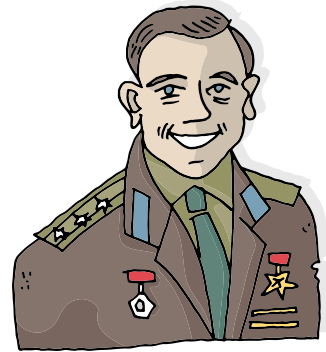


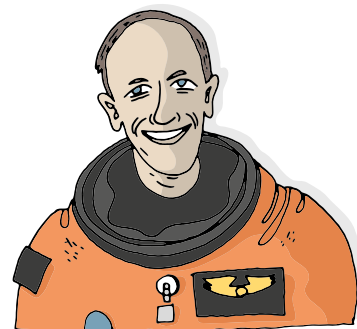
Objectif Terre

Youri Gagarine (1934 – 1968), the Soviet cosmonaut, is the first man to have flown in space during the *Vostok 1* mission, on 12th April 1961. The spaceship *Vostok 1* turned around the Earth in less than two hours at an altitude of about 250 km.



Valentina Terechkova (1937 –), the Soviet cosmonaut, is the first and only woman to have made a solo flight in space, from 16th to 19th June 1963 during the *Vostok 6* mission. She flew forty-eight orbits around the Earth in seventy hours and forty-one minutes.

Claude Nicollier (1944 –) is a *European Space Agency* and *National Aeronautics and Space Administration* astronaut. He is Swiss. He took part in four space flights between 1992 and 1999. His mission in space was to repair the Hubble satellite.

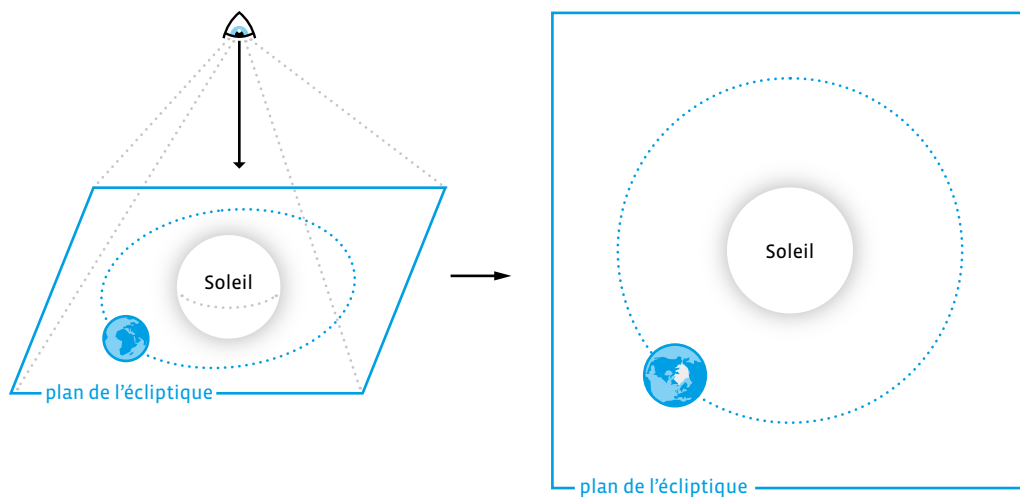




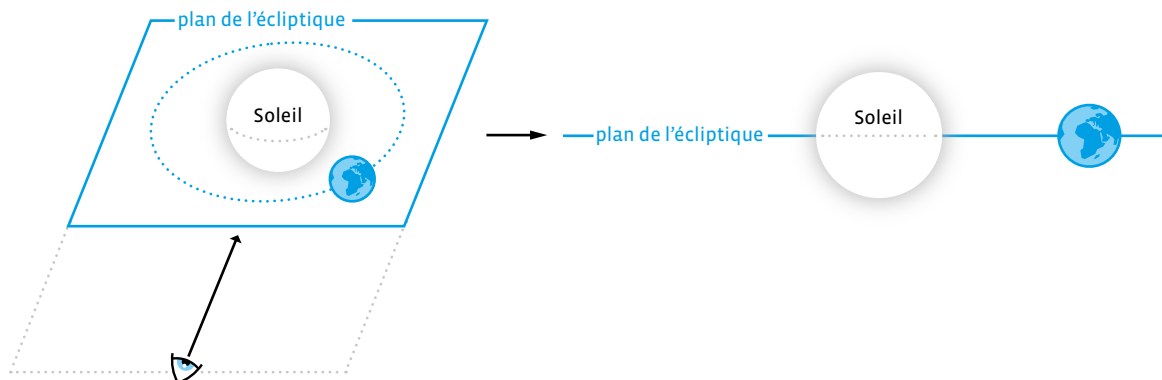
Conventions de lecture des schémas

Afin de faciliter la lisibilité des schémas proposés dans les exercices du chapitre *Astronomie*, nous considérerons que:

«**vue de dessus**» est une vue depuis un point de l'espace situé sur une perpendiculaire au plan de l'écliptique.



«**vue de profil**» est une vue depuis un point situé sur le plan de l'écliptique.



AS 21 ————— Comment tourne-t-elle? —————

L'ouest est le côté de l'horizon où le Soleil se couche.

Définition du *Petit Larousse* 2013.



Quel est le sens de rotation de la Terre?

AS 22 ————— A en perdre la boule —————

Arthur rêve de voyages: Sydney (34° Sud, 155° Est), Rio de Janeiro (23° Sud 43° Ouest), Pékin (40° Nord 116° Est), Tombouctou (16° Nord 3° Ouest)...

Sur un globe terrestre, il place une gommette sur chacune des villes où il rêve d'aller.

Et toi? Où rêves-tu d'aller?



- a. Sur une boule en sagex représentant la Terre, place une épingle sur Lausanne (46° Nord, 6° Est) et une autre sur la destination de ton choix.
- b. Détermine la distance réelle à vol d'oiseau entre Lausanne et ta destination de rêve.



Fuseaux horaires

AS 23

Juliette et Roméo sont partis en voyage le 1^{er} avril. Ils ont décollé de Genève à 19h30, heure locale et sont arrivés à destination le 2 avril à 23h30, heure locale.

Au retour, ils ont décollé le 20 avril à 11h00, heure locale et ont atterri le 20 avril à Genève à 19h00, heure locale.

La durée du vol était la même à l'aller et au retour. L'avion qui a profité de bons vents a volé à la vitesse de 1000 km/h.

Où Juliette et Roméo ont-ils bien pu passer leurs vacances?



189

AS 24 ... AS 25 ... AS 26



Le tour du cercle polaire Arctique

AS 27



Le cercle polaire Arctique est le parallèle situé à 66,5° au nord de l'équateur. En 2004, l'aventurier suisse d'origine sud-africaine **Mike Horn** (1966 -) est parvenu à en faire le tour à pied, à vélo, en kayak, en voilier, à ski et à ski tracté par un cerf-volant en 808 jours.

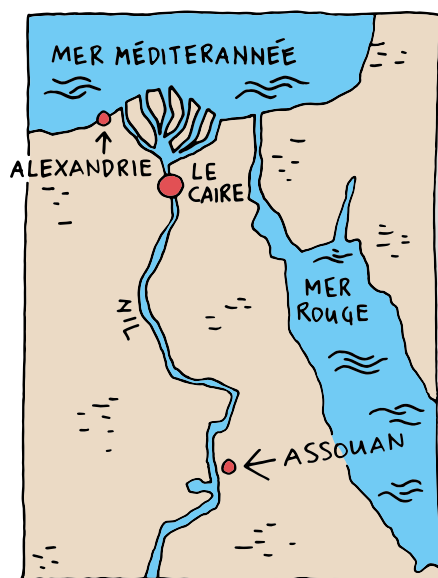
Détermine graphiquement la distance approximative qu'il a parcourue sachant que le rayon de la Terre est d'environ 6400 km.



AS 28 — Sur les pas d'Eratosthène

Platon (427 – 347 av. J.-C.) supposa que la Terre était ronde en observant la coque, puis le mât des bateaux disparaître en s'éloignant à l'horizon.

La première mesure de la circonférence de la Terre est attribuée à l'astronome et géographe Eratosthène (276 – 194 av. J.-C.).



Eratosthène pensait que le Soleil était suffisamment éloigné de la Terre pour pouvoir considérer que ses rayons arrivaient parallèles entre eux en tous points du globe terrestre.

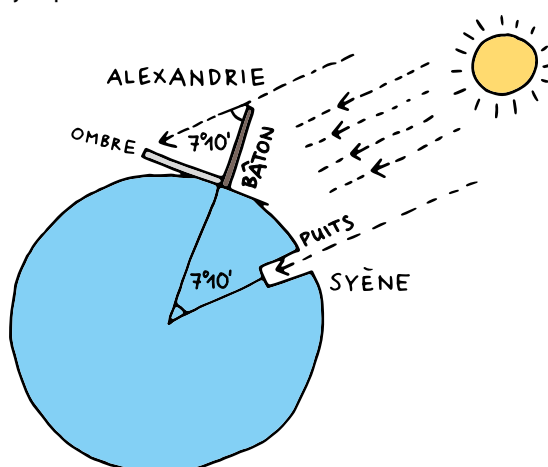
De plus, il apprit par des voyageurs que dans la ville de Syène (aujourd'hui nommée Assouan), proche du tropique du Cancer, le jour du solstice d'été, on pouvait voir à midi le Soleil se projeter au fond d'un puits profond et étroit. Il en déduisit que le jour du solstice d'été, à Syène, un bâton planté verticalement n'a pas d'ombre au midi solaire.

Par contre, il constata qu'au même moment, à Alexandrie, ville éloignée du tropique du Cancer, un bâton planté verticalement avait une ombre. Il attribua cette différence à la rotondité de la Terre et l'utilisa pour calculer la circonférence de notre planète.

Les mesures du bâton planté verticalement et de son ombre permirent à Eratosthène de déterminer l'angle formé par les rayons du Soleil et la verticale, soit environ $7^{\circ}10'$.

Un bématisse, personne mesurant les distances en comptant son nombre de pas, estima la distance entre Alexandrie et Syène à environ 5000 stades.

L'ensemble de ces mesures permit à Eratosthène de calculer la valeur de la circonférence de la Terre. Cette valeur fut utilisée jusqu'au XVII^e siècle.



Comme Eratosthène, détermine la circonférence de la Terre sachant que la longueur d'un stade égyptien est estimée à 157,5 m.



Elle me fait tourner la tête

AS 29

Calcule la vitesse de rotation de la Terre à l'équateur ainsi que sa vitesse de révolution autour du Soleil.

Satellites géostationnaires

AS 30

Quand on lance un caillou vers le ciel, il retombe sur la Terre. Newton obtint le même résultat avec une pomme!

Les hommes sont pourtant parvenus à aller sur la Lune ou à expédier des sondes sur Mars ou aux confins de notre système solaire!

Cela est possible car les fusées peuvent atteindre une vitesse suffisante pour quitter l'attraction de la Terre; c'est ce qu'on appelle la vitesse de libération.

Les satellites géostationnaires sont utilisés pour la diffusion de la télévision ou pour les communications. Ils sont placés à la verticale d'un point de l'équateur.

Quelle doit être la vitesse d'un tel satellite se trouvant à 35 784 km au-dessus de la surface de la Terre?

Objectif Lune



Carte de la Lune de Jean Dominique Cassini, 1680.

192

La Lune comme la Terre et les autres planètes du système solaire sont âgées d'environ 4,5 milliards d'années. Dès 1975, l'hypothèse sur la formation de la Lune la plus vraisemblable pour les planétologues est une collision entre la jeune Terre et un corps rocheux de la taille de Mars. La collision tangentielle aurait scalpé la Terre et les débris de la Terre et du corps rocheux se seraient dispersés en anneau autour de la Terre avant de s'agglomérer pour donner naissance à la Lune. Pour valider cette hypothèse, la composition de la Lune devrait être à la fois proche de celle de la Terre mais également comporter des différences provenant de la composition du corps rocheux.

Les analyses chimiques des roches terrestres et lunaires s'avèrent très similaires, trop similaires.

Les chercheurs ont remis l'ouvrage sur le métier. Certains pensent que la vitesse de rotation de la Terre, inférieure à 3 heures par jour, à ce moment-là, l'aurait déformée en ellipsoïde. Dans cette configuration, une collision avec un corps rocheux aurait suffi à éjecter principalement du matériau provenant de la Terre, alors que le corps rocheux aurait été entièrement absorbé par notre planète.

Comme tu le vois, l'origine de la Lune est encore un sujet de recherche actuel.



Un mini système Terre – Lune

AS 31

Si la Terre était un ballon de foot, quelle serait la taille de la Lune?
Quelle distance les séparerait? Où se situerait le Soleil?

AS 32 ... AS 33



Comme Aristarque de Samos

AS 34

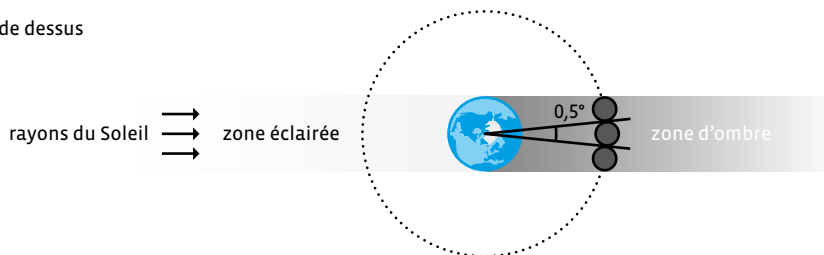
Dans l'ouvrage *Des dimensions et des distances du Soleil et de la Lune*, l'astronome et mathématicien grec Aristarque de Samos (310–230 av. J.-C.) donne une méthode géométrique pour calculer les distances de la Lune et du Soleil à la Terre.

a. Mesure de la distance Terre – Lune

En observant une éclipse de Lune, Aristarque de Samos affirma que la Lune peut se reporter trois fois dans la zone d'ombre située derrière la Terre. Cette zone ressemble à un cylindre compte tenu de l'éloignement du Soleil.
Ainsi Aristarque de Samos en conclut que le rayon de la Lune est égal au tiers de celui de la Terre.
Il mesura également que le diamètre de la Lune correspond à une ouverture d'un demi-degré sur son compas.

Mesure la distance Terre – Lune.

vue de dessus



193

b. Mesure de la distance Terre – Soleil

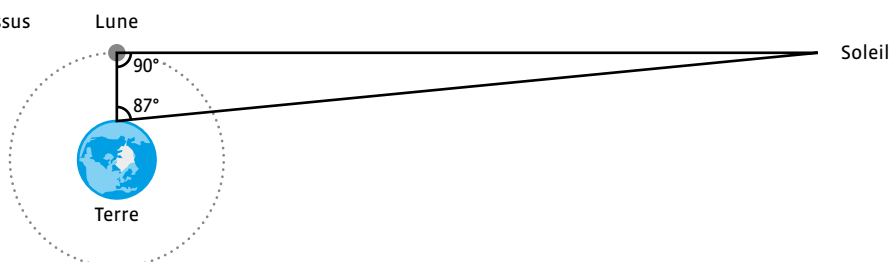
Au premier ou au dernier quartier de Lune, Aristarque de Samos estima que l'angle Soleil – Lune – Terre est de 90° . Il mesura ensuite l'angle Soleil – Terre – Lune et obtint 87° .

Par construction, détermine quelle distance Aristarque de Samos a trouvée entre le Soleil et la Terre.

Compare cette distance à celle connue aujourd'hui.

Indication: Travaille sur une feuille A3. Fixe la distance Terre – Lune à 1 cm.

vue de dessus

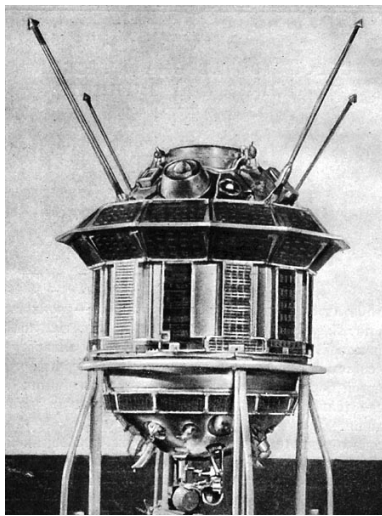


AS 35 — La face cachée de la Lune

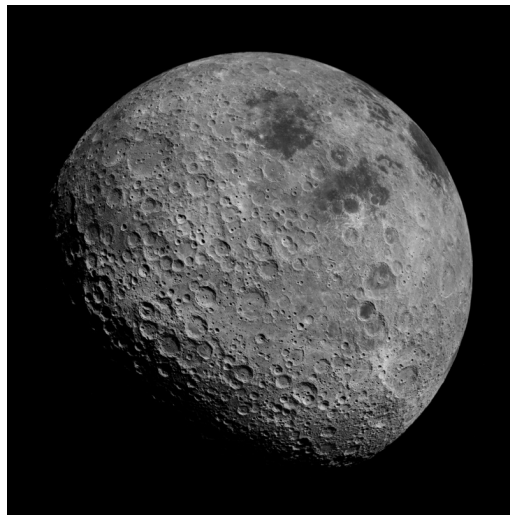
La Lune est le satellite naturel de la Terre.

Compare sa période de rotation et sa période de révolution puis explique, à l'aide d'un schéma, pourquoi la Lune nous montre toujours la même face.

La Lune n'a pas toujours eu un mouvement synchrone avec la Terre.
Au début de sa formation, on pouvait la voir sous toutes les coutures.
C'est le phénomène des marées qui freine la Lune et la force à
«se tenir face à face» avec la Terre.

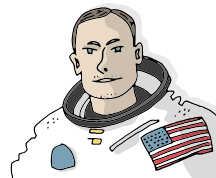
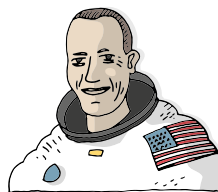


Les premières images de la face cachée de la Lune ont été prises par la sonde *Luna 3*, une sonde soviétique, en 1959.



Face cachée de la Lune prise par *Apollo 16* en 1972.
Les missions *Apollo* faisaient partie du programme spatial américain.

AS 36 — Réflecteur lunaire

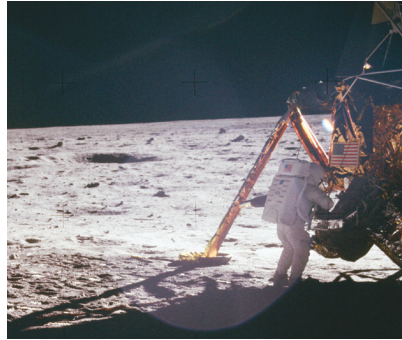


Au cours de la mission *Apollo 11*, en 1969, les astronautes américains **Edwin Aldrin** (1930 –) et **Neil Armstrong** (1930 – 2012) ont déposé un réflecteur de rayons laser sur la surface de la Lune. Un tir de rayon laser, effectué par un télescope depuis la Terre, a permis de mesurer la durée t d'un aller-retour du rayon de lumière.

Détermine la distance Terre – Lune, sachant que $t = 2,58\text{s}$.



Lorsque Neil Armstrong (1930–2012) a fait le premier pas sur la Lune, le 21 juillet 1969, dans le cadre de la mission *Apollo 11*, il s’est exclamé : «Un petit pas pour l’homme, un pas de géant pour l’Humanité.» Il a effectué, avec son coéquipier Edwin Aldrin (1930–), une sortie de 2 h 30 sur la Lune et y a parcouru 250 mètres pour y prélever plus de 21 kg de roches. La durée totale du voyage vers la Lune, puis vers la Terre a duré huit jours. Le programme *Apollo* aura permis en six missions à douze astronautes de laisser leurs empreintes à la surface de la Lune.



AS 37 TP



Les phases de la Lune

AS 38

195

Ces dernières semaines, des photos de la Lune ont été prises tous les quatre jours en commençant une nuit de pleine Lune. Elles ont ensuite été mélangées.



Peux-tu les remettre dans l'ordre?

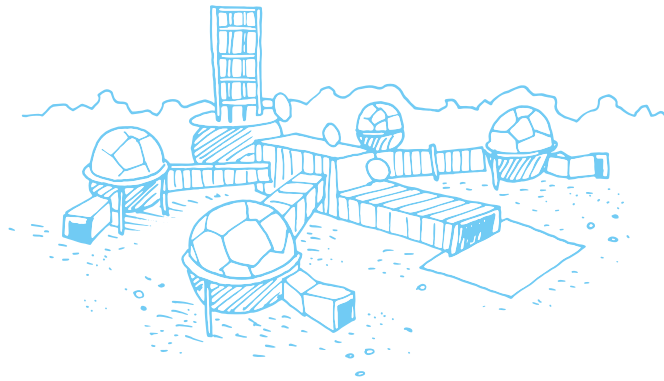
AS 39 ... AS 40



Water on the Moon?

The names of the seas which are situated on the Moon are: Sea of Tranquility, Sea of Serenity, Sea of Fecundity, Sea of Crisis, Sea of Cleverness, Sea of Vapors, Sea of Cold, Sea of Showers, Sea of Clouds, Ocean of Storms... But these seas haven't got any water! They are actually craters.

Actuellement, des missions sont prévues pour déterminer si l'on trouve de l'eau sur la Lune. Ceci faciliterait l'implantation d'une base lunaire à partir de laquelle pourraient partir des missions vers Mars!



AS 41 ————— Est-ce possible? —————

196



Que penses-tu de ces deux images? Justifie ta réponse.

«La preuve que la Lune est habitée, c'est qu'il y a de la lumière.»

Francis Blanche (1921-1974), auteur, acteur et humoriste français.



AS 42 ... AS 43



Du présage à l'observation scientifique

Sous le règne de **Nabonassar**, roi de Babylone de 747–734 av. J.-C., l'archivage systématique des observations astronomiques est jugé très important pour les présages. On peut considérer cette époque comme l'origine de l'accumulation de données fiables en astronomie.

On découvre de nouveaux cycles lunaires et solaires. On répertorie le passage des comètes, nommées «oiseau de la mort» en raison du «mauvais présage» qui leur est associé.

En utilisant les observations accumulées par les astronomes de Babylone, l'astronome, géographe et mathématicien grec Hipparque de Nicée (190–120 av. J.-C.) est le premier à proposer des modèles précis du mouvement de la Lune et du Soleil. De présages, les éclipses passent au rang de phénomènes scientifiques.



Le Soleil a rendez-vous avec la Lune

AS 44

Dans la bande dessinée *Le Temple du Soleil*, Tintin se joue de la crédulité des Incas en s'adressant au Soleil et en lui demandant de se «voiler la face». Le Soleil a tout simplement rendez-vous avec la Lune.

Le professeur Tournesol a certainement profité de l'occasion pour déterminer le diamètre du Soleil, lui qui connaît les distances Terre–Lune (~384 000 km), Terre–Soleil (~150 millions de km) et le rayon de la Lune (~1700 km).

Quel est le diamètre du Soleil?

197

La Lune s'éloigne de la Terre à la vitesse d'environ quatre centimètres par année. Selon les scientifiques, les marées créent une force qui engendre cet éloignement.

Ainsi dans quelques millions d'années, la Lune sera plus éloignée, et on ne pourra plus observer d'éclipse totale de Soleil depuis la Terre.

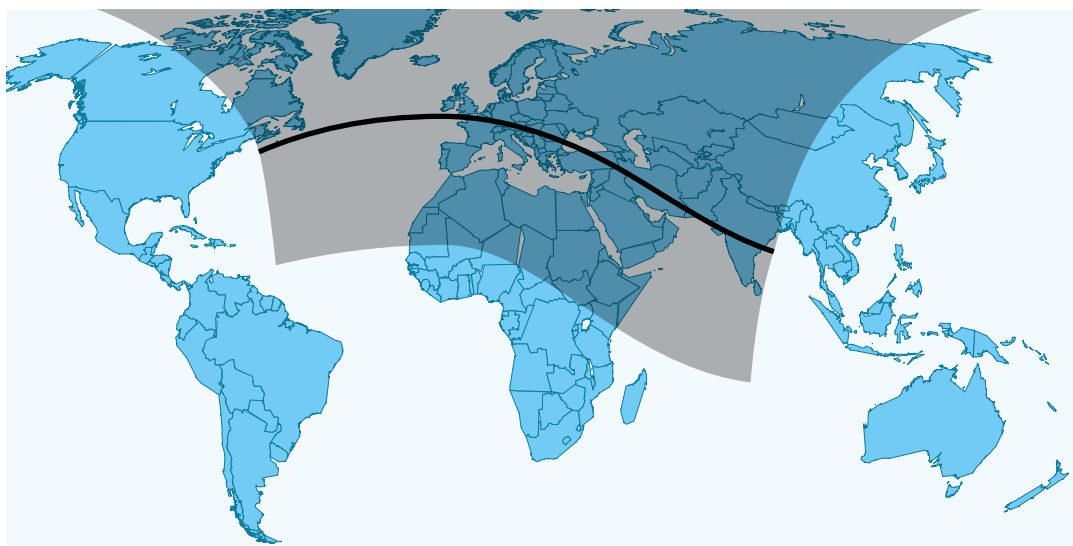


AS 45 ... AS 46



Chaque année, il se produit entre quatre et sept éclipses, dont deux à cinq de Soleil. Les éclipses de Soleil ne sont visibles que depuis une surface très limitée de la Terre. Ainsi, en un lieu fixe, comme en Suisse par exemple, on ne peut se trouver dans la zone d'ombre et observer une éclipse totale de Soleil que tous les 370 ans environ!

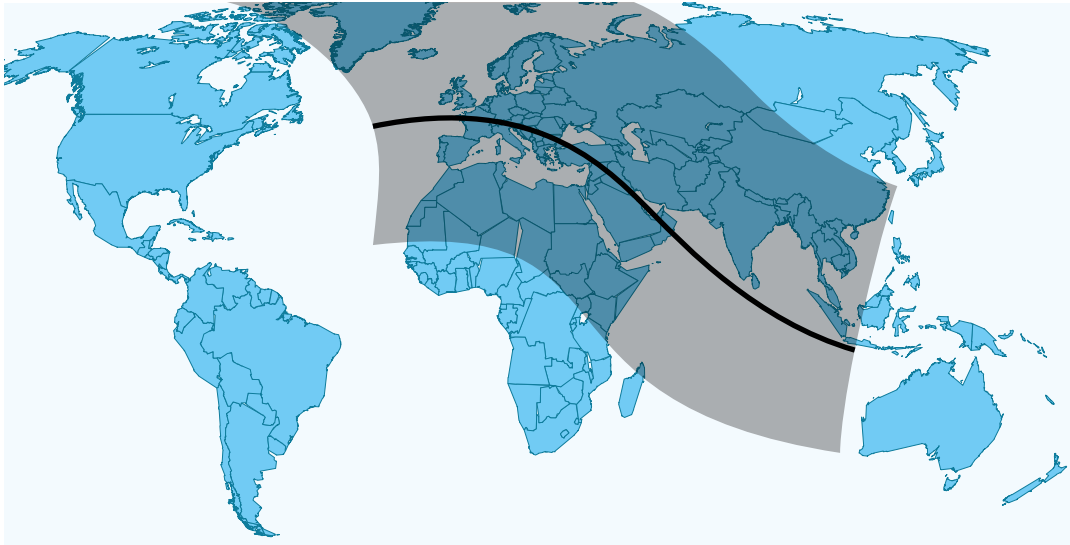
Les cartes ci-dessous représentent les zones d'ombre et de pénombre de diverses éclipses.



Eclipse totale du 11 août 1999.



Eclipse annulaire du 26 janvier 2028.



Eclipse totale du 3 septembre 2081.

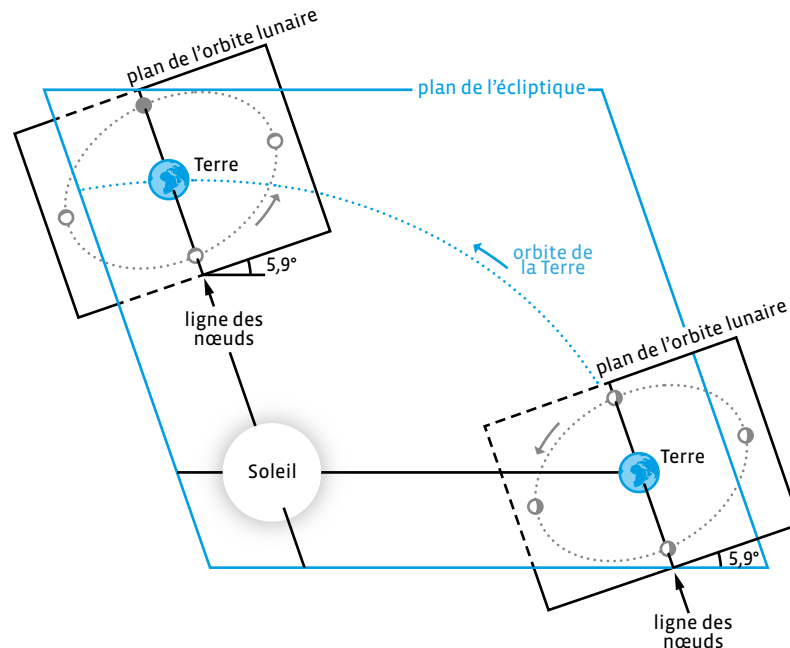
Au début de l'après-midi du 11 août 1999, la population suisse s'était équipée de lunettes spéciales pour observer l'éclipse.

- a. Qu'en sera-t-il en 2028 et en 2081?
- b. Et pour un observateur situé en Espagne, aux Bahamas, au Brésil, à Java?
- c. Si le 3 septembre 2081, un habitant d'Helsinki illustre en cinq images les étapes de l'éclipse de Soleil telle qu'il la voit, que représentera-t-il?



AS 49 ———— Eclipse de Lune ————

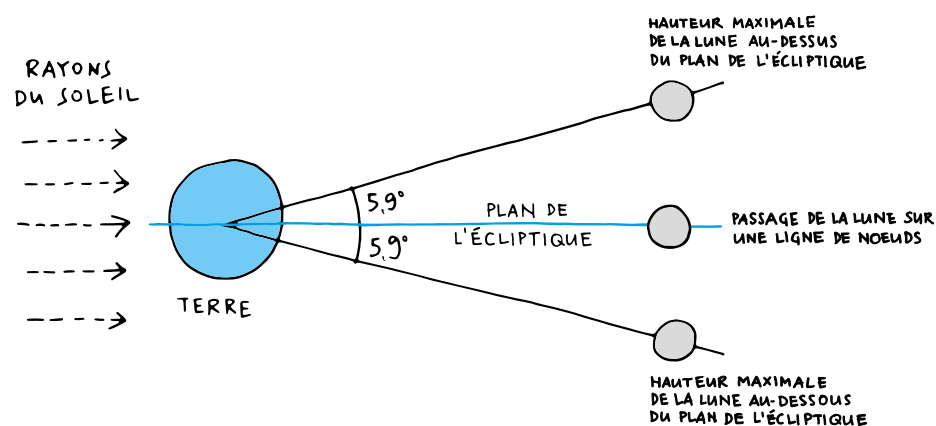
Le plan orbital de la Lune forme un angle de $5,9^\circ$ avec le plan de l'écliptique. Ainsi selon la « hauteur » de la Lune par rapport au plan de l'écliptique, l'éclipse peut être totale, partielle ou par la pénombre. Il se peut également que la Lune passe au-dessus de la zone de pénombre; dans ce cas, on n'observe pas d'éclipse de Lune.



Sophie a dessiné le croquis ci-dessous pour expliquer à Nicolas pourquoi on n'observe pas d'éclipse de Lune à chaque passage de la Lune « derrière » la Terre.

Nicolas reste dubitatif. Il lui indique que l'angle de $5,9^\circ$ est largement surdimensionné sur son schéma.

vue de profil



- Construis le même schéma que Sophie, mais à l'échelle cette fois-ci, sur une feuille A3.
- Explique pourquoi on peut observer des éclipses de Lune totales, partielles, par la pénombre ou pas d'éclipse du tout.



Voici deux photos prises depuis la Terre lors d'éclipses.



- a. A quelle sorte d'éclipse correspondent-elles?
- b. Pour chaque photo, précisez ce que représente la zone noire ou grisée?
- c. Quelle est la phase de la Lune lors d'une éclipse lunaire?
- d. Quelle est la phase de la Lune lors d'une éclipse solaire?
- e. Puisque la Lune tourne autour de la Terre en un peu moins d'un mois, pourquoi n'observe-t-on pas une éclipse de Lune et une éclipse de Soleil chaque mois?

AS 51 — Le cycle de Saros

Méton (vers 430 av. J.-C.) a observé que la Lune retrouvait la même position dans le ciel, en présentant la même phase, après 235 lunaisons. Ce cycle fut utilisé pour «régler» les calendriers car il correspond à un nombre entier d'années, soit dix-neuf ans. Ainsi les lunaisons recommencent aux mêmes dates. Le cycle de Méton est utilisé pour prédire les dates des éclipses de Lune, mais il est peu précis pour prédire celles de Soleil.

Dans ce cas, on lui préfère le cycle de Saros qui dure 223 lunaisons, c'est à dire à 6585,32 jours.

- a. A combien d'années, jours et heures, un cycle de Saros correspond-il?
- b. La dernière éclipse totale de Soleil partiellement visible en Suisse a eu lieu le 11 août 1999. Calcule la date de la prochaine éclipse séparée d'un cycle de Saros par rapport au 11 août 1999.
- c. Voici les prévisions des zones d'ombre et de pénombre sur la Terre correspondant à cette éclipse.
Comment l'expliques-tu?





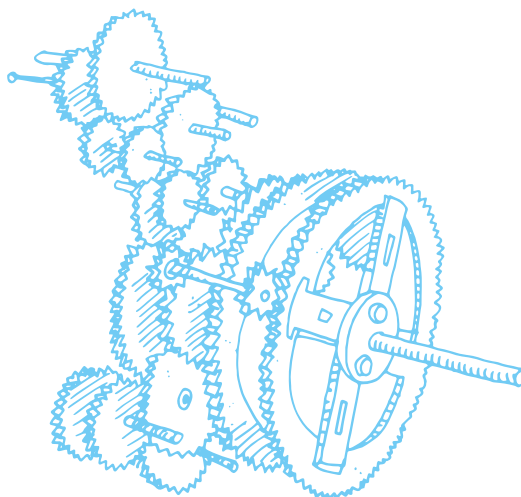
La machine d'Anticythère

C'est au début du XX^e siècle, lors de la découverte d'une épave au large de l'île grecque d'Anticythère, que l'on a mis à jour un mécanisme en bronze comprenant des dizaines de roues dentées, solidaires, disposées sur plusieurs plans.

Cette machine aurait disparu lors d'un naufrage en 87 av. J.-C. et serait une véritable horloge astronomique, dédiée aux mouvements de la Lune et du Soleil et capable de prédire les éclipses.

Les engrenages font notamment intervenir les nombres 19 (nombre d'années du cycle de Méton), 235 (nombre de lunaisons du cycle de Méton) et 223 (nombre de lunaisons du cycle de Saros).

L'identité du concepteur est débattue. Est-ce Archimède, Hipparque de Nicée ou Posidonios?



Voyage dans le système solaire

204



L'astromobile *Curiosity* en mission sur Mars.

Next stop: Mars!

First the Moon, then Mars... Human beings dream of discovering new territories!

In 2012, the *Curiosity* rover analysed the soil of Mars and sent its results back to Earth. In 2013, *Curiosity* discovered that there was a fresh water lake on Mars. And maybe a microbial life!



Satellite fictif

AS 52

Eurêka est un satellite fictif de $3,376 \cdot 10^3$ km de rayon qui orbite à $9,453 \cdot 10^4$ km de la Terre.

- Représente, sur une feuille A4, le système *Eurêka* – Terre en les réduisant à l'échelle adéquate, de taille et de distance, de sorte que ces deux astres soient le plus grand possible. Indique l'échelle utilisée.
- Combien de temps la lumière met-elle pour parcourir la distance entre la Terre et *Eurêka*?

Adieu Pluton

AS 53

Découverte en 1930, Pluton a vu son statut de planète du système solaire plusieurs fois menacé.

En 2005, la découverte d'Eris, un astre situé plus loin que Pluton, orbitant autour du Soleil, d'un diamètre et d'une masse légèrement supérieurs à ceux de Pluton, relance le débat.

Le 24 août 2006, l'*Union astronomique internationale* décide d'évincer Pluton de la liste des planètes du système solaire et de la considérer désormais comme une planète naine.

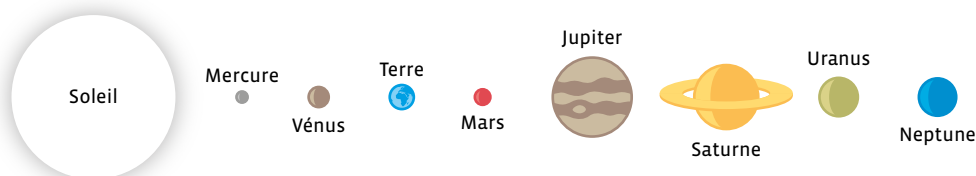
La phrase...

MERCURE VÉNUS TERRE MARS JUPITER SATURNE URANUS NEPTUNE PLUTON
MON VAISSEAU TE MÈNERA JUSQUE SUR UNE NOUVELLE PLANÈTE

205

... permettant de se souvenir de l'ordre dans lequel se trouvent les planètes devient alors obsolète.

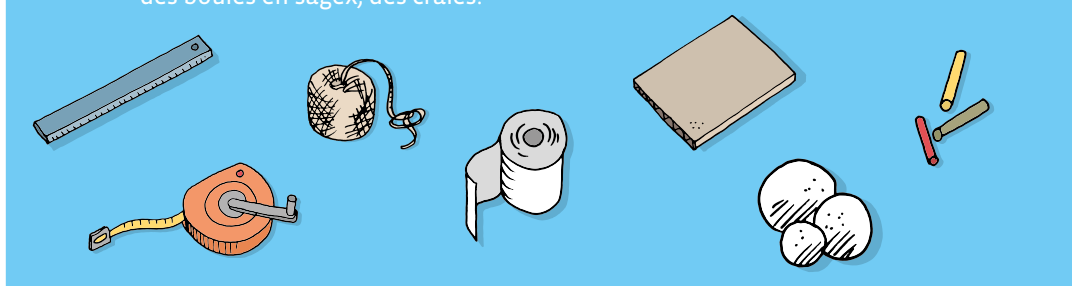
Invente une phrase mnémotechnique correspondant à ce «nouveau» système solaire.



AS 54 — Le système solaire à l'échelle de l'école

Réaliser un système solaire à l'échelle dans sa salle de classe, dans un long couloir ou dans la cour

Matériel: une règle, un ruban métrique, de la ficelle, du carton, un rouleau de papier toilette, des boules en sagex, des craies.



- Imagine un dispositif permettant de représenter le système solaire à l'échelle. Peux-tu prendre la même échelle pour la taille des planètes que pour les distances les séparant ?
- Réalise ton système solaire à l'échelle et indique précisément la ou les échelles choisies.

AS 55 — Huit minutes de Soleil

La lumière du Soleil met 8 minutes et 17 secondes pour atteindre la Terre.

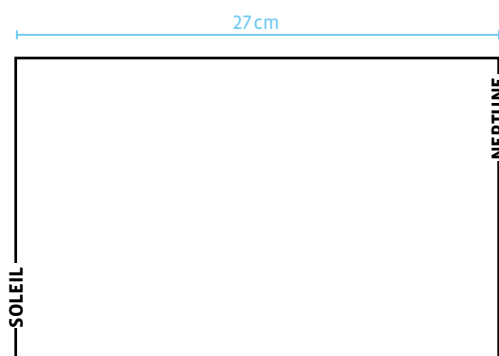
Quelle est la distance Terre-Soleil ?

AS 56 — Le système solaire sur une feuille A4

Sur une feuille A4, place deux segments horizontaux distants de 27 cm, l'un représentant le Soleil et l'autre Neptune.

Pour chaque planète du système solaire, trace un segment vertical correspondant à son emplacement entre le Soleil et Neptune.

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distance au Soleil réelle [m]	$5 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$7,8 \cdot 10^{11}$	$1,42 \cdot 10^{12}$	$2,88 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{12}$





Rêve d'un voyage dans le système solaire AS 57

Départ: 1^{er} janvier de l'an prochain

Point de départ: La Terre

Vitesse de la fusée: 40 000 km/h

Détermine le jour d'arrivée sur deux planètes de ton choix, une tellurique et une gazeuse.

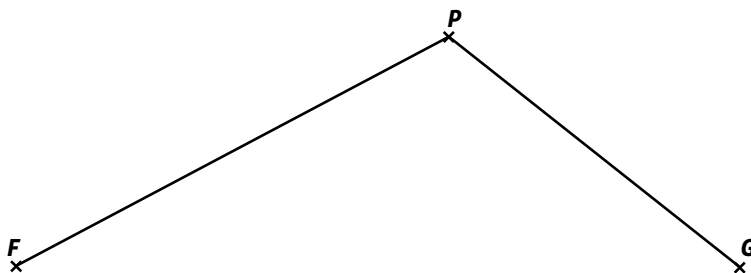
Arrondis la distance te séparant des planètes choisies à dix milliards de mètres près et ne tiens pas compte des années bissextiles.

En réalité le problème est beaucoup plus complexe car la Terre ainsi que les planètes sont en constant mouvement.

L'ellipse AS 58

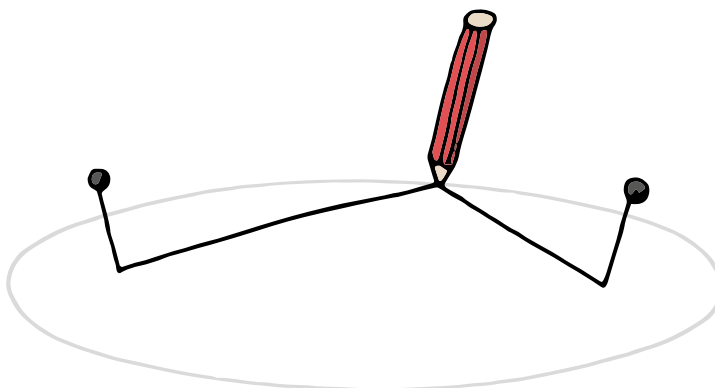
La trajectoire des planètes autour du Soleil n'est pas circulaire mais elliptique.

L'ellipse est le lieu géométrique des points dont la somme des distances à deux points fixes **F** et **G**, appelés foyers, est constante. En d'autres termes, pour n'importe quel point **P** de l'ellipse, la somme des distances **PF** + **PG** donne toujours le même résultat.



207

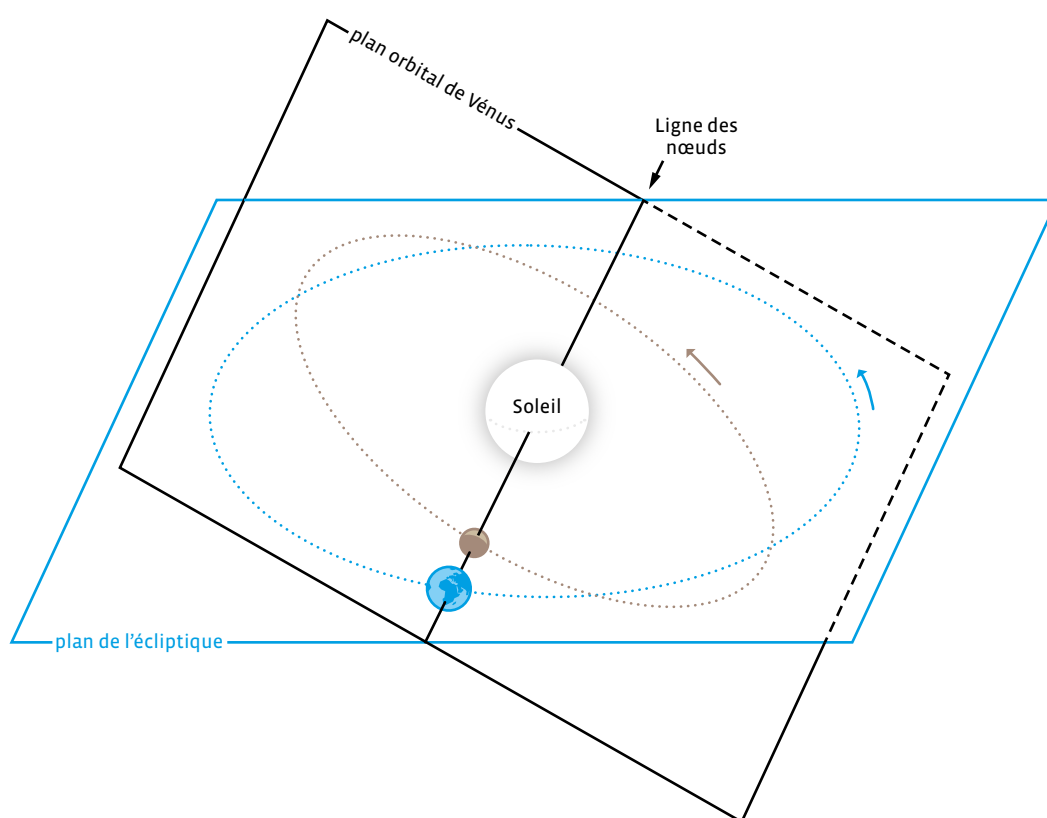
- Construis point par point l'ellipse de foyers **F** et **G** distants de 8 cm et dont la somme **PF** + **PG** = 12 cm
- Construis cette ellipse en fixant une ficelle de 12 cm aux deux points **F** et **G** à l'aide d'épingles par exemple et en faisant glisser ton crayon le long de la ficelle de sorte à ce qu'elle soit toujours tendue.
On appelle cette façon de faire la *méthode du jardinier*.



AS 59 — L'étoile du berger

La planète Vénus, appelée «étoile du berger», est souvent visible au petit matin ou au coucher du Soleil.

- En comparant la période sidérale de Vénus avec celle de la Terre, détermine combien de fois Vénus dépasse la Terre en 10 ans.
- Pourtant, durant ce siècle, on n'a pu observer le passage de Vénus devant le Soleil que le 8 juin 2004 et le 6 juin 2012. On parle de transit de Vénus devant le Soleil. Pour la Terre, 8 ans se sont écoulés entre ces deux passages, qu'en est-il en années vénusiennes?



Le plan orbital de Vénus étant incliné par rapport à celui de la Terre, les passages de Vénus devant le Soleil ne peuvent se voir que lorsque la Terre, Vénus et le Soleil sont alignés sur la ligne des nœuds.



AS 60 ... AS 61

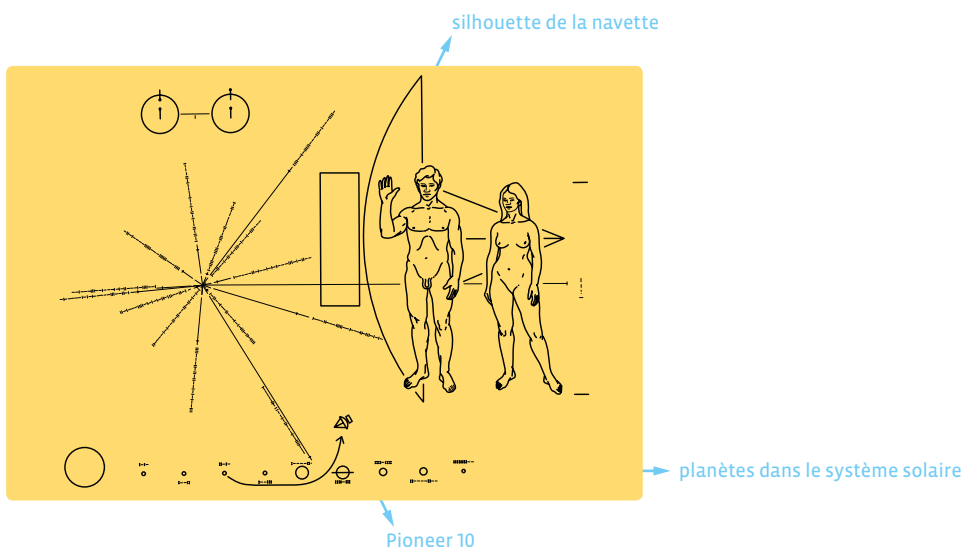


La sonde *Mars Science Laboratory (MSL)* a pour mission l'exploration de la planète Mars à l'aide d'un astromobile développé par la *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*. Cette sonde spatiale a été lancée le 26 novembre 2011 et s'est posée sur le sol martien, dans le cratère *Gale*, le 6 août 2012. La distance parcourue par la sonde *MSL* est de 570 millions de kilomètres environ.



La surface de Mars.

- Calcule la vitesse moyenne de la sonde *MSL* en km/h.
- L'astromobile baptisé *Curiosity* a permis de prendre des photos du sol martien. Mars se situe à une distance de la Terre variant de $5,6 \cdot 10^7$ km à $4 \cdot 10^8$ km. Sachant que l'information se déplace à la vitesse de la lumière dans le vide, combien de temps faut-il au maximum et au minimum pour envoyer une image de Mars à la Terre?



Pioneer 10, la sonde spatiale lancée le 2 mars 1972, nous a envoyé son dernier signal le 23 janvier 2003. Elle continue néanmoins sa course hors du système solaire, porteuse d'un message gravé sur une plaque, expliquant qui nous sommes et où nous sommes.

AS 63 — Les lois de Kepler

Fort des observations de ses prédécesseurs, **Johannes Kepler** (1571–1630) est parvenu à expliquer les mouvements des planètes autour du Soleil. Ses résultats constituent ce que l'on appelle «les trois lois de Kepler».

**Première loi – Loi des orbites**

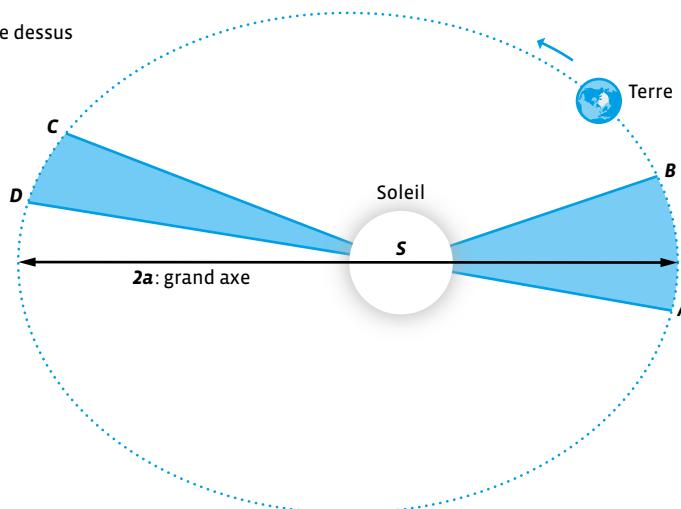
Chaque planète du système solaire décrit une ellipse autour du Soleil qui se situe sur l'un de ses foyers. Cette ellipse est plus ou moins aplatie.

Deuxième loi – Loi des aires

La vitesse de chaque planète sur son orbite n'est pas constante; plus la planète est proche du Soleil, plus elle va vite. En effet, l'aire balayée par le rayon de la trajectoire est constante par unité de temps.

Ci-dessous la Terre parcourt **AB** et **CD** dans le même intervalle de temps, ainsi elle se déplace plus rapidement entre **A** et **B** qu'entre **C** et **D**. Les aires des surfaces **SAB** et **SCD** sont égales.

vue de dessus

**Troisième loi – Loi des périodes**

Le carré de la période de révolution T est proportionnel au cube du demi-grand axe a de l'orbite.

Ainsi le rapport $\frac{T^2}{a^3}$ est **constant** quelle que soit la planète du système solaire.

- Vérifie que le quotient $\frac{T^2}{a^3}$ est constant pour l'ensemble des planètes du système solaire.
- La troisième loi est valable pour les planètes tournant autour du Soleil, et elle l'est également pour tout astre ou satellite artificiel tournant autour d'un autre astre. Calcule la constante qui correspond au système Terre–Lune.
- Quelle est l'altitude d'un satellite géostationnaire?



Fin septembre 2013, après de longs mois de tergiversations, la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) a annoncé que la sonde *Voyager 1* avait franchi les frontières du système solaire.

Lancée en 1977, *Voyager 1* avait pour mission d'étudier les planètes géantes du système solaire, ce qu'elle a fait avec brio. Après avoir dépassé Jupiter en janvier 1979, puis Saturne en novembre 1980, *Voyager 1* a poursuivi son voyage vers les confins du système solaire, jusqu'à atteindre sa frontière, à 18 milliards de kilomètres de nous.

Pour communiquer, la sonde dispose d'une antenne de plus de 10 mètres et il faut toute la puissance des antennes de la NASA pour percevoir son signal.

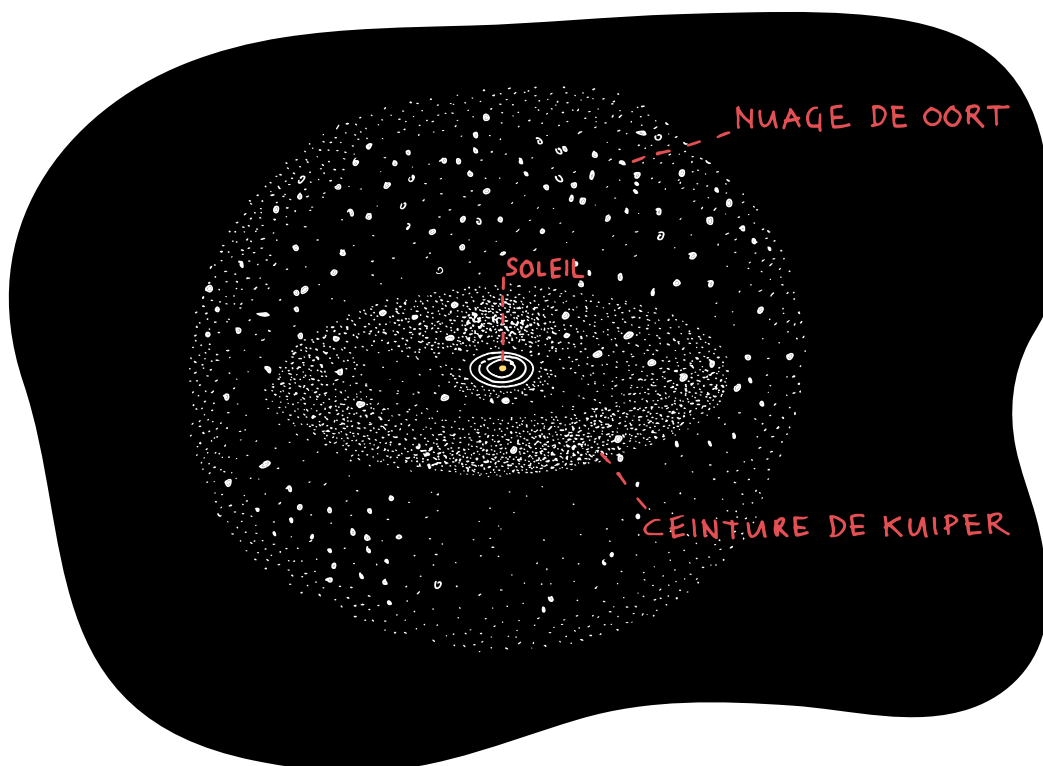
Mais au fait, combien de temps ce signal met-il pour venir jusqu'à nous alors que la sonde se trouve aux confins du système solaire et que le signal se déplace à la vitesse de la lumière dans le vide?



Lancement de la sonde *Voyager 1*, le 5 septembre 1977 de Cap Canaveral en Floride.

AS 65 ————— D'où viennent les comètes? —————

Il semble que la plupart des comètes proviennent d'un nuage sphérique entourant le système solaire, appelé **nuage de Oort**. Ce nuage se trouve entre 20 000 et 100 000 ua du Soleil.
Beaucoup plus près de nous, au niveau de l'orbite de Pluton (située à 39,8 ua), se trouve la **ceinture de Kuiper**. Elle a une forme de bouée et contient des blocs de roche et de glace susceptibles de devenir des comètes.



212

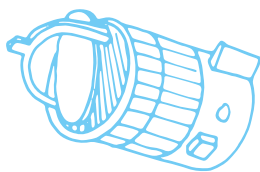
- a. La comète *Hale-Bopp* provient certainement du *nuage de Oort*. C'est une comète à période longue: 2537 ans. Elle a été identifiée en 1997 par deux astronomes amateurs indépendants américains, Alan Hale au Nouveau-Mexique et Thomas Bopp en Arizona.
Combien de temps la lumière du Soleil met-elle pour arriver au *nuage de Oort*?
- b. La comète de *Halley* provient de la *ceinture de Kuiper*. C'est une comète à période courte qui vient nous rendre visite tous les 76 ans. Quelle est sa vitesse moyenne si on imagine qu'elle fait un aller-retour en ligne droite?



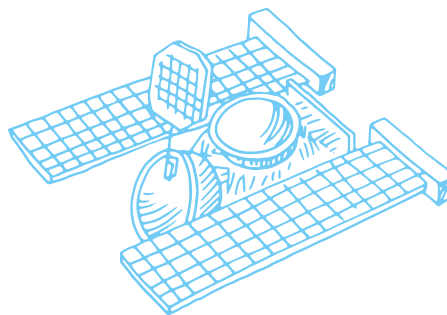
AS 66



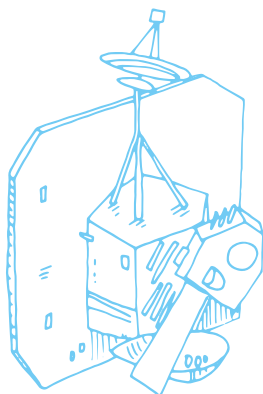
Des sondes pour mieux comprendre les comètes



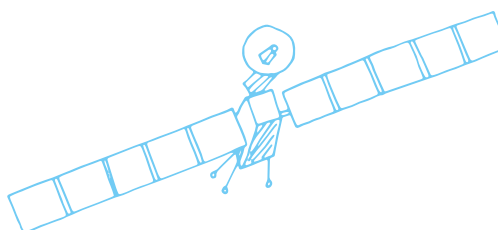
En 1986, la sonde européenne *Giotto* s'approchait et photographiait le noyau de la comète de *Halley*.



En 1999, la sonde américaine *Stardust* survolait la comète *Wild 2* et collectait des particules situées dans sa queue.



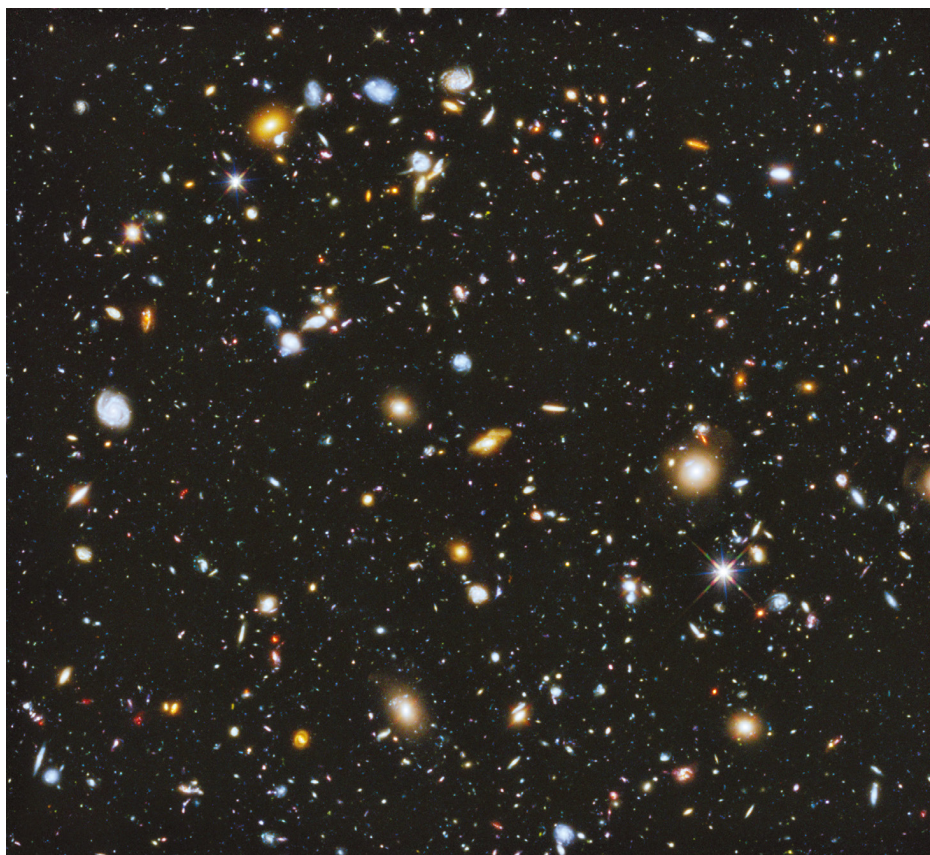
En 2005, un module de la sonde américaine *Deep Impact* entraînait volontairement en collision avec la comète *Tempel 1* afin de mieux comprendre la composition du noyau cométaire.



En 2014, le module *Philae* de la sonde européenne *Rosetta* se posait sur la comète *Churyumov-Gerasimenko* afin d'observer son comportement à l'approche du Soleil.

L'ensemble des informations collectées par ces sondes permet de mieux comprendre la composition et le comportement des comètes, et par là même de percer une partie des mystères de la formation du système solaire.

Aperçu de l'Univers



214

On this picture taken by *The Hubble Space Telescope (HST)* we can see about 5500 galaxies. Some of them are at 13,2 billion of light years. This picture, however, only shows a very small part of space.

Cette image correspond à une minuscule portion de ciel qu'un grain de sable tenu à bout de bras suffirait à masquer.



La Voie lactée

William Herschel (1738–1822), musicien et astronome germano-britannique, sonde le ciel profond à l'aide de télescopes de sa fabrication. Il découvre la planète Uranus, ainsi que deux de ses satellites. Il est le premier à proposer la Voie lactée comme un disque d'étoiles.



Notre galaxie, la Voie lactée, est un disque ayant en son centre un gros renflement, le bulbe, constitué surtout d'étoiles âgées. Au cœur de ce bulbe, on trouve un objet compact de forte masse, qui pourrait être un trou noir géant. Le bulbe est prolongé par le disque galactique comprenant quatre bras principaux déployés en spirale.

Le mot galaxie vient du nom latin «galaxias», lui-même tiré du grec ancien et signifie Voie lactée.

La Voie lactée trouve son origine dans la mythologie grecque. Héraclès est le fruit de l'union entre Zeus et l'une de ses nombreuses maîtresses, une mortelle nommée Alcmène. Ainsi l'enfant est un demi-dieu.

Dès sa naissance, Héraclès est doté d'une force surhumaine lui permettant de résister à tout sauf à la mort.

Afin qu'Héraclès devienne immortel, Zeus glisse l'enfant aux côtés de son épouse endormie, la déesse Héra, pour que le nourrisson puisse boire de son lait d'immortalité. Héraclès tète si goulûment que la déesse se réveille. Apercevant l'enfant qui n'est pas le sien, elle le repousse violemment. Le lait qui jaillit de son sein se répand alors en une traînée blanche dans le ciel, créant la Voie lactée.

Nom	Voie lactée
Genre	galaxie spirale <i>disque aplati formé d'un bulbe central très dense entouré de bras déployés en spirale dont quatre principaux</i>
Age	environ 13,7 milliards d'années
Masse	200 à 400 milliards d'étoiles selon des estimations faites en 2000
Diamètre	100 000 années-lumière
Epaisseur du centre galactique	10 000 années-lumière
Epaisseur du disque au niveau du Soleil	700 années-lumière
Distance du Soleil au centre galactique	30 000 années-lumière <i>Le Soleil se trouve dans le bras d'Orion.</i>

Informations tirées de l'Encyclopaedia Universalis.



AS 68 — A un jet de lumière —



«Nous savons aujourd'hui que, comme le son, la lumière se propage à une vitesse bien déterminée [...] d'environ trois cent mille kilomètres par seconde, un million de fois plus vite que le son dans l'air. Il faut bien reconnaître que, par rapport aux dimensions dont nous parlons maintenant, cette vitesse est plutôt faible. A l'échelle astronomique, la lumière se propage à pas de tortue. Les nouvelles qu'elle nous apporte ne sont plus fraîches du tout! Pour nous, c'est plutôt un avantage. Nous avons trouvé la machine à remonter le temps! En regardant

«loin», nous regardons «tôt». La nébuleuse d'Orion nous apparaît telle qu'elle était à la fin de l'Empire romain, et la galaxie d'Andromède telle qu'elle était au moment de l'apparition des premiers hommes, il y a deux millions d'années.

A l'inverse, d'hypothétiques habitants d'Andromède, munis de puissants télescopes, pourraient voir aujourd'hui l'éveil de l'humanité sur notre planète...»

Patience dans l'azur, Hubert Reeves, 2000.

- A quelle distance de la Terre se trouve la galaxie d'Andromède, en années-lumière et en km?
- On date la fin de l'Empire romain à l'année 476. Détermine à quelle distance de la Terre se trouve la nébuleuse d'Orion, en années-lumière.
- Bételgeuse de la constellation d'Orion est une étoile 250 fois plus grande que le Soleil. Elle se trouve à 642 années-lumière de la Terre. A quelle époque fut émise la lumière qui nous parvient de Bételgeuse aujourd'hui?

216

Les limites de l'Univers

«Que se passerait-il si l'Univers avait des limites, si je me plaçais près du bord cosmique et si je lançais un javelot par-delà l'Univers?

Le javelot reviendrait-il dans l'Univers ou irait-il se perdre dans l'au-delà?»

C'est la question que se posait le philosophe grec Archytas de Tarente au IV^e siècle avant J.-C.

Extrait de La mélodie secrète, Trinh Xuan Thuan, 2007.

AS 69 — Lu dans le journal —

On peut lire dans le journal: «Une nouvelle planète vient d'être découverte en dehors de notre système solaire, elle est âgée d'environ 21 années-lumière.»

Cette phrase est-elle correcte?



Exoplanètes

AS 70



Michel Mayor



Didier Queloz

Le 6 octobre 1995, Michel Mayor et Didier Queloz, deux astronomes suisses de l'observatoire de Genève, ont annoncé la découverte de la première exoplanète orbitant autour de l'étoile 51 Pegasi à 48 années-lumière de la Terre.

A combien de kilomètres cela correspond-il?

Le 31 octobre 2013, des astronomes américains ont annoncé avoir découvert une exoplanète, Kepler-78b, qui possède une taille et une composition assez proches de celles de la Terre. Elle renforce l'espoir de pouvoir trouver, un jour, hors de notre système solaire, une forme de vie.