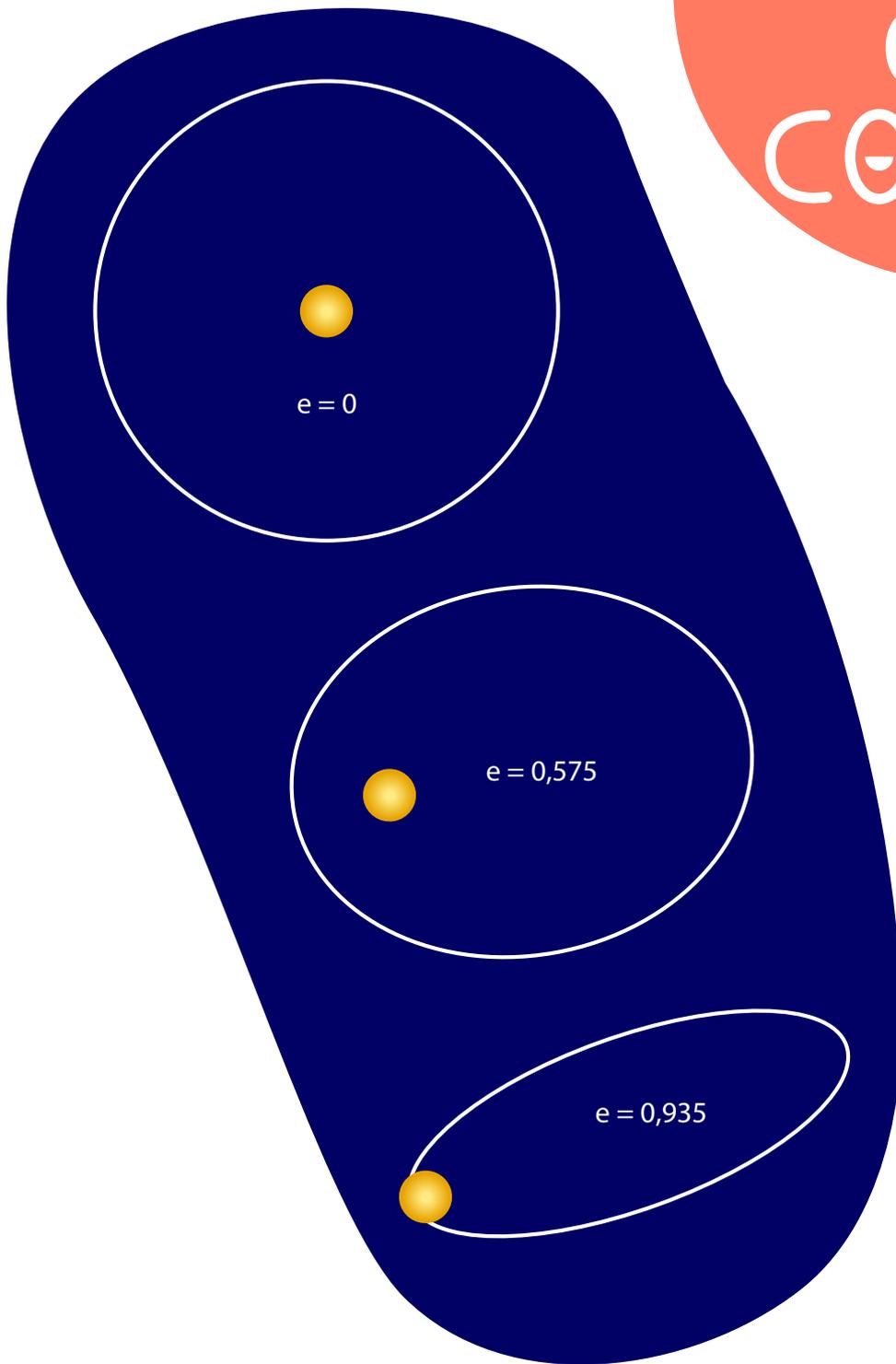


AU PLUS PRES DU SOLEIL

ASTRES

EN COURS



N°5

EDITO

Ce numéro de la gazette
Astres en cours s'adresse aux
enseignants, aux éducateurs
mais également à tous les
curieux des choses du ciel.

Ce cinquième numéro de la gazette *Astres en cours* vous propose de découvrir une réalité contre-intuitive et d'exercer votre esprit critique pour résoudre un paradoxe... qui, bien sûr, n'est qu'apparent.

Les éphémérides astronomiques nous apprennent ainsi que le 3 janvier 2024, à 1 h 39 très précisément, la distance Terre - Soleil atteindra... son minimum pour 2024.

C'est donc en plein hiver chez nous que la Terre est au plus près du Soleil !

... et en été qu'elle en est au plus loin.

N'est-il pas étrange que ce minimum d'éloignement du Soleil soit atteint alors que nous sommes en hiver et qu'il fait froid dans notre hémisphère ?

Examinons cela en détail. En route !

Département Éducation et Formation
Universcience
educ-formation@universcience.fr

SOMMAIRE

1 Y A-T-IL UN LIEN ENTRE
DISTANCE AU SOLEIL
ET SAISONS ? Page 4

2 L'ORIGINE DES SAISONS
Page 7

3 LES LOIS DE KEPLER
Page 12

4 LE PASSAGE AU PERIHELIE :
UNE DATE... FLUCTUANTE
Page 18

5 SUGGESTION
D'ACTIVITES
Page 21

6 RESSOURCES
Page 22

1

Y A-T-IL UN LIEN ENTRE DISTANCE AU SOLEIL ET SAISONS ?

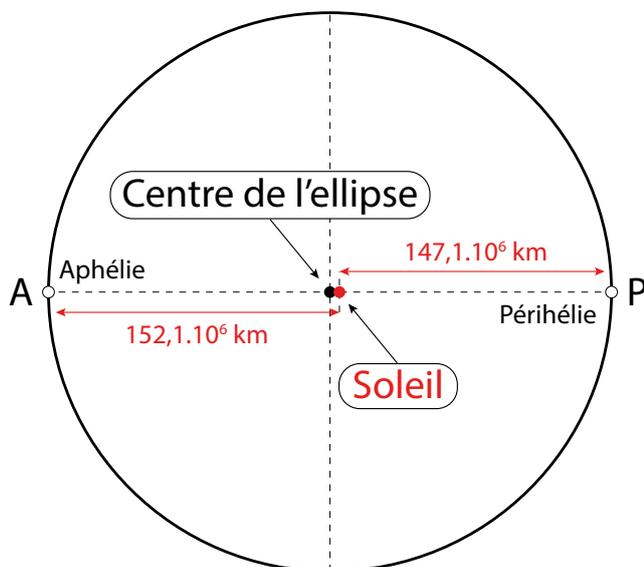
Nous l'avons appris dès notre plus jeune âge : la Terre et les autres planètes tournent autour du Soleil. Et on nous l'a enseigné plus tard à l'école, elles ne le font pas selon un cercle mais selon une ellipse. Ainsi, la distance de la Terre au Soleil n'est pas constante. C'est actuellement vers le 3 janvier que la Terre est au plus près du Soleil (on dit qu'elle est au **périhélie**) et vers

le 5 juillet qu'elle en est au plus loin (à l'**aphélie**). La Terre passe donc au périhélie lorsque l'hiver règne dans notre hémisphère et à l'aphélie lorsque l'été est déjà bien installé.

Pourquoi donc fait-il froid en hiver alors que nous sommes au plus près du Soleil ? Pourquoi fait-il chaud en été alors que nous sommes au plus loin du Soleil ?

Il faut déjà savoir que la différence entre « plus près » et « plus loin » du Soleil est relativement faible.

Si la distance moyenne de la Terre au Soleil s'élève à 149,6 millions de kilomètres, la Terre se trouve à 147,1 millions de kilomètres de notre étoile au périhélie et à 152,1 millions de kilomètres à l'aphélie. Cette différence de 5 millions de kilomètres, aussi impressionnante soit-elle, ne se traduit que par une différence de 6 % environ entre l'énergie solaire qui atteint la Terre au périhélie et à l'aphélie.



Voici la véritable forme de l'orbite terrestre : une ellipse, certes, mais indiscernable à l'œil nu d'un cercle.

Le Soleil S n'occupe pas le centre C de ce cercle. Très légèrement excentré, il en est distant de 2,5 millions de kilomètres.

Le rapport CS/CP (ou CS/CA) s'appelle l'excentricité de l'orbite. Elle s'élève à environ 0,0167 pour la Terre.

Les conséquences de cet écart de 6 % sont masquées voire largement contrebalancées par d'autres phénomènes.

Ainsi, bien que la période estivale se produise près du passage à l'aphélie dans l'hémisphère nord, l'été y est en moyenne 2,3 °C plus chaud que dans l'hémisphère sud, à cause de l'inégale répartition des terres émergées : l'hémisphère nord en contient bien plus et il est

plus facile de les faire monter en température (leur inertie thermique est plus faible que celle des océans).

Que le périhélie tombe au début du mois de janvier et l'aphélie au début du mois de juillet n'a quasiment pour seul effet observable que de diminuer l'écart de températures entre hiver et été dans l'hémisphère nord et de l'augmenter dans l'hémisphère sud, d'environ 1 °C dans les deux cas.



Une opinion très (trop !) répandue fait de la distance de la Terre au Soleil la cause des saisons. Interrogez vos proches et vos amis pour vous en convaincre : « S'il fait froid en hiver, c'est parce que la Terre est loin du Soleil. Et s'il fait chaud en été, c'est parce que la Terre est proche du Soleil ! ».

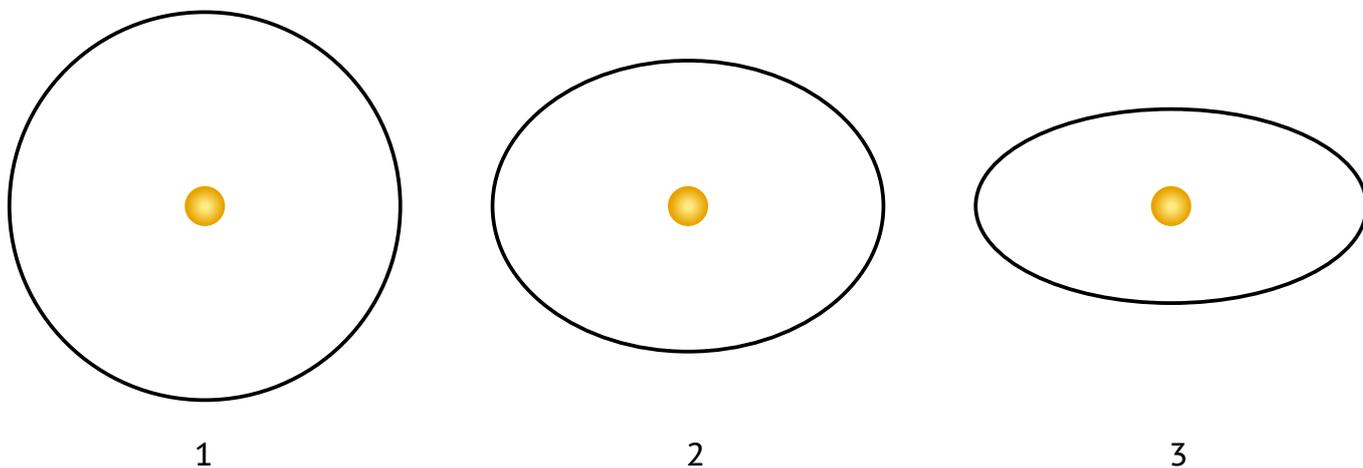
Ce serait oublier un peu vite que ce raisonnement, s'il était valable, devrait s'appliquer à tout le globe terrestre. Avec une Terre loin du Soleil, il devrait également faire froid dans l'hémisphère sud ! Or, lorsque nous grelottons à Paris, les températures sont estivales à Montevideo (Uruguay), au Cap (Afrique du Sud) ou à Melbourne (Australie) : les saisons sont inversées d'un hémisphère sur l'autre... et l'opinion selon laquelle la distance de la Terre au Soleil gouvernerait les saisons est tout simplement fausse.

Pourquoi alors est-on enclin à concevoir une telle opinion ?

La première raison réside sans doute dans le bon sens : plus on est loin d'un radiateur, plus il fait froid !

Doit être également invoquée une connaissance très approximative de la taille de la Terre, du Soleil et de la distance moyenne qui les sépare. Et plus encore, des distances lors du passage au périhélie et à l'aphélie !

Enfin, nous sommes certainement influencés par la vision héliocentrique biaisée mais bien utile que l'on nous présente très souvent pour expliquer les saisons : l'orbite terrestre est vue en perspective, accentuant par là artificiellement son excentricité. Vous la retrouverez d'ailleurs dès la page suivante !



En 1, l'orbite terrestre est vue du dessus. C'est un cercle quasi parfait. L'angle entre le plan de l'orbite et la direction de notre œil est de 90° .

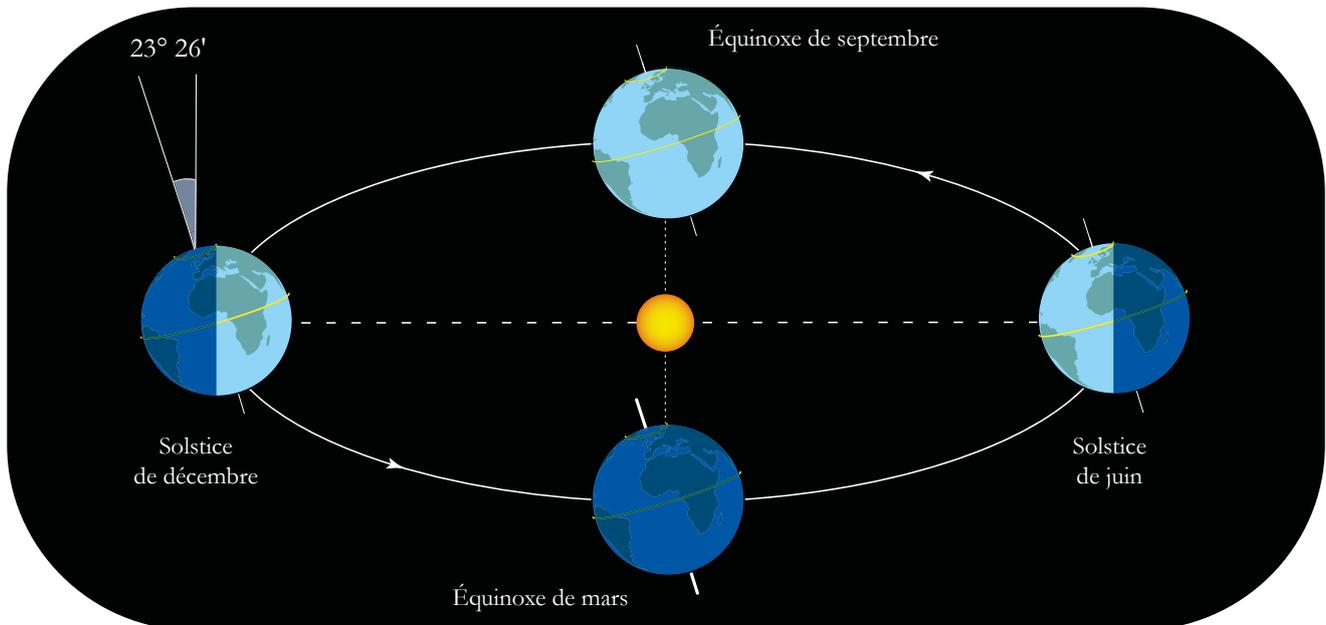
En 2, nous nous sommes déplacés pour nous rapprocher du plan de l'orbite. L'angle entre le plan de l'orbite et la direction de notre œil se monte à 50° environ. Nous voyons le cercle comme une ellipse faiblement aplatie.

Enfin, **en 3**, l'angle entre le plan de l'orbite et la direction de notre œil n'est plus que de 30° . Nous voyons le cercle comme une ellipse fortement aplatie. Certaines parties de ce cercle semblent alors deux fois plus proches du Soleil que d'autres !

Si la légère variation de la distance Terre - Soleil au cours de l'année n'a que très peu d'influence sur les températures, c'est que les saisons ont une tout autre origine...

2 L'ORIGINE DES SAISONS

Les saisons sont les périodes de temps qui séparent les passages du Soleil aux solstices et aux équinoxes. **Elles résultent de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre qui provoque, en un lieu donné, une variation de la hauteur du Soleil au cours de l'année et une variation de la durée du jour.** Toute planète possédant un axe de rotation incliné connaît la succession des saisons. Si sur Terre, la distance la séparant du Soleil n'influence pas les saisons, il n'en est pas de même sur certaines planètes comme Mars.

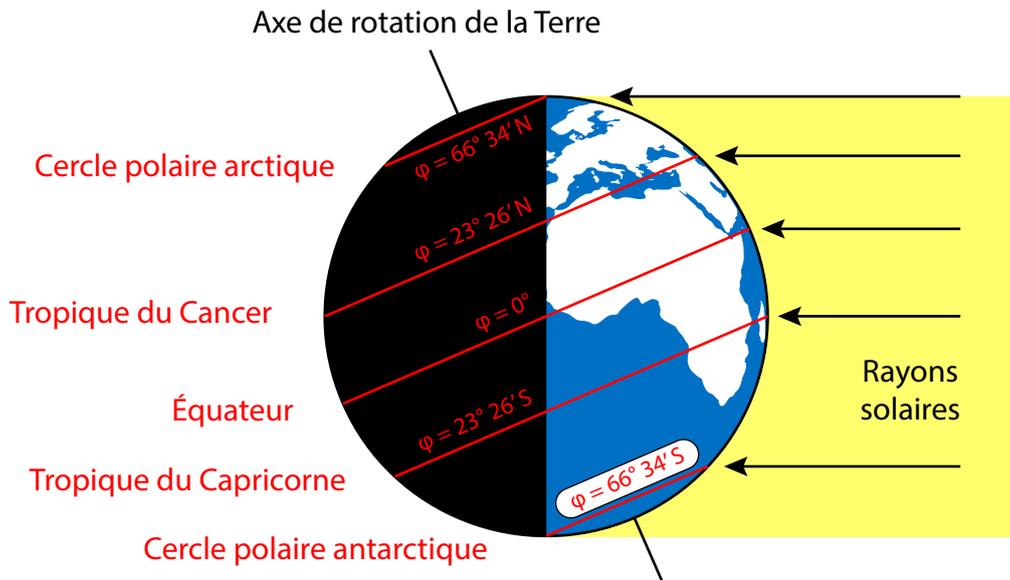


En raison de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre, le plan équatorial de notre planète ne coïncide pas avec le plan de l'écliptique (le plan dans lequel la Terre tourne autour du Soleil). Le Soleil est donc tantôt au nord de l'équateur (du 20 mars au

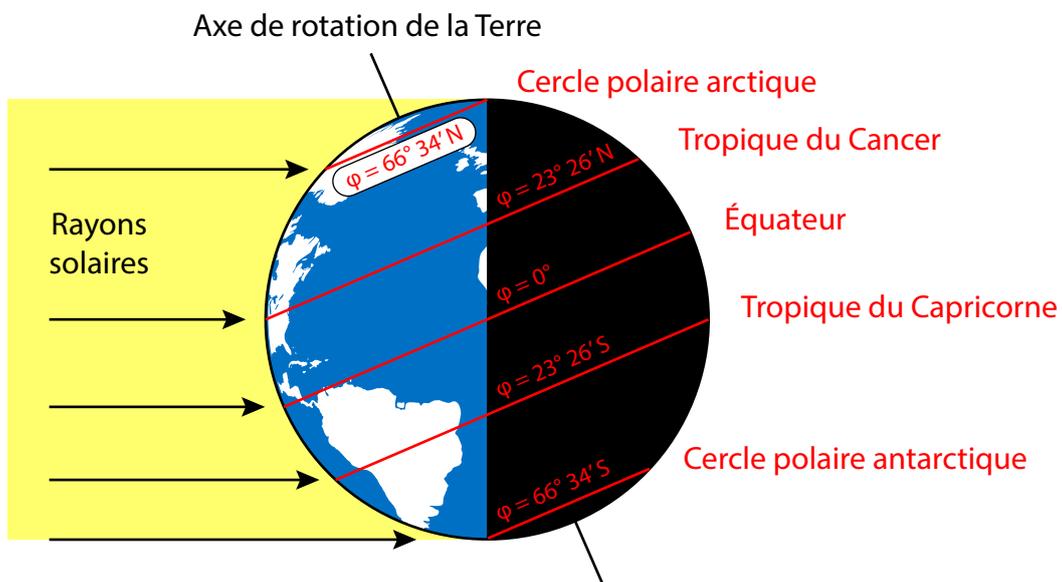
22 septembre environ), tantôt au sud de l'équateur (du 22 septembre au 20 mars environ). Il est au maximum au nord de l'équateur vers le 21 juin (solstice) et au maximum au sud de l'équateur vers le 21 décembre (solstice).

Dans l'illustration précédente, focalisons notre attention sur la Terre.

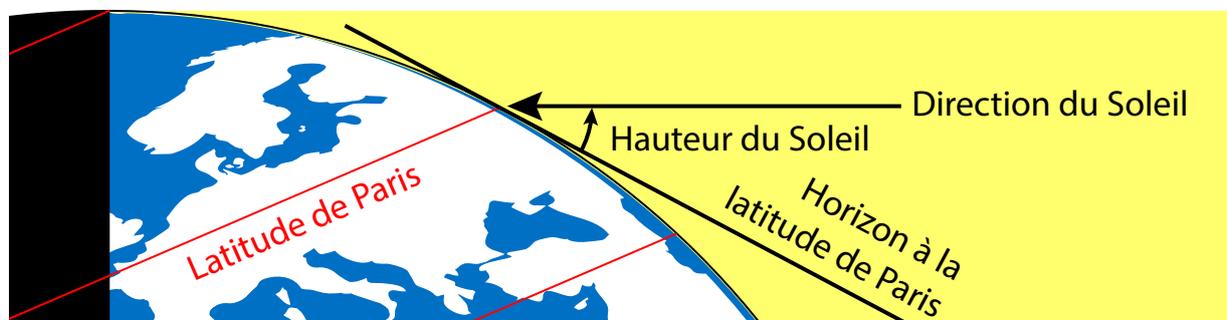
Au solstice de décembre, l'hémisphère sud est tourné au maximum vers le Soleil. C'est le début de l'été austral et de l'hiver boréal. Les rayons du Soleil arrivent perpendiculairement au Tropique du Capricorne : on peut y voir le Soleil au zénith à midi. Le Soleil ne se couche pas au sud du cercle polaire antarctique... mais ne se lève pas au nord du cercle polaire arctique.



Au solstice de juin, l'hémisphère nord est tourné au maximum vers le Soleil. C'est le début de l'été boréal et de l'hiver austral. Les rayons du Soleil arrivent perpendiculairement au Tropique du Cancer : on peut y voir le Soleil au zénith à midi. Le Soleil ne se couche pas au nord du cercle polaire arctique... mais ne se lève pas au sud du cercle polaire antarctique.

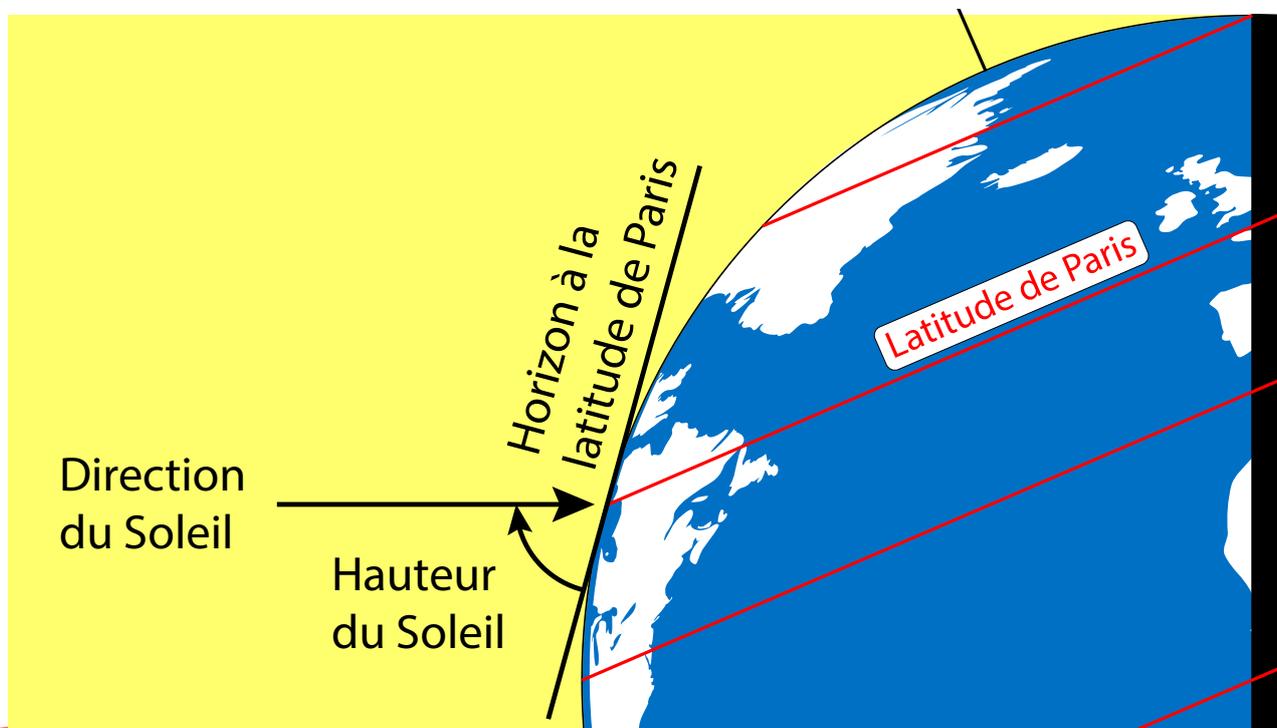


Effectuons un zoom sur la situation au **solstice de décembre**, en mettant en valeur le parallèle passant par Paris (latitude $48^{\circ} 50'$). La hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon demeure faible et ne dépasse pas 18° à midi.



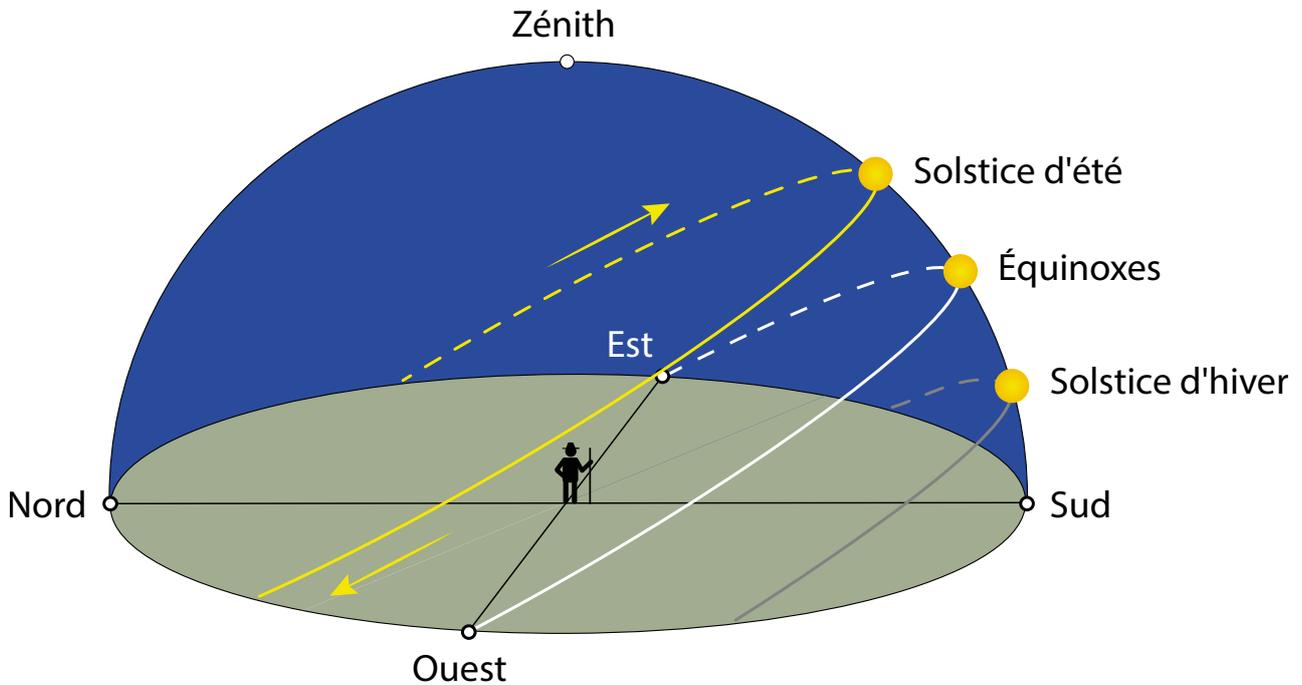
Au solstice de décembre

Effectuons maintenant un zoom sur la situation au **solstice de juin**, en mettant toujours en valeur le parallèle passant par Paris. La hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon peut maintenant dépasser nettement les 18° et atteint même 65° à midi !

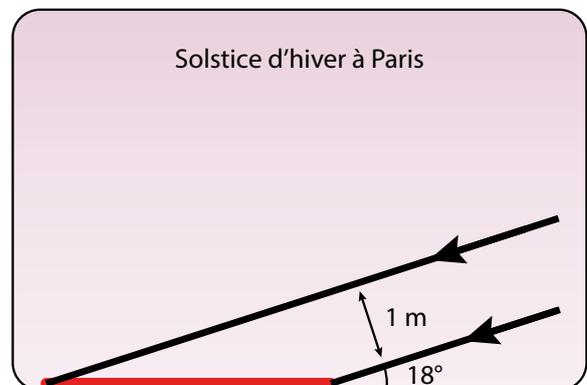
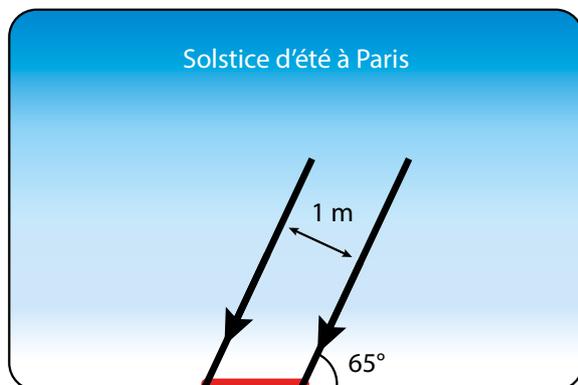


Au solstice de juin

Au cours de l'année, la variation de la distance angulaire du Soleil par rapport à l'équateur (ce qu'on appelle la *déclinaison* du Soleil) va produire une variation de sa hauteur et de la durée des jours et des nuits. En été, la trajectoire du Soleil au-dessus de l'horizon est longue : les jours sont longs. En hiver la trajectoire du Soleil au-dessus de l'horizon est courte : les jours sont courts.

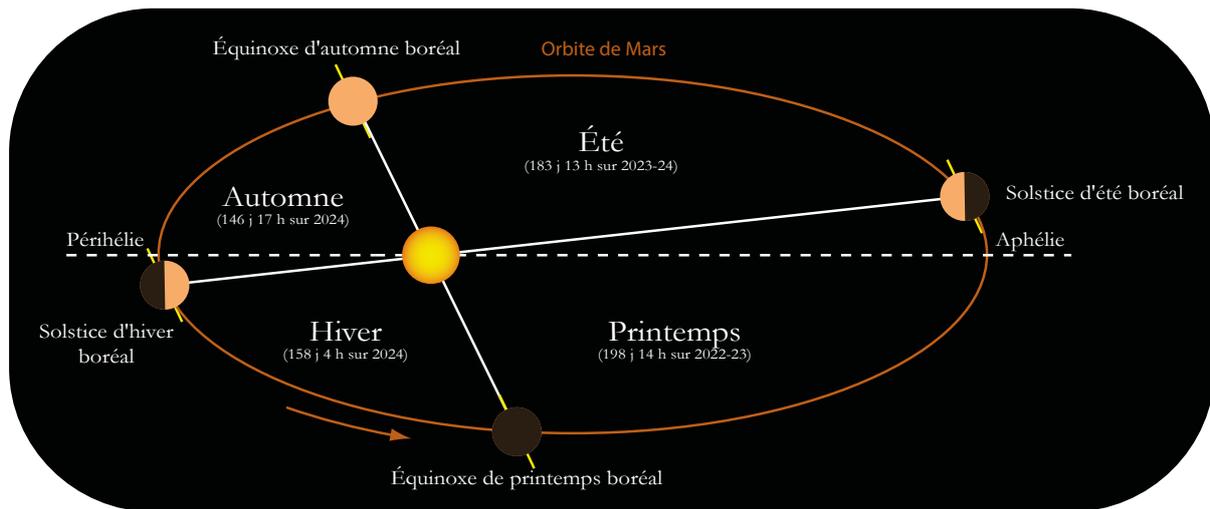


La quantité d'énergie que reçoit un lieu donné sur Terre dépend de l'angle d'incidence des rayons du Soleil par rapport au plan horizontal (hauteur du Soleil) et du temps d'ensoleillement (durée du jour). En été, le Soleil est haut au-dessus de l'horizon et la durée du jour est longue : la quantité d'énergie reçue par unité de surface est importante. En hiver, le Soleil est bas et la durée du jour est courte : la quantité d'énergie reçue par unité de surface est plus faible.



La même quantité d'énergie se répartit sur une surface beaucoup plus grande en hiver qu'en été : il fait plus froid.

Et sur les autres planètes ? Prenons le cas de Mars. L'inclinaison de son axe de rotation est de $25^{\circ} 12'$ par rapport à la perpendiculaire au plan de son orbite : ainsi, comme la Terre, Mars connaît des saisons, opposées dans les hémisphères nord et sud. Cependant, la planète faisant le tour du Soleil en 686 j 23 h terrestres, les saisons sont près de deux fois plus longues que sur Terre.



La distance de Mars au Soleil varie entre un maximum à l'aphélie de 249,2 millions de kilomètres et un minimum au périhélie de 206,7 millions de kilomètres.

La très forte excentricité orbitale de Mars a deux conséquences importantes :

1/ Elle entraîne une **inégalité importante de la durée des saisons**, en accord avec de la deuxième loi de Kepler que nous expliciterons en page 16.

2/ **Les saisons sur Mars sont plus marquées que sur Terre et notamment aux solstices.**

En effet, la date du passage au périhélie coïncide presque avec le solstice d'hiver boréal et celle du passage à l'aphélie se confond quasiment avec le solstice d'été boréal. Ainsi, les hivers sont doux et courts dans l'hémisphère nord, longs et froids dans l'hémisphère sud. Inversement, les étés sont longs et frais dans l'hémisphère nord, courts et chauds dans l'hémisphère sud.

3

LES LOIS DE KEPLER

Les **trois lois de Kepler** décrivent le mouvement des planètes autour du Soleil. On les enseigne encore aujourd'hui au lycée. Les deux premières furent publiées en 1609 dans *l'Astronomia Nova* et la troisième en 1619 dans *l'Harmonices Mundi*. Pour les établir, Johannes Kepler (1571–1630) exploita la masse considérable d'observations

des positions planétaires effectuées par l'astronome danois Tycho Brahé (1546–1601) dont il fut l'assistant pendant un an et demi.

Il fallut attendre les travaux d'Isaac Newton (1642–1727) et sa théorie de la gravitation pour produire une démonstration rigoureuse des trois lois.



Détail d'une statue de Tycho Brahé (à gauche) et de Johannes Kepler (à droite) à Prague, en République tchèque. Crédit : Matěj Bařha.

1^{re} loi : les planètes décrivent autour du Soleil des ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers.

2^e loi : le rayon vecteur reliant une planète au Soleil balaie des aires égales en des intervalles de temps égaux.

3^e loi : le rapport du cube du demi-grand axe au carré à la période de révolution est une constante pour toutes les planètes du Système solaire.

Seules les deux premières lois vont nous servir par la suite.

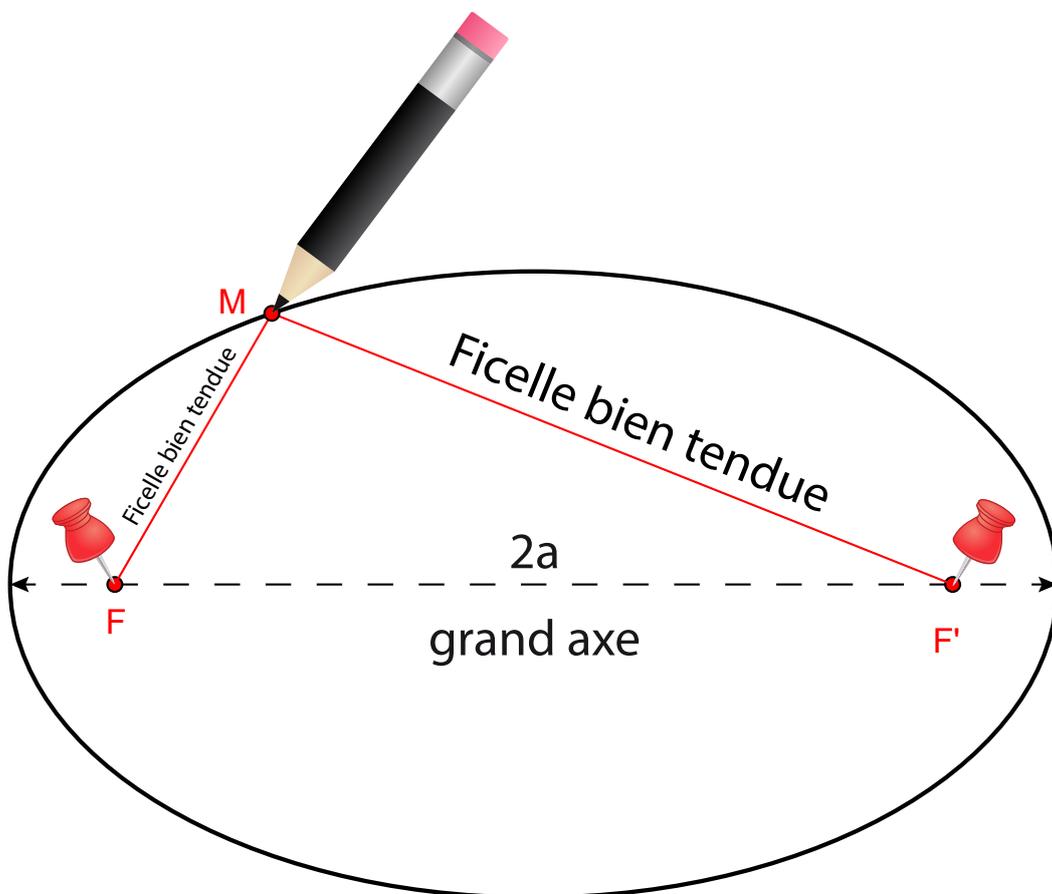
Comment introduire le concept d'ellipse ? C'est la la figure formée par l'ombre qu'un disque projette sur une surface plane.

Vous pouvez facilement construire une ellipse en mettant en pratique une définition mathématique de cet objet.

Soit F et F' deux points distincts du plan. L'ensemble des points M qui vérifient $d(M,F) + d(M,F') = 2a$ définit une ellipse de foyers F et F' et de grand axe $2a$, d étant la distance entre les deux points entre parenthèses.

L'ellipse est donc le lieu des points dont la somme des distances à deux points fixes est constante.

Ainsi, si l'on plante deux piquets dans le sol ou deux punaises sur une plaquette de liège (ce sont les deux foyers) et que l'on se munit d'une corde ou d'une ficelle non élastique (c'est la somme constante) que l'on attache aux piquets ou aux deux punaises, le trajet que la pointe d'un feutre parcourt en maintenant la corde ou la ficelle tendue est une ellipse.



Pour une planète donnée, cette figure théorique est perturbée par l'action gravitationnelle des autres corps du Système solaire. Dans le cas de la Terre, les perturbateurs principaux sont la Lune et les planètes Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.

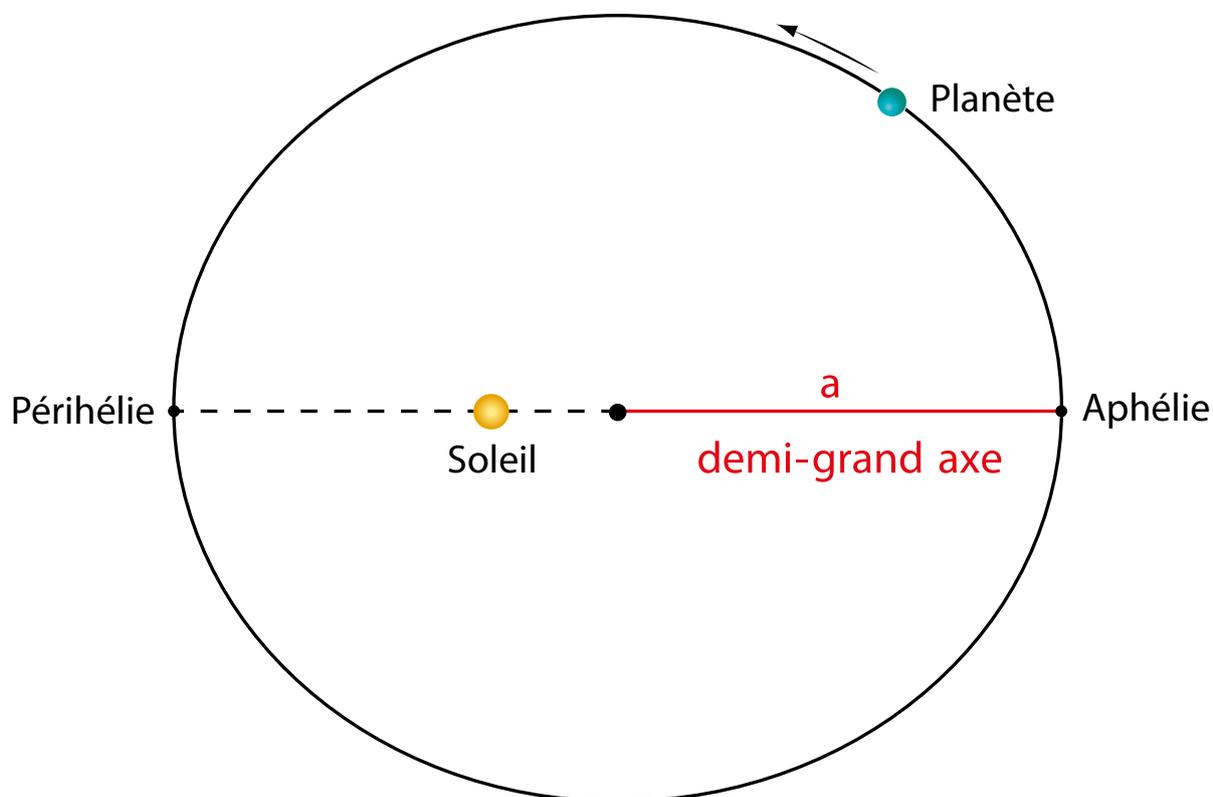
L'aplatissement de l'ellipse est grandement exagéré sur le schéma ci-dessous ; les trajectoires de la plupart des planètes ne diffèrent que de très peu du cercle.

Prenons le cas de la Terre et dessinons son orbite sous la forme d'un cercle de 1 m de rayon. L'ellipse serait contenue dans l'épaisseur du trait ! A l'œil nu, vous ne feriez pas la différence entre ce cercle et l'ellipse décrite par la Terre.

Toutefois, le Soleil n'occuperait pas le centre du cercle de 1 m de rayon, on le trouverait à 1,7 cm de celui-ci.

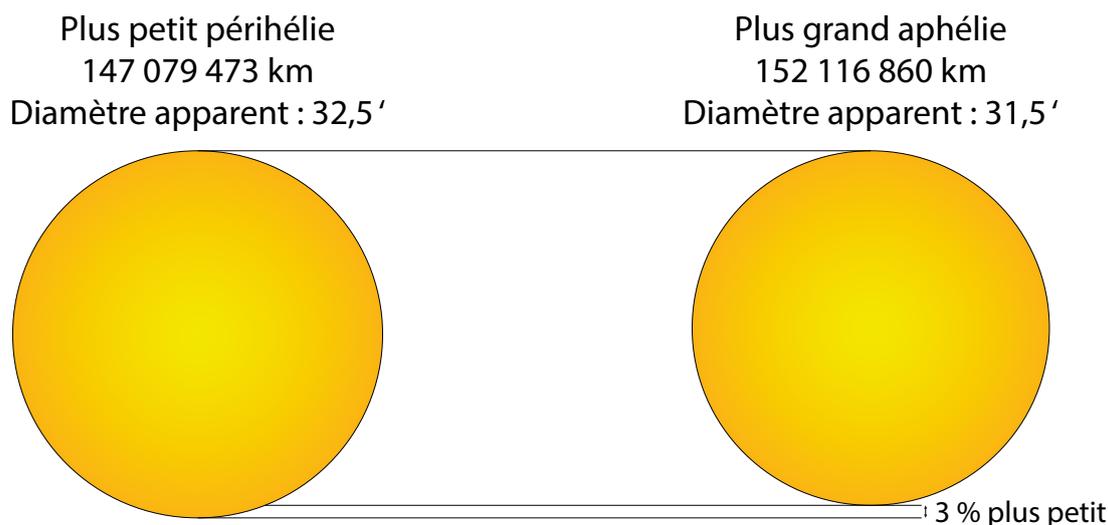
Ainsi, au cours de sa révolution la distance séparant une planète du Soleil varie. Comme nous l'avons vu, **c'est actuellement vers le 3 janvier que la Terre est au plus près du Soleil (au périhélie), à 147,1 millions de kilomètres et vers le 5 juillet qu'elle en est au plus loin (à aphélie), à 152,1 millions de kilomètres.**

Sur la période 1800-2050, les valeurs extrémales du périhélie et de l'aphélie furent atteintes respectivement le 1^{er} janvier 1817 (147 079 473 km) et le 2 juillet 1829 (152 116 860 km). Toutes les distances s'entendent depuis le centre de la Terre jusqu'au centre du Soleil.



Cette variation de la distance qui nous sépare du Soleil se traduit par une variation du diamètre apparent de notre étoile dans le ciel. Elle reste toutefois indécélable à l'œil nu. D'ailleurs, et malgré les apparences, l'angle sous lequel nous voyons le Soleil dans le ciel est petit, proche

d'un demi-degré ($0,5^\circ$ soit $30'$). C'est l'angle sous-tendu par une pièce de 1 euro vue depuis une distance de 2,50 m ! Le diamètre apparent de l'astre du jour varie ainsi d'environ 3 %, entre $31,5'$ à l'aphélie et $32,5'$ au périhélie.



Observer le Soleil à l'œil nu sans protection est dangereux, très dangereux. Le [Syndicat national des ophtalmologistes de France](#) indique que les risques sont de deux natures :

- des lésions cornéennes à type de kératite, douloureuses mais réversibles en quelques jours ;
- des lésions rétiniennes à type de brûlures rétiniennes liées à l'effet thermique du rayonnement solaire et à un effet photochimique sur les cellules rétiniennes particulièrement fragiles. Cet effet peut être irréversible et conduire à une altération définitive de la vue.

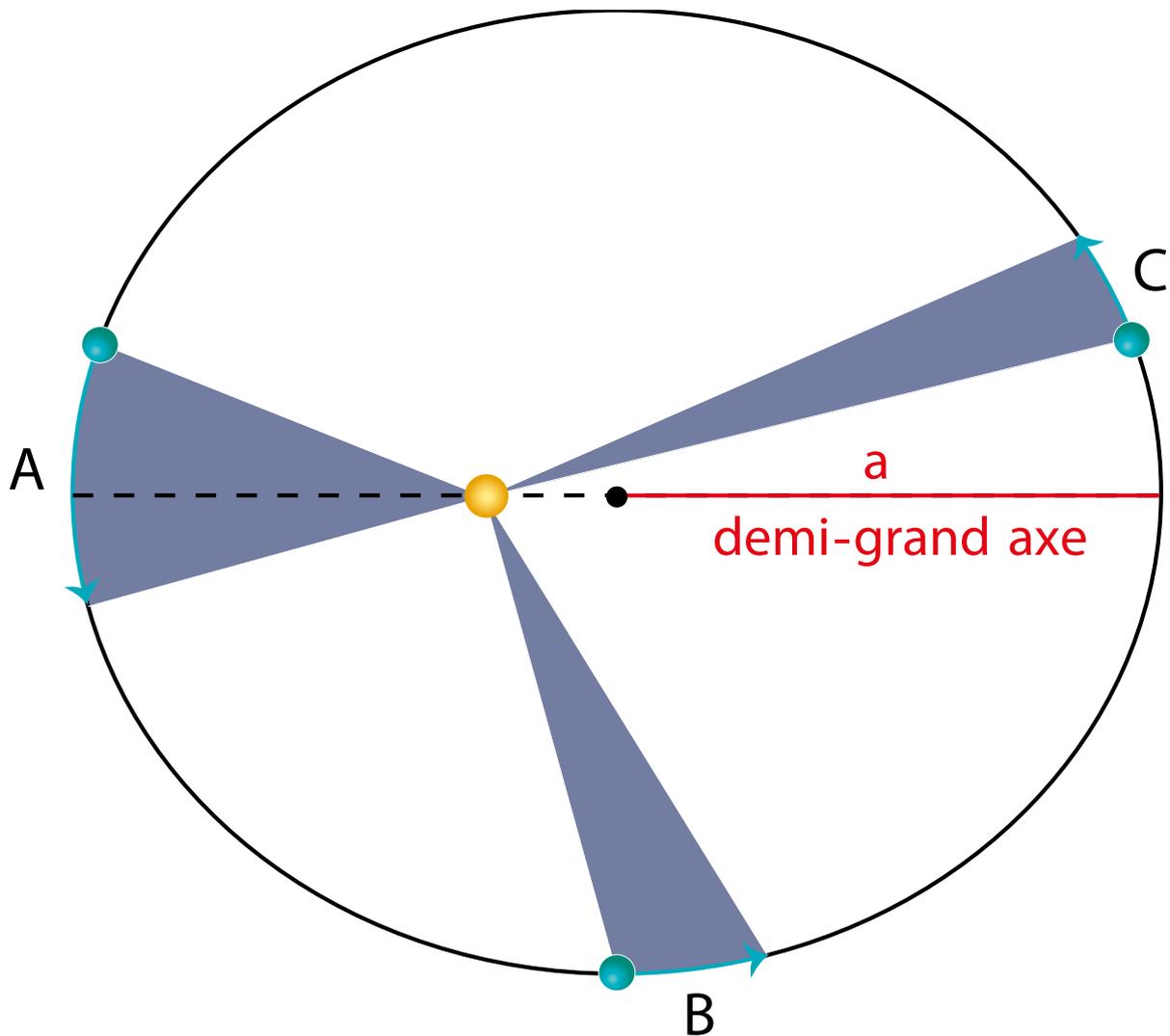
Avec un instrument d'optique, dont la fonction est de concentrer la lumière, la situation peut vite devenir dramatique et un simple regard dans l'oculaire peut

mener à la cécité totale en une fraction de seconde !

Si vous souhaitez observer notre belle étoile à la lunette ou au télescope, il est obligatoire d'utiliser un filtre, à placer avant même l'entrée des rayons lumineux dans l'instrument. Les petits filtres à visser sur les oculaires sont à proscrire impérativement. Les filtres utilisés pour l'observation visuelle du Soleil sont généralement réalisés en films Mylar®, un polymère. De tels filtres, particulièrement opaques, divisent le flux solaire par un facteur supérieur à 100 000. Avec eux, l'observation est sans danger et vous pourrez mettre en évidence les taches solaires. Les filtres *Ha* donnent également accès aux protubérances solaires... mais sont beaucoup plus chers.

La 2^e loi de Kepler nous dit que le rayon vecteur reliant une planète au Soleil balaie des aires égales en des intervalles de temps égaux. Les arcs d'ellipse A, B et C de la figure ci-dessous sont ainsi décrits dans le même temps puisque les surfaces en violet possèdent la même aire.

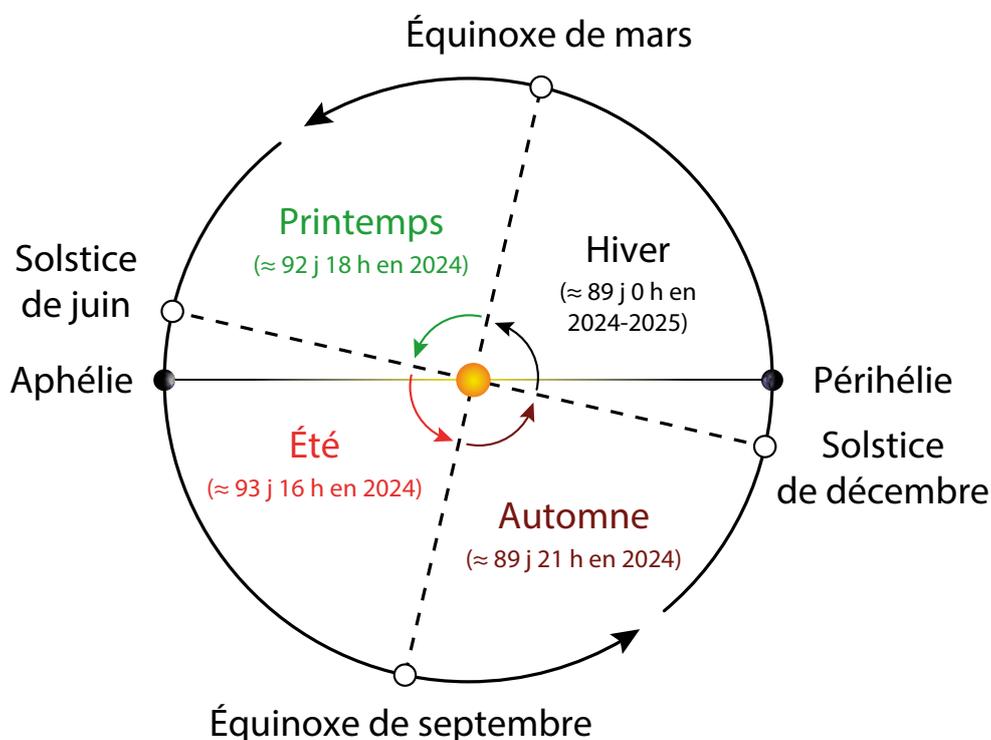
Par conséquent, une planète va d'autant plus vite qu'elle est proche du Soleil et bien sûr, d'autant moins vite qu'elle en est éloignée.



Nous venons de voir que c'est en plein hiver dans notre hémisphère que la Terre est au plus près du Soleil. Elle se déplace donc plus rapidement : l'hiver est la saison la plus courte chez nous, ce que confirme le tableau suivant... et le comptage des jours sur un calendrier.

Saison dans l'hémisphère nord (sud)	Hiver <i>(été)</i>	Printemps <i>(automne)</i>	Été <i>(hiver)</i>	Automne <i>(printemps)</i>
Durée moyenne	89 j 0 h	92 j 18 h	93 j 16 h	89 j 20 h

Voici, vue du dessus, la véritable trajectoire de la Terre autour du Soleil. Sont données la position du périhélie et de l'aphélie et la position de la Terre au début de chaque saison et leur durée approximative en 2024.



4

LE PASSAGE AU PERIHELIE : UNE DATE... FLUCTUANTE

La distance de la Terre au Soleil passe par un minimum au début du mois de janvier. Toutefois, si l'on s'intéresse aux instants où la distance entre les deux astres est minimale, on s'aperçoit que les intervalles de temps entre deux passages consécutifs de la Terre au périhélie ne sont pas constants.

Le tableau ci-contre nous en convaincra.

Année	Date	Heure légale française	Différence
2017	4 janvier	15 h 18 m	363 j 15 h 17 m
2018	3 janvier	6 h 35 m	
2019	3 janvier	6 h 20 m	364 j 23 h 45 m
2020	5 janvier	8 h 48 m	367 j 2 h 28 m
2021	2 janvier	14 h 51 m	363 j 6 h 3 m
2022	4 janvier	7 h 55 m	366 j 17 h 4 m
2023	4 janvier	17 h 17 m	365 j 9 h 23 m
2024	3 janvier	1 h 39 m	363 j 8 h 21 m

Instant de passage de la Terre au périhélie de 2017 à 2024.

Selon les lois de Kepler, l'intervalle de temps entre deux passages consécutifs de la Terre au périhélie devrait être rigoureusement constant. Quelle est donc l'origine des grands écarts que nous venons de mettre en évidence ?

La première cause possible réside dans les perturbations qu'induisent les autres planètes, par leur action gravitationnelle, sur le mouvement de la Terre.

Toutefois, même combinées, ces actions ne conduisent qu'à un retard (ou à une avance) inférieur à 15 minutes par rapport à la moyenne. Elle ne peuvent donc expliquer les variations importantes observées, qui peuvent se monter à plus d'un jour.

... Et si la Lune avait un rôle à jouer ?

Une étude plus précise des lois de Kepler amène à comprendre qu'en première approximation, ce n'est pas la Terre qui décrit une orbite elliptique autour du Soleil, mais le **centre de masse du système Terre - Lune**. La Terre étant plus de 80 fois

plus massive que la Lune, le centre de masse du système se trouve à l'intérieur même de la Terre, à une profondeur d'environ 1700 km, dans la direction de la Lune si l'on observait celle-ci depuis le centre de la Terre.

Le centre de masse G du système Terre - Lune est un point fictif situé sur le segment reliant la Terre T (de masse M_T) à la Lune L (de masse M_L). Vectoriellement, on le définit ainsi : $M_T \mathbf{GT} + M_L \mathbf{GL} = \mathbf{0}$.

Découvrons donc les instants de passage du centre de masse du système Terre - Lune au plus près du Soleil, de 2017 à 2024.

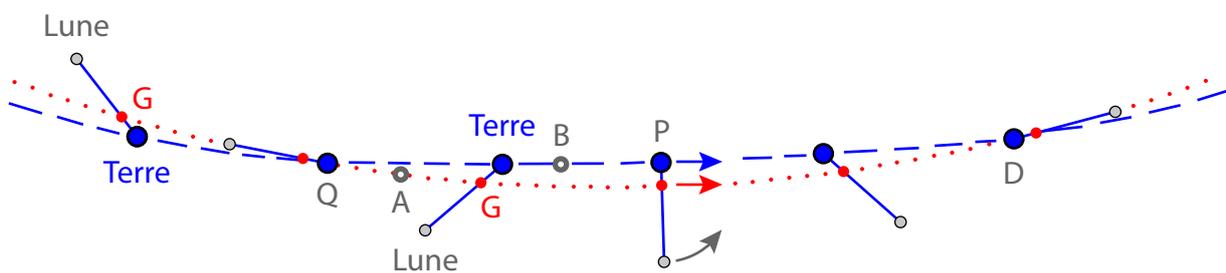
Année	Date	Heure légale française	Différence
2017	3 janvier	8 h 35 m	365 j 6 h 17 m
2018	3 janvier	14 h 52 m	
2019	3 janvier	23 h 20 m	365 j 8 h 28 m
2020	4 janvier	6 h 14 m	365 j 6 h 54 m
2021	3 janvier	12 h 25 m	365 j 6 h 11 m
2022	3 janvier	21 h 15 m	365 j 8 h 50 m
2023	4 janvier	4 h 6 m	365 j 6 h 51 m
2024	4 janvier	6 h 11 m	365 j 2 h 5 m

Instant de passage du centre de masse du système Terre-Lune au périhélie, de 2017 à 2024.

Les déviations importantes que nous avons trouvées ont presque disparu. Cela prouve que la Lune est le principal responsable de leur existence.

En fait, la Lune déforme la trajectoire de la Terre autour du Soleil et la rend légèrement différente de l'ellipse (presque) parfaite qu'elle devrait décrire si nous n'avions pas de satellite.

Le graphique ci-dessous permet de saisir l'origine du problème. Les pointillés rouges matérialisent la trajectoire du centre de masse du système Terre - Lune. Les tirets bleus, eux, matérialisent la trajectoire de la Terre. La Terre et la Lune sont les petits disques respectivement bleu et gris, qui tournent autour de G , centre de masse du système Terre-Lune.



En Q , la Lune est en premier quartier, en P c'est la pleine lune et en D , le dernier quartier. Enfin, le Soleil, non représenté ici, serait en haut, bien au-delà des limites de cette feuille. Pour des raisons de lisibilité, les distances et les tailles respectives des corps célestes ne sont pas à l'échelle.

Supposons que le centre de masse G atteigne le périhélie en A . En cet instant, comme dans le graphique, le centre T de la Terre est encore en approche du Soleil et c'est seulement au point B qu'il en sera au plus près. La distance AB est bien supérieure à la distance TG et elle correspond à un intervalle de temps qui peut être plus grand qu'une journée. Bien évidemment, il est également possible que le point B précède le point A .

Si, à l'instant du passage de G au périhélie, la Lune est proche de la

phase de premier quartier, comme sur notre schéma, la Terre passera au périhélie après que le centre de masse ne le fait. Ce fut le cas en 2020, avec un premier quartier le 3 janvier. Si, au contraire, la Lune est proche de la phase de dernier quartier, le passage de la Terre au périhélie précède celui du centre de masse. Ce sera le cas en 2024, avec un dernier quartier le 4 janvier. Enfin, si G passe au périhélie alors que la Lune est nouvelle ou pleine, la Terre en fera autant presque au même moment.

À savoir : l'attraction gravitationnelle exercée par les planètes déforme également la trajectoire du centre de masse du système Terre - Lune. Et cela explique les petites différences qui subsistent dans la dernière colonne du tableau de la page précédente.

5

SUGGESTION D'ACTIVITES

Dans le document intitulé « **Activités** », vous trouverez plusieurs d'activités qu'il est possible de réaliser en autonomie ou avec l'aide d'un adulte ou d'un enseignant.

Elle s'adressent à différentes tranches d'âge couvrant l'école primaire, le collège et le lycée.

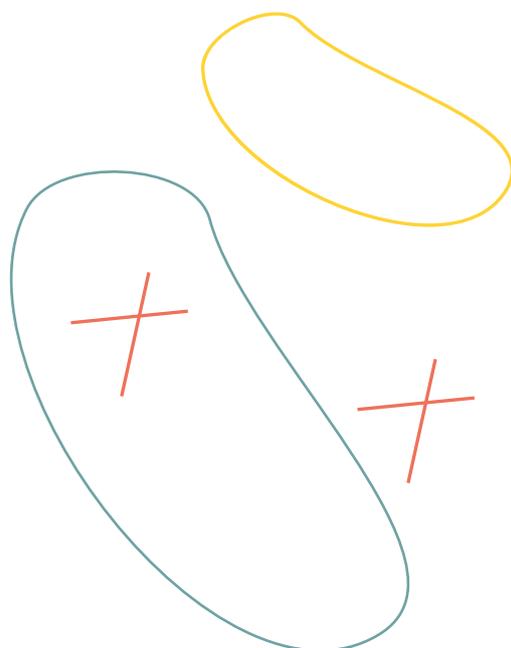
Les plus jeunes découvriront l'inégalité de la durée des saisons à l'aide d'un simple calendrier.

Ils apprennent à construire les ellipses décrites par quelques corps du Système solaire autour du Soleil comme la Terre, Mars, Mercure et... la comète de Halley.

Les collégiens, eux, pourront travailler sur plusieurs méthodes leur permettant de mesurer le diamètre apparent du Soleil, que ce soit pour une date précise ou durant un suivi sur une année scolaire.

Pour finir, **les lycéens** pourront retrouver toutes les valeurs que nous avons données sur le passage de la Terre au périhélie (date et distance au Soleil en cet instant).

Ils pourront aussi déterminer les caractéristiques du passage de la Terre à l'aphélie en juillet 2024... parmi d'autres surprises !



6

RESSOURCES

Bibliographie

J. Meeus, *Mathematical Astronomy Morsels*, éd. Willmann-Bell, 1997. En anglais.

Nous nous sommes inspirés du chapitre 27 de ce livre écrit par un maître de l'astronomie mathématique et sphérique, *On the passages of Earth in perihelion*, pour concevoir la partie n°4 de ce document.

D. Savoie, *Cosmographie. Comprendre les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes*, éd. H&O, 2023.

Les bases indispensables de l'astronomie dite classique, dans un style clair et concis. Un ouvrage doté d'une iconographie très riche.

L. Sarrazin, P. Causeret, *Les saisons et les mouvements de la Terre*, éd. Belin, 2001.

Les auteurs font preuve d'une pédagogie exemplaire pour vous faire comprendre le phénomène des saisons, leur cause et leur conséquences. Là aussi, l'iconographie est de grande qualité. De très nombreuses activités sont proposées.

J. Meeus, *Astronomical Algorithms*, éd. Willmann-Bell, 1998 pour la 2^{de} éd. Si la programmation et la langue anglaise ne vous rebutent pas, vous trouverez ici tout ce qu'il vous faut pour calculer vous-même la position des étoiles, du Soleil, de la Lune et des planètes. Une activité particulièrement gratifiante.

Sitographie

Le site Internet de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE)

<https://www.imcce.fr/>

Quelques pages créées par l'IMCCE, relatives à des points que nous avons abordés dans ce document :

- les lois de Kepler (<https://promenade.imcce.fr/fr/pages3/315.html>) ;
- les saisons (<https://promenade.imcce.fr/fr/pages4/438.html>) ;
- les phases de la Lune (<https://promenade.imcce.fr/fr/pages5/501.html>) ;
- les éphémérides (<https://promenade.imcce.fr/fr/pages3/306.html>).

Département *Éducation et Formation*
Rédaction et graphisme : J. KIEKEN
D'après une maquette originale de H. MALCUIT
Nous contacter :
educ-formation@universcience.fr