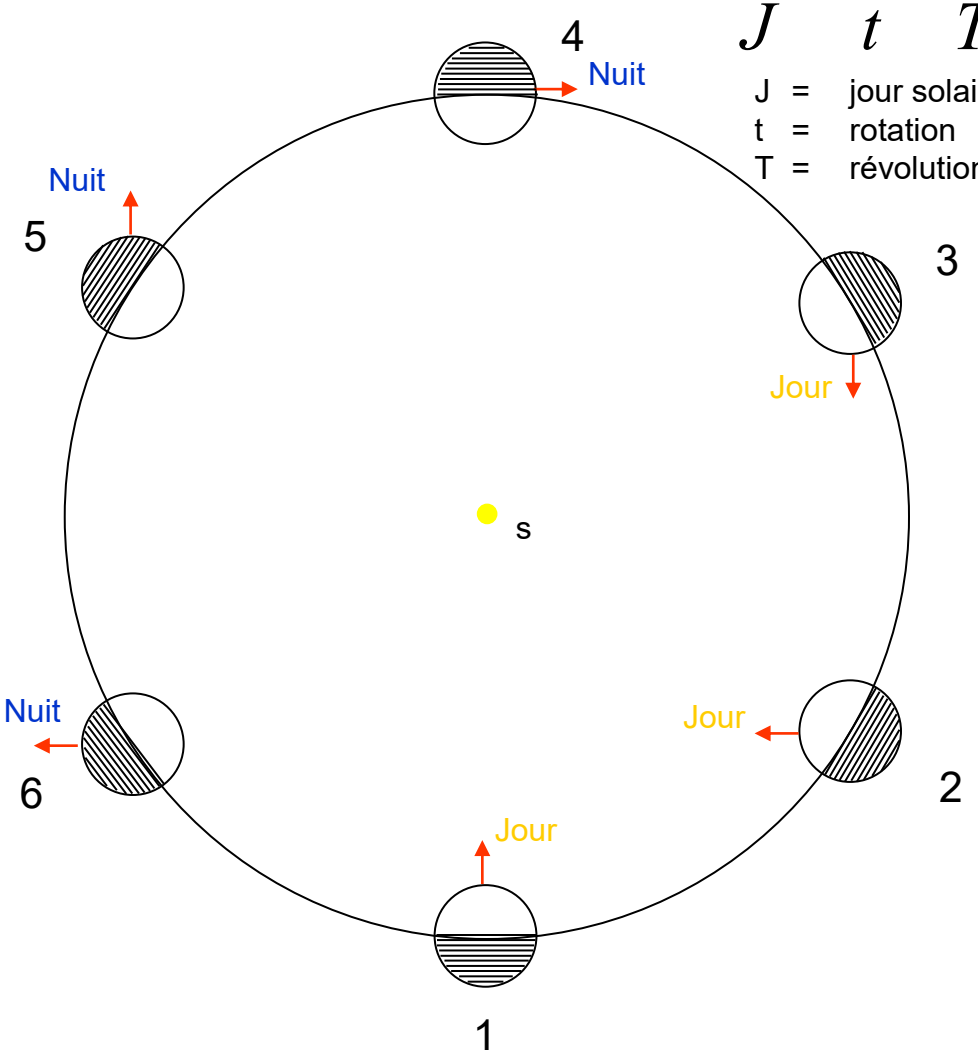
Pour Mercure, une journée solaire dure 2 ans

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{t} - \frac{1}{T}$$

J = jour solaire
t = rotation
T = révolution

3 rotations par rapport aux étoiles
=
2 années
=
1 jour solaire

Mercure est en résonance 3:2
Le Soleil a imposé la rotation et la révolution à Mercure grâce aux effets de marées très importants sur Mercure.
Les effets de marée provoquent un échauffement intérieur important de la planète (environ 100°C).
La résonance (synchronisation) s'est établie en environ 1 milliard d'années.



Jour et année

Pour résumer :

Pour Mercure, une journée solaire dure 2 ans

3 rotations par rapport aux étoiles
=
2 années
=
1 jour solaire

Mercure est en résonance 3:2

Le Soleil a imposé la rotation et la révolution à Mercure grâce aux effets de marées très importants sur Mercure.

La résonance (synchronisation) s’est établie en environ 1 milliard d’années.

Jour et année

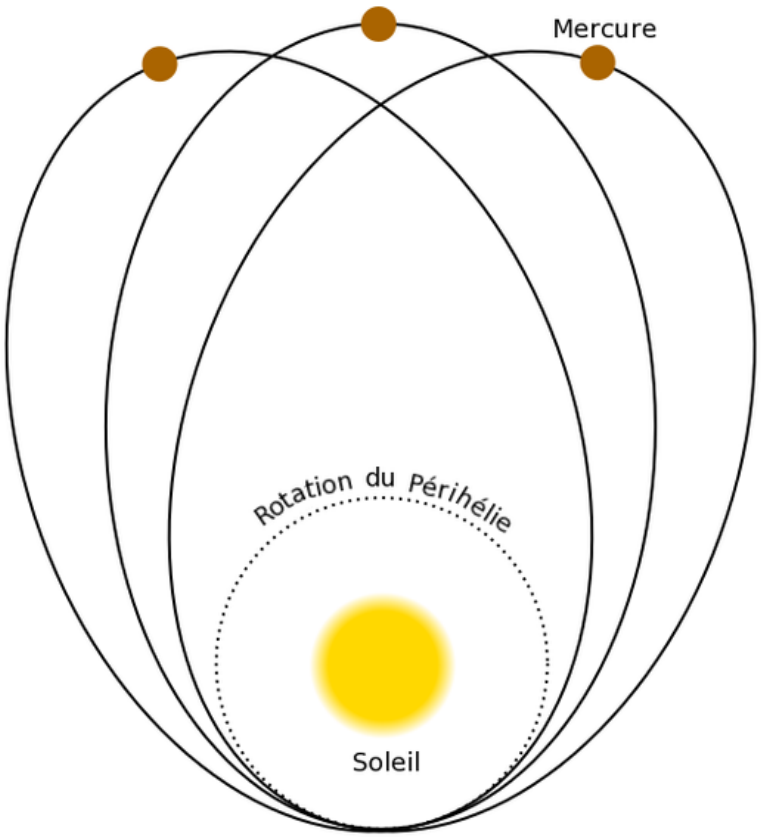
La réalité est plus compliquée.

L’orbite de Mercure est elliptique, avec une excentricité importante (0,2) qui fait varier sa distance au Soleil de 46 à 70 millions de km.

- Sa vitesse varie sur sa trajectoire.
- À certains endroits, un observateur verra le Soleil se lever deux fois dans une même journée ! Ceci est dû à la variation de la vitesse orbitale de Mercure.
- Quatre jours avant le périhélie, la vitesse orbitale de Mercure est exactement égale à sa vitesse de rotation.
- Le mouvement du Soleil — qui était en train de se lever — semble s'arrêter. Puis au périhélie, la vitesse orbitale de Mercure excède sa vitesse de rotation et le Soleil semble alors avoir un mouvement rétrograde. Il apparaît retourner là d'où il vient, traversant le ciel d'ouest en est, durant environ quatre jours, avant de reprendre un mouvement apparent normal, c'est-à-dire se déplaçant d'est en ouest.

Précession du périhélie

De plus, le périhélie de l'orbite de Mercure tourne lentement autour du Soleil à la manière d'une toupie.



La précession est due à l'influence des autres planètes du système solaire. Toutes les planètes sont affectées.

Le phénomène est bien expliqué par la mécanique classique pour toutes les planètes…sauf pour Mercure.
La précession de Mercure est un peu plus rapide que le calcul selon Newton. Plus exactement de 43 secondes d'arc par siècle.

L'avènement de la relativité générale a permis d'expliquer la différence.
En fait, toutes les planètes ressentent cet écart, mais celui de Mercure est le plus intense, étant plus proche du Soleil que les autres.

Atmosphère

Du fait de sa faible gravité et de sa température élevée, l'atmosphère de Mercure est extrêmement ténue au point d'être considérée comme quasiment inexistante.

Sa pression au sol représente un millième de milliardième de la pression atmosphérique terrestre !

On a calculé que les atomes gazeux de l'atmosphère entrent plus souvent en collision avec la surface qu'avec d'autres atomes gazeux.

Elle est composée pour 55% d'atomes de sodium et de Potassium. On y trouve également de l'oxygène (16%) de l'argon (7%), de l'hélium (6%) de l'azote (5%) et d'eau, gaz carbonique et hydrogène pour 3% chacun.

Température

La proximité de Mercure au Soleil la rend très chaude. La température moyenne en surface est de 179°C.

L'absence d'atmosphère et la proximité du Soleil (son rayonnement est 11 fois plus intense que sur Terre) entraîne des écarts énormes entre le jour et la nuit.
Les parties éclairées au zénith montent à 427°C, les zones non éclairées sont à -183°C.

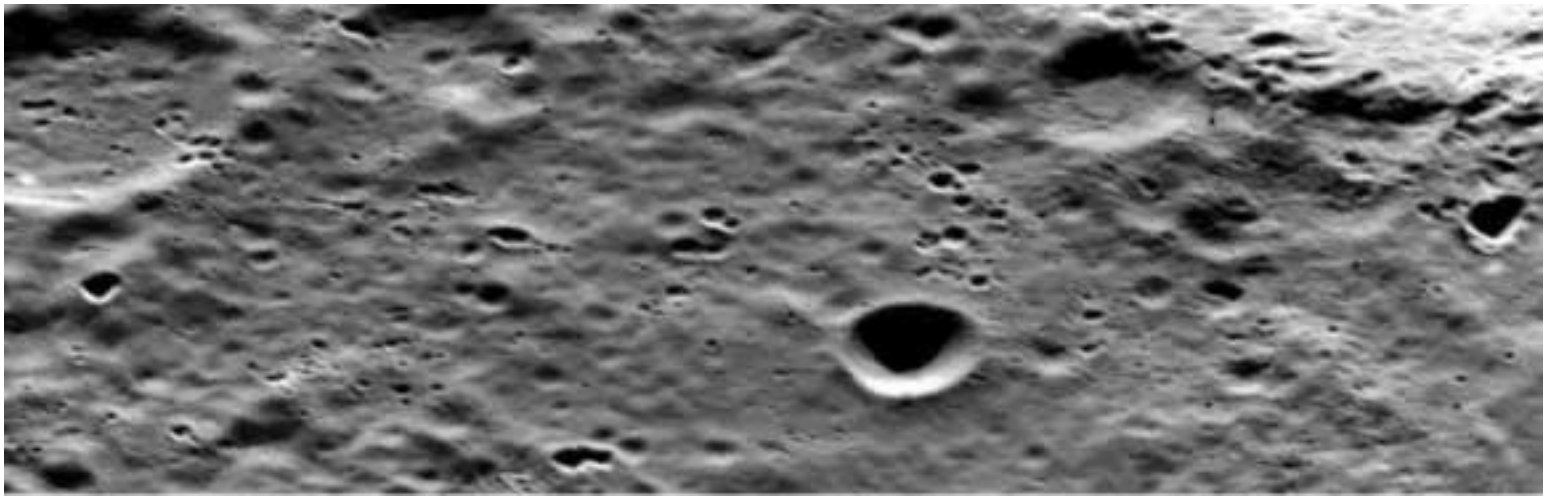
Par comparaison, l'effet du rayonnement solaire sur Terre fait varier ces extrêmes de 11°C en moyenne, du fait de la présence de l'atmosphère.

Puisque l'axe de rotation de Mercure n'est pas incliné, les zones polaires sont éclairées de manière rasante par le Soleil.
Dans le fond des cratères polaires, le Soleil ne pénètre jamais, et la température de surface descend à -223°C.
De la glace d'eau pourrait y être conservée de façon permanente.

Surface

La surface de Mercure est très cratérisée, et ressemble à celle de la Lune.

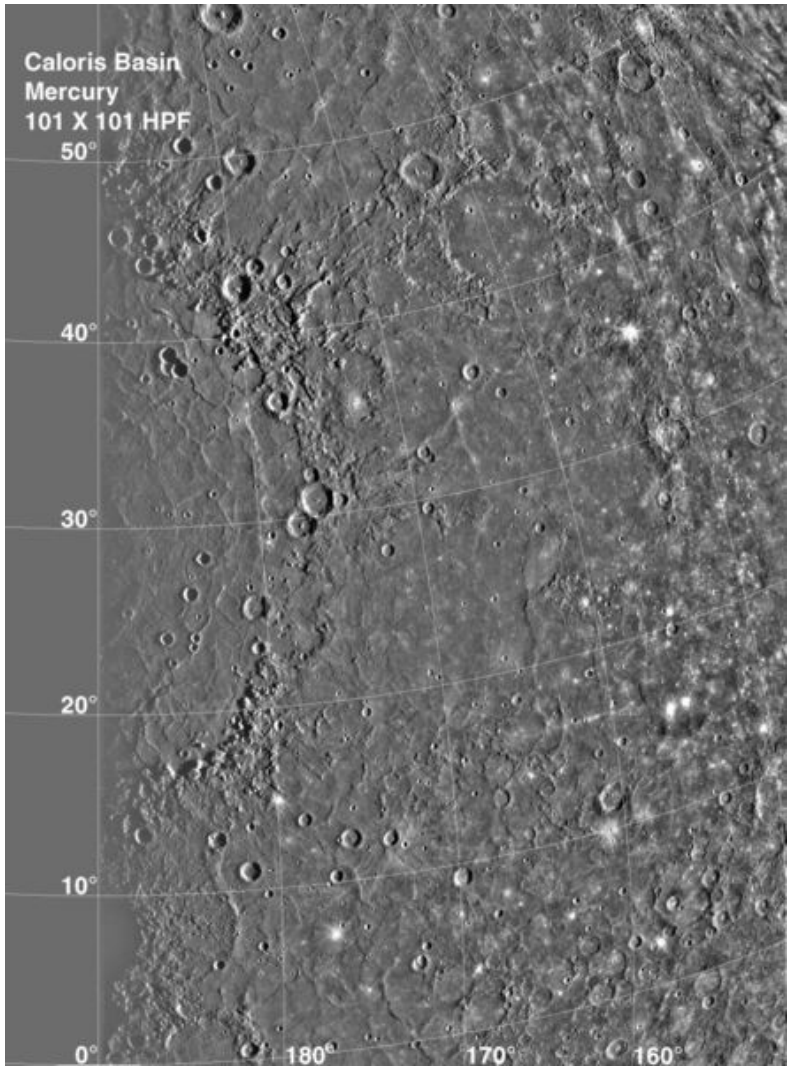
Aucun signe d'activité n'y a été décelé (faute d'observation rapprochée ?).
La surface raconte l'histoire de la formation de la planète et du système solaire.
Les zones cratérisées sont très anciennes. Les « plaines », zones plus lisses sont le signe de volcanisme plus récent, ayant recouvert des cratères.



Surface

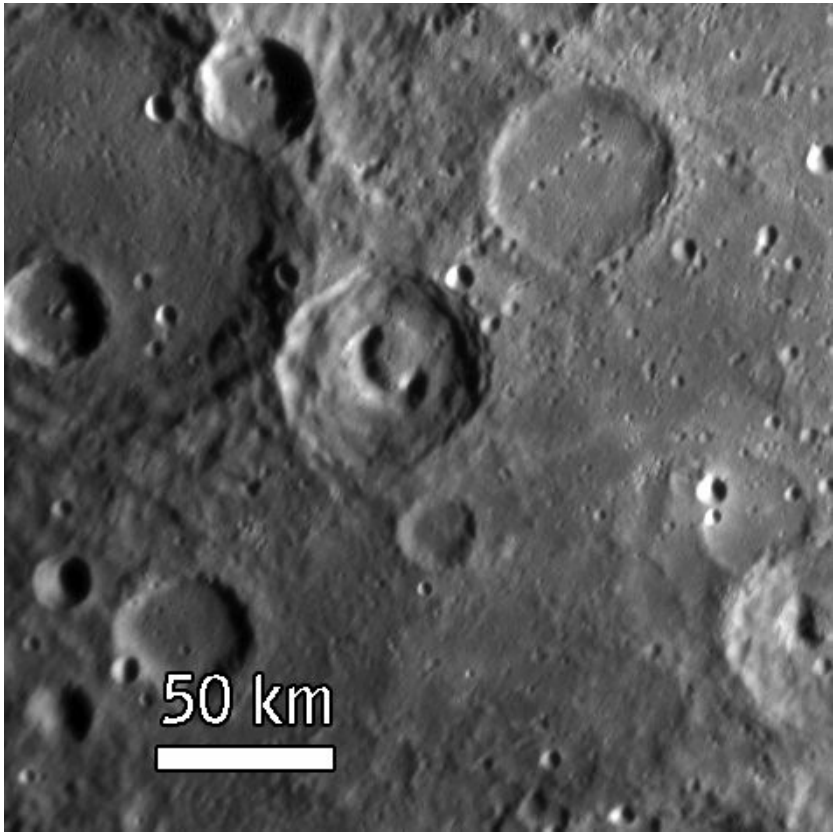
La surface de Mercure est recouverte d'une fine couche de poussière sombre (la régolithe), et creusée de très nombreux cratères.

Les cratères ont été mis en évidence par la sonde Mariner 10. Il y en a de toutes tailles. Le plus grand est le bassin Caloris avec un diamètre de plus de 1 300 kilomètres.



Surface

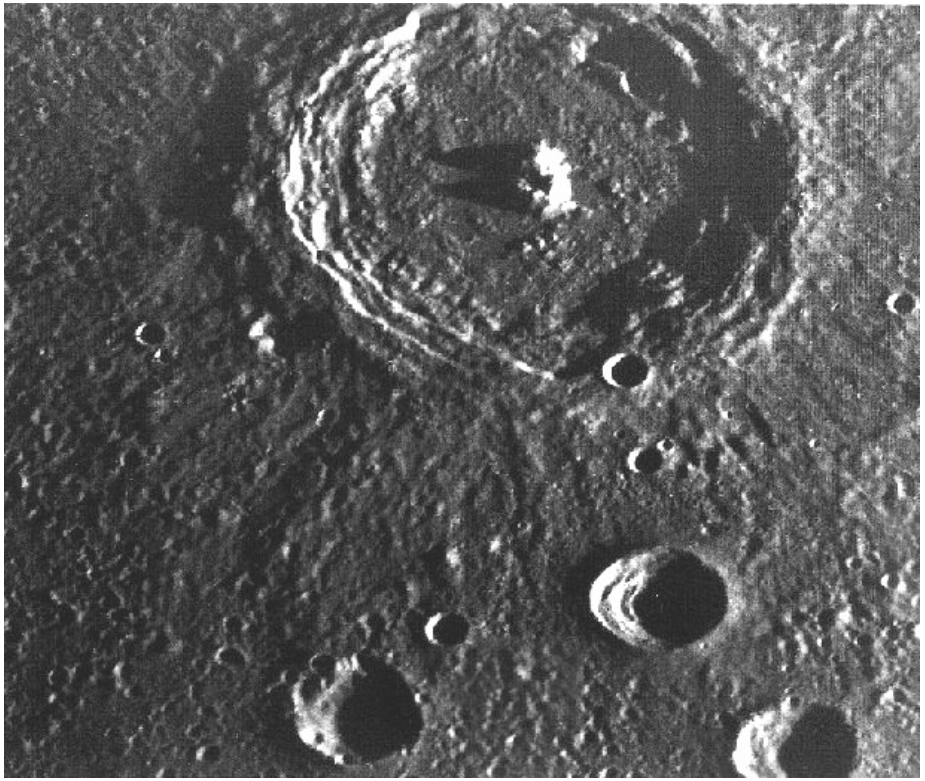
Au-dessous de 10 kilomètres de diamètre, les cratères ont l'aspect caractéristique de trous d'obus : en forme de bol d'une profondeur comprise entre le cinquième et le dixième du diamètre, ils sont entourés d'une couronne de débris (éjecta).
Entre 10 et 20 kilomètres de diamètre, les cratères quittent progressivement cette forme pour adopter un fond plus ou moins plat.
À partir de 20 kilomètres de diamètre, ils ont tous un fond plat avec au centre l'ébauche d'un piton.



Une formation enigmatique au centre de ce cratère

Surface

Entre 20 et 150 kilomètres de diamètre, la couronne d'éjecta se développe et le piton devient de plus en plus net et important.
Dans les cratères de 150 à 200 kilomètres de diamètre, le piton s'élargit et le cratère tend à devenir un anneau.
Au-delà de 200 kilomètres de diamètre, les cratères, nommés alors bassins, présentent un ou plusieurs anneaux concentriques.



Surface

En l'absence d’atmosphère et d’eau liquide, un cratère sur Mercure n’est soumis à aucune forme d’érosion classique, et par conséquent ne peut être recouvert que par des terrains plus récents, ou frappé partiellement par les impacts d’autres météorites ou micrométéorites.

Les cratères récents sont intacts, les cratères très anciens ont été dégradés par d’autres impacts. Une estimation du nombre de cratères en fonction de leur âge relatif montre que les impacts ont vu leur fréquence diminuer considérablement au cours du temps.

Surface

Contrairement aux terrains les plus jeunes, les terrains anciens seront fortement remplis de cratères. 80% de la surface de Mercure sont constitués de terrains très anciens (remplis d'impacts).
10% de la surface de Mercure sont formés de plaines moyennement cratérisées (entre 7% et 3% d'impacts).
Les 10% de la planète restants sont des plaines lisses ou ayant très peu d'impacts.

En comparant ces données avec la Lune (où l'on connaît les âges des terrains), on peut estimer l'âge des plaines jeunes à 3,8 à 3,9 milliards d'années, et à au moins 4 à 4,2 milliards d'années celui des plaines anciennes.
Tout cela nous apprend que la formation des plaines a été précoce dans l'histoire de Mercure. Planète très active avant l'âge de 4,1 milliards d'années, processus ayant rapidement décru pour cesser presque complètement il y a environs 3,9 milliards d'années. Depuis lors, il ne semble plus y avoir eu de nouveaux terrains sur Mercure.

Surface

Cette faille nommée *Discovery rupes*, traverse plusieurs cratères

De nombreuses configurations semblables furent découvertes dans les images de Mariner 10.

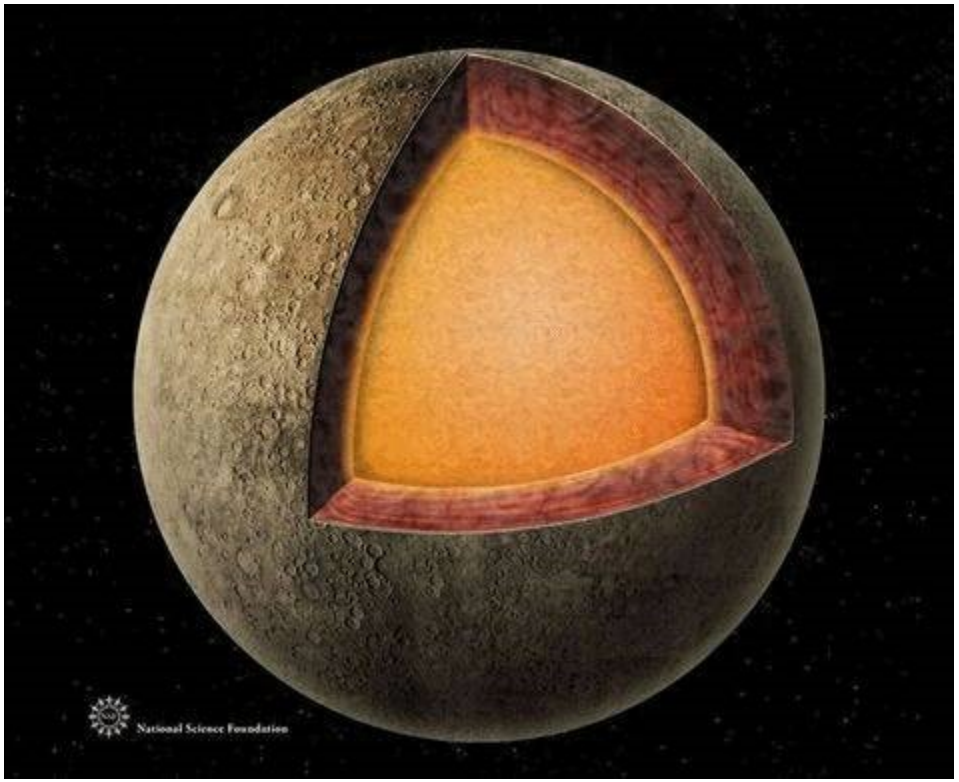
Discovery rupes

Composition interne

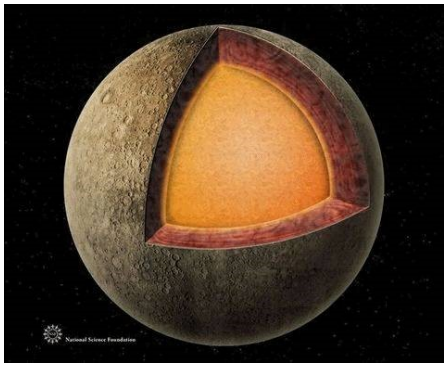
Mercure possède un imposant noyau métallique, représentant 75% de son diamètre, et 42% de son volume.
Par comparaison, le noyau de la Terre ne remplit que 17% de son volume.

Mercure est composée de 70% de métaux (dans le noyau), et 30% de silicates (dans le manteau épais de 500 à 600 km)

Le manteau et la croute ont une densité très faible.
La densité moyenne de la planète est de 5,4, très comparable à celle de la Terre (5,5).



Composition interne



Du fait de son imposant noyau métallique, mercure est une planète très lourde pour sa taille. Par comparaison, Ganymède, qui est un peu plus gros que Mercure, est deux fois moins massif.

Mercure est donc très riche en fer. En fait, au moins deux fois plus que tout autre objet du système solaire.

La surface est par contre très pauvre en métaux, en particulier en fer, alors que celle des autres planètes telluriques comme la Terre ou Mars sont riches en fer.

La taille du noyau, ainsi que la pauvreté en métaux de la surface indiquent un processus de formation particulier, encore inconnu. Des hypothèses circulent.

Noyau

Trois principales théories sont proposées pour expliquer la taille du noyau de Mercure.

La première suggère que Mercure s'est formée comme les autres planètes, avec un noyau « ordinaire ». Très tôt, Mercure aurait été frappé par un planétésimal d'environ 1/6 de sa masse. Le choc aurait arraché la croûte et le manteau, ne laissant que le noyau et un mince manteau.

La seconde hypothèse part du principe que les métaux comme le fer étaient, au moment de la formation du système solaire, beaucoup plus abondants au voisinage du Soleil. Plus on s'éloigne du Soleil, plus les éléments sont légers.

La dernière possibilité est fondée sur une formation d'une grosse planète avant même la fin de la contraction du Soleil. Le manteau (éléments les plus légers) aurait été vaporisé par l'augmentation de température du Soleil.

Champ magnétique

Avant Mariner 10, les astronomes pensaient que Mercure n'avait pas de champ magnétique.

En effet, la planète était jugée trop petite, le noyau trop petit, déjà trop refroidi et solide. De plus, sa vitesse de rotation trop lente pour engendrer un effet de dynamo allait dans ce sens.

Mariner 10 montra la présence d'un champ magnétique autour de Mercure. Sa valeur est plus faible que pour la Terre.

Il faut donc admette l'une des hypothèses suivantes :

- Le noyau est liquide, ou partiellement liquide mais gros.
- La vitesse de rotation de la planète a été plus importante dans le passé.
- Si le noyau est solide, il est possible que d'autres matériaux comme le soufre soient responsables du champ magnétique.
- Le champ magnétique peut être un résidu d'un effet de dynamo ancien plus important (avec une vitesse de rotation plus importante), qui a maintenant cessé, et s'est figé dans les matériaux magnétiques du noyau actuel solide.

Histoire géologique

L’évolution de Mercure, de la naissance du système solaire à aujourd’hui peut être divisée en 5 « ères »

La première s'étend du tout début de l'histoire du système solaire à la période de bombardements intenses. La nébuleuse solaire primitive s'est condensée et a commencé à former de la matière solide. D'abord de petite masse qui, à force de s'accumuler (phase d’accrétion), a produit des corps de plus en plus gros, ayant une force d'attraction de plus en plus importante, jusqu'à former la principale masse de Mercure. La nature homogène ou hétérogène de cette accumulation de matière reste encore inconnue : on ne sait pas si Mercure s'est formée à partir d'un mélange de fer et de silicate qui se sont ensuite dissocié pour former séparément un noyau métallique et un manteau de silicate, ou si le noyau s'est formé en premier, à partir de métaux, puis le manteau et la croûte ne sont venus qu'après, lorsque les éléments lourds comme le fer sont devenus moins abondants aux environs de Mercure.

Il y a peu de chance pour que Mercure ait possédé une atmosphère initiale (juste après l'accumulation de matière), ou alors elle s'est évaporée très tôt avant l'apparition des plus anciens cratères. Si Mercure avait eu une atmosphère, on aurait pu remarquer une érosion des cratères par les vents, comme sur Mars.

Histoire géologique

La seconde période est caractérisée par un fort bombardement météoritique par des corps relativement gros (des résidus du processus d'accrétion), couvrant la surface de Mercure par des cratères et des bassins (cratères larges de plus de 200 km de diamètre), et se termine à la formation du bassin Caloris.
Il n'est pas certain que cette période soit la phase terminale de l'accrétion de Mercure. Il est possible qu'il ne s'agisse que d'un second épisode de bombardement indépendant de cette accumulation.

Les escarpements présents majoritairement dans les régions « inter-cratères » (qui sont des surfaces plus anciennes que les cratères) et qui traversent parfois certains des plus vieux cratères, montrent que le refroidissement du noyau et la contraction de la planète se sont produits entre la fin de la première période et le début de la seconde.

Histoire géologique

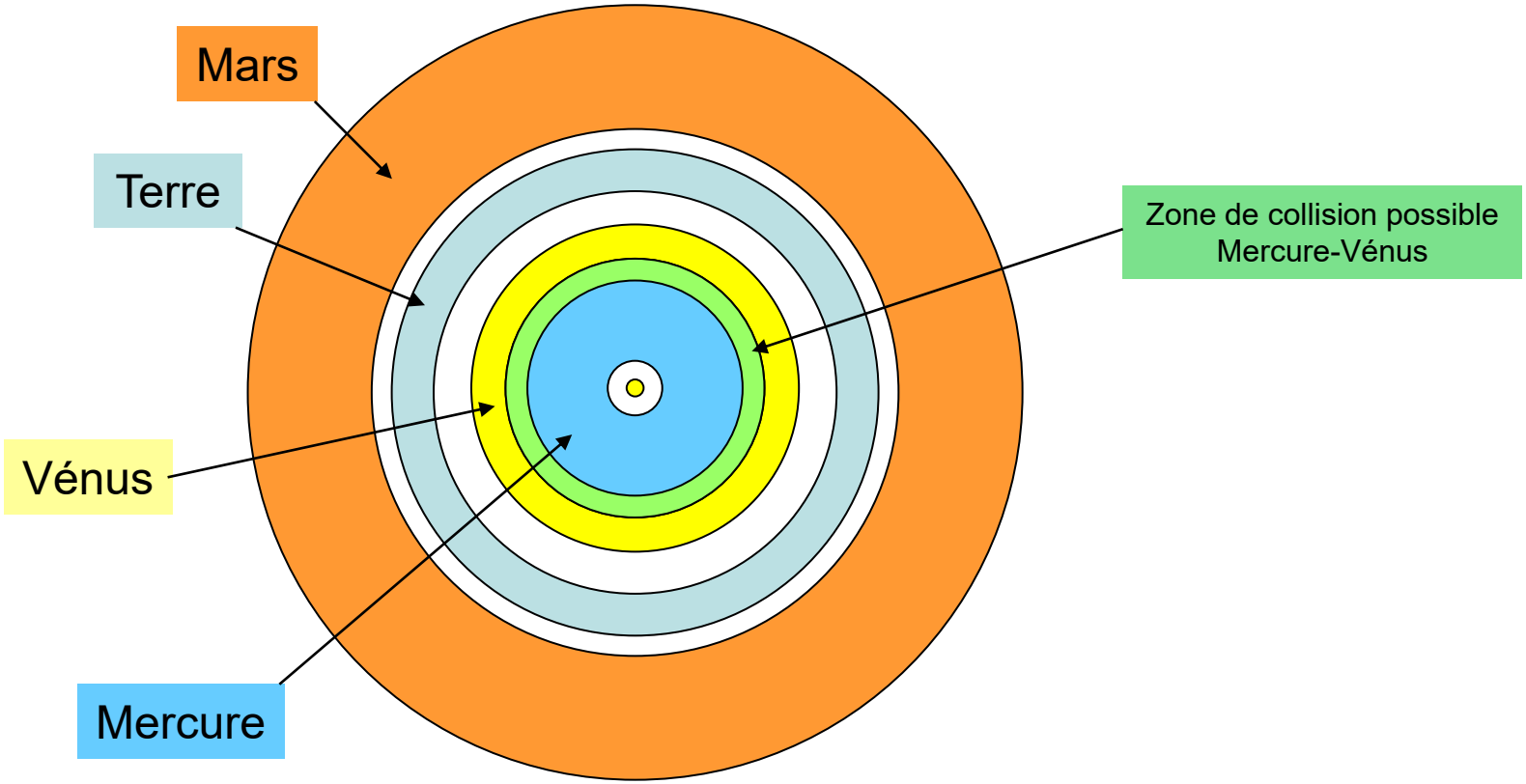
La formation du bassin Caloris marque la séparation entre la seconde et la troisième période. L'impact météoritique a donné lieu à de fortes transformations de la surface de Mercure : la création de l'anneau montagneux « Caloris Montes » autour du cratère produit par l'impact et les déformations chaotiques de l'autre côté de la planète. Cet évènement s'est produit il y a environ 3,8 milliards d'années.

La quatrième époque géologique de Mercure couvre la période de volcanisme qui s'ensuivit. Des coulées de lave ont formé une partie des grandes plaines lisses. Cependant, les plaines lisses recouvrant le bassin Caloris auraient été formées par des éjectas lors de l'impact Caloris. On estime que cette période s'est déroulée il y a entre 4 et 3 milliards d'années.

La dernière époque s'étend d'il y a 3 milliards d'années à aujourd'hui. Hormis de petits impacts météoritiques, peu d'évènements se sont produit sur Mercure durant cette période.

Mercure et le chaos

En étudiant les révolutions de Mercure sur des temps très longs, les spécialistes (dont Jacques Laskar) se sont rendus compte que l'excentricité de Mercure variait sur des millions ou des centaines de millions d'années de 0 (orbite circulaire) à 0,45 (orbite très elliptique).



Familles rurales

Vivre mieux !

ASSOCIATION DE MAILLET

Club d'astronomie

Caroline H