

VOTRE GUIDE DE LA LUNE



Plan

1. Présentation générale de la Lune
2. Conditions d'observation les 6, 7 et 8 juin 2025 (France métropolitaine)
3. Le couple Terre-Lune
4. Histoire de la formation de la Lune
5. Géologie générale
6. Les missions Apollo
7. Les missions soviétiques Luna
8. Les autres missions d'exploration robotique de la Lune

Encadrés

- Apollo 11
- Les échantillons lunaires
- La face cachée
- L'eau sur la Lune
- Opération ***On the Moon Again***
- Le programme lunaire chinois
- Le programme Artemis

Figures

- Circonstances 6, 7 et 8 juin 2025
- 1 éclaté structure interne
- 1 photo NASA avec les sites d'atterrissages
- 1 photo pleine Lune avec les grandes structures
- 1 carte postale ancienne d'un astronome de rue



Présentation générale de la Lune

La Lune est l'unique satellite naturel de la Terre. Avec un diamètre de 3 474 km, sa distance moyenne la séparant de notre planète est de 381 500 km. La Lune est le premier et, à ce jour, le seul corps planétaire non terrestre visité par l'Homme. Le premier à y avoir marché est l'astronaute américain Neil Armstrong le 21 juillet 1969, il y a 55 ans. Après lui, onze autres hommes ont foulé le sol de la Lune, tous des astronautes américains du programme *Apollo*.

Conditions d'observation les 6, 7 et 8 juin (France métropolitaine)

Les 6, 7 et 8 juin 2025, notre satellite se présente en Lune gibbeuse croissante. Ces soirs-là, Mars sera la seule planète visible dans le ciel. Cependant, on peut signaler la présence de la Voie lactée estivale qui s'étend dans le ciel depuis l'horizon Sud. Toutefois, l'éclat lunaire atténuera les nébulosités de ce long ruban céleste.



Le couple Terre-Lune

Le couple Terre-Lune est extrêmement complexe. Il dépend de nombreux facteurs astrophysiques.

Ainsi, la Terre effectue un tour sur elle-même en 23 heures 56 minutes et 4,1 secondes, et tourne autour du Soleil en 365,256 jours à une distance moyenne de 149 597 870 kilomètres. Sa masse est de $5.95 \cdot 10^{24}$ kg et son diamètre de 12 846 km. Son orbite autour du Soleil est quasi-circulaire (l'excentricité de celle-ci étant très faible).

La Lune met quant à elle 27,322 jours pour accomplir une révolution autour de la Terre : c'est le mois lunaire sidéral, autrement dit le temps mis pour effectuer une révolution



complète et donc retrouver la même position par rapport aux étoiles. La durée du mois synodique (le temps mis pour retrouver la même position de l'axe Terre-Lune par rapport au Soleil), et qui sépare donc deux nouvelles lunes, est de 29,531 jours. C'est la durée courante que l'on utilise pour exprimer le cycle lunaire. L'orbite lunaire est une ellipse de « rayon moyen » 384 392 km, distance qui oscille entre 356 410 km au périégée (point le plus proche de la Terre) et 406.680 km à l'apogée (point le plus éloigné de la Terre).

La masse de la Lune est de $7,35 \cdot 10^{22}$ kg et son diamètre est de 3 472 km. Le Soleil a un diamètre équatorial de 1 392 000 km et une masse = $1,99 \cdot 10^{30}$ kg. Pendant qu'elle effectue une révolution entière autour de la Terre (le mois sidéral), la Lune effectue exactement une rotation sur elle-même, ce qui explique pourquoi la Lune présente toujours la même face à la Terre. Ce phénomène est connu sous le nom de rotation "synchrone". C'est l'effet de marée (terrestre et océanique) qui stabilisa progressivement la Lune dans cette position. La Terre et la Lune décrivent une orbite autour d'un centre de masse commun situé dans les profondeurs terrestres. Le barycentre de ce couple se situe à environ 4 650 km du centre de la Terre.

Histoire de la formation de la Lune

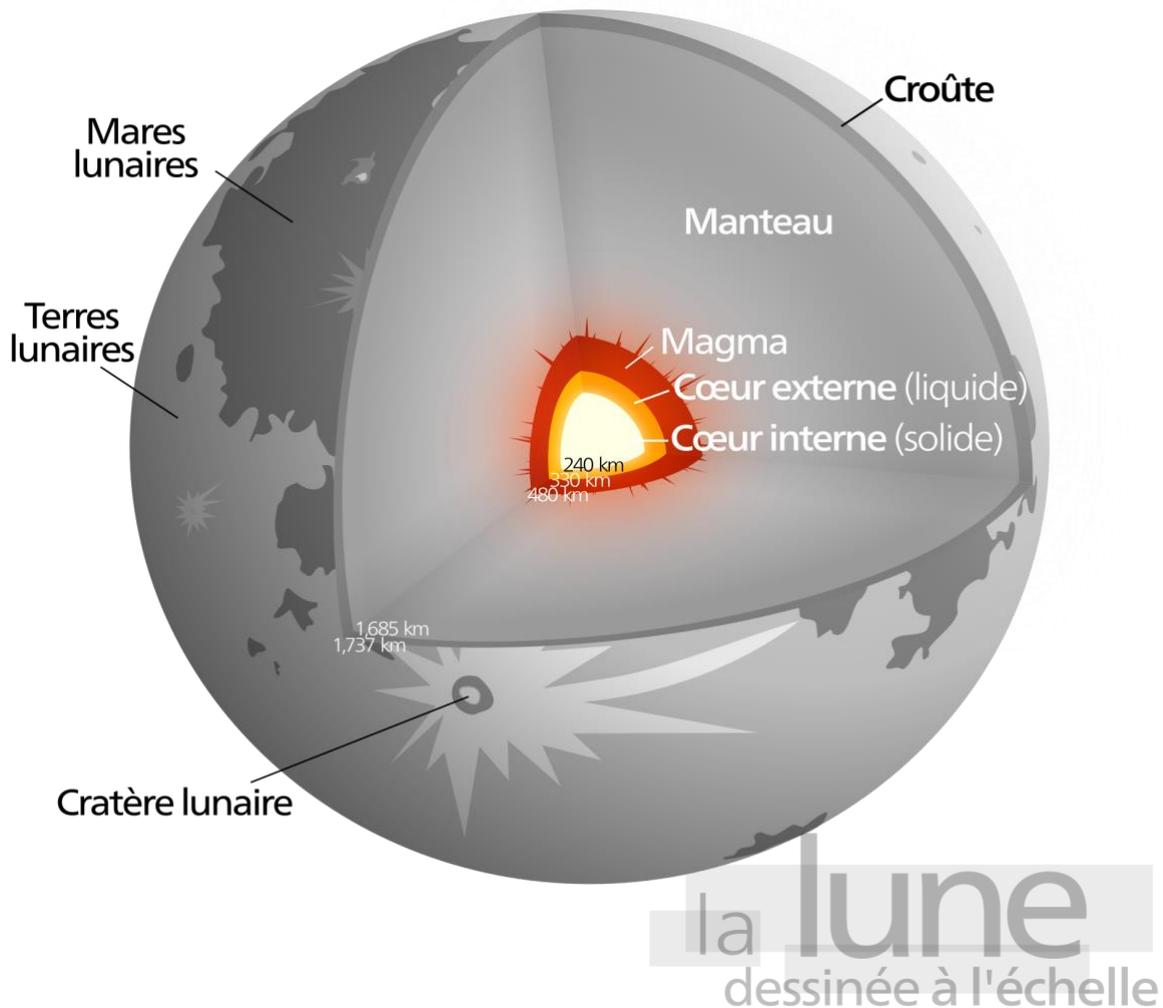
De nombreuses théories et hypothèses ont été élaborées pour tenter d'expliquer la formation de la Lune. Depuis les missions Apollo et les retours d'échantillons sur la Terre, l'hypothèse la plus partagée par la communauté scientifique est celle d'une collision entre la jeune Terre et un corps planétoïde (protoplanète) de la taille de Mars nommé Théia. Cet impact se serait produit 100 millions d'années après la naissance du Système solaire, soit il y a 4,468 milliards d'années. Cette hypothèse propose que la Lune a été créée à partir de la matière éjectée par la collision. Ainsi, la Lune serait en grande partie constituée de matière terrestre "ré-arrangée".

Géologie générale

La géologie de la Lune est une géologie très différente de celle de la Terre. La Lune n'ayant ni atmosphère, ni hydrosphère, ni biosphère, l'érosion due aux phénomènes météorologiques y est absente. La tectonique des plaques, telle qu'on la connaît sur la Terre, n'y a pas d'équivalent ; la gravité y est faible et son sol se refroidit plus rapidement du fait de l'absence d'atmosphère jouant un rôle tampon thermo-régulateur. Comme la Terre, la Lune est un astre différencié, avec une croûte, un manteau et un noyau. La surface lunaire résulte d'une géomorphologie complexe combinant différents processus, comme les impacts météoritiques et le volcanisme. Les études géologiques de la Lune sont basées sur la combinaison d'observations télescopiques depuis la Terre, de mesures en orbite par des engins spatiaux automatiques, des analyses des échantillons de roches lunaires et des données



géophysiques. Six sites d'atterrissages ont été visités au cours des missions du programme Apollo entre 1969 et 1972. Les astronautes ont pu en rapporter environ 385 kg de roches lunaires stockés en majorité depuis 1979 au Lunar Sample Laboratory Facility à Houston. Par ailleurs, trois missions de l'Union soviétique via le programme automatique Luna permettent également le retour de quelque 326 gr de sol lunaire sur la Terre. La Lune est le seul corps extraterrestre pour lequel l'Homme dispose d'échantillons dont on connaît l'origine géologique. Cependant, plusieurs questions sur les caractéristiques géologiques de la Lune restent sans réponse.



Source : Wikipédia

Les missions Apollo

Le programme Apollo est le programme spatial de la NASA mené durant la période 1961-1975 qui a permis aux États-Unis d'envoyer pour la première fois des hommes sur la Lune. Il est lancé par le président John F. Kennedy le 25 mai 1961, essentiellement pour reconquérir le prestige américain mis à mal par les succès de l'astronautique soviétique, à une époque où la guerre froide entre les deux superpuissances battait son plein.

Le programme avait pour objectif de poser un homme sur la Lune avant la fin de la décennie. Le 21 juillet 1969, cet objectif est atteint par deux des trois membres d'équipage de la mission Apollo 11, Neil Armstrong et Buzz Aldrin. Cinq autres missions se sont posées par la suite sur d'autres sites lunaires et y ont séjourné jusqu'à trois jours. Ces expéditions ont permis de rapporter 382 kg de roche lunaire et de mettre en place plusieurs batteries d'instruments scientifiques. Les astronautes ont effectué des observations in situ au cours d'excursions sur le sol lunaire d'une durée pouvant atteindre huit heures, assistés à partir d'Apollo 15 par un véhicule tout-terrain, le rover lunaire.

Aucun vol orbital américain n'avait encore été réalisé en mai 1961. Pour remplir l'objectif fixé par le président, la NASA lança plusieurs programmes destinés à préparer les futures expéditions lunaires : le programme Gemini pour mettre au point les techniques de vol spatial et des programmes de reconnaissance (programme Surveyor, Ranger...) pour, entre autres, cartographier les zones d'atterrissage et déterminer la consistance du sol lunaire. Pour atteindre la Lune, les responsables finirent par se rallier à la méthode audacieuse du rendez-vous en orbite lunaire, qui nécessitait de disposer de deux vaisseaux spatiaux, dont le module lunaire destiné à l'atterrissage sur la Lune. La fusée géante de 3 000 tonnes Saturn V, capable de placer en orbite basse 140 tonnes, fut développée pour lancer les véhicules de l'expédition lunaire. Le programme drainera un budget considérable (169 milliards de dollars US actuels) et mobilise jusqu'à 400 000 personnes. Deux accidents graves sont survenus au cours du projet : l'incendie au sol du vaisseau spatial Apollo 1 dont l'équipage périt brûlé et qui entraîne un report de près de deux ans du calendrier et l'explosion d'un réservoir à oxygène du vaisseau spatial Apollo 13 dont l'équipage survécut en utilisant le module lunaire comme vaisseau de secours.

Les missions soviétiques Luna

Le programme automatique Luna regroupe toutes les missions spatiales lancées par l'Union soviétique vers la Lune entre 1959 et 1976. Vingt-quatre sondes spatiales font officiellement partie de ce programme, mais il y en eut en réalité 45 en tout. Quinze de ces missions ont atteint leurs objectifs. Dès le début, les considérations politiques visant à démontrer la supériorité du savoir-faire soviétique sur celui des États-Unis ont



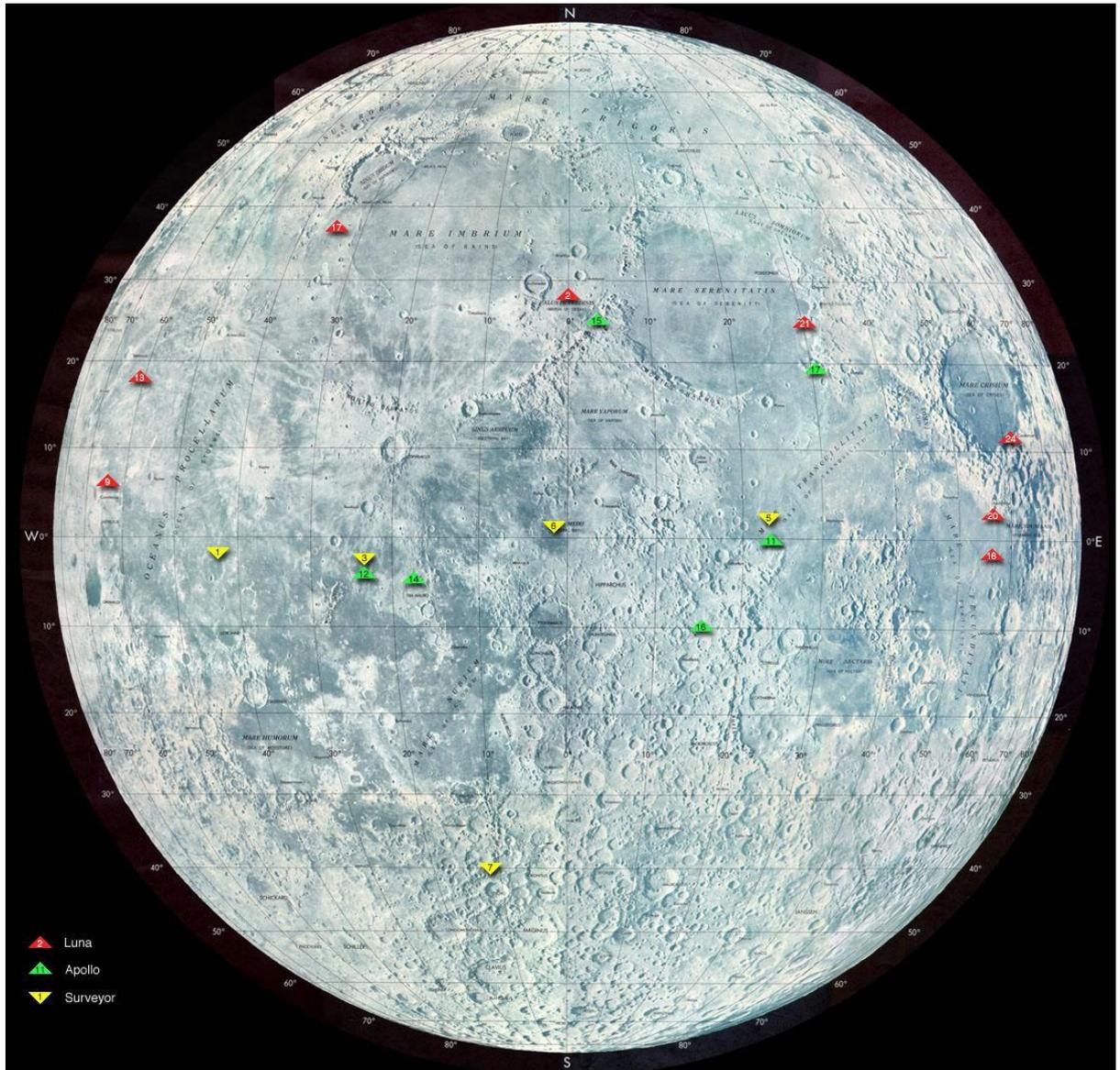
eu le pas sur les motivations scientifiques. Lorsque les enjeux de la course à l'espace disparaissent, le programme Luna prend fin tandis que les États-Unis orientent leur programme d'Exploration principalement vers Mars et les planètes externes du système solaire.

Le programme Luna est à l'origine d'un grand nombre de premières techniques dans l'exploration spatiale. Luna 1 lancé en 1959 est le premier engin spatial à s'affranchir de l'attraction terrestre tandis que Luna 2 (1959) est le premier objet artificiel à atteindre le sol lunaire. Luna 3 réalise la première photographie de la face cachée de la Lune (1959). Luna 9 (1966) est la première sonde à se poser en douceur sur la Lune, tandis que Luna 16 (1970) est le premier robot à ramener un échantillon lunaire sur Terre. Les missions Luna 17 (1970) et 21 (1973) emportent les premières astromobiles (rovers) qui vont parcourir plusieurs dizaines de kilomètres à la surface de la Lune. Sur le plan scientifique, même si beaucoup de questions importantes restent sans réponse à la fin du programme, le programme Luna comme les programmes homologues américains (Programme Surveyor et Lunar Orbiter ainsi que le programme Apollo) ont beaucoup fait progresser notre connaissance de la Lune : composition du sol lunaire, topographie de la face cachée de la Lune, champ gravitationnel lunaire, évolution de la distance Terre-Lune, températures et niveaux de radiation...

Le programme a mis en œuvre des sondes spatiales de différents types (impacteur, orbiteur, atterrisseur, rover, retour d'échantillon). Celles-ci sont de plus en plus sophistiquées au fur et à mesure de l'avancement du programme, avec une masse croissante de 361 kg à près de 6 tonnes pour les rovers et les derniers orbiteurs. Plusieurs lanceurs ont été utilisés, mais tous ont souffert de problèmes de fiabilité qui sont à l'origine d'une grande partie des échecs des missions Luna. Luna 24 fut la dernière sonde de cette époque révolue. Lancée vers la Lune depuis une orbite terrestre intermédiaire, elle est mise sur orbite circulaire autour de la Lune le 13 août 1976 et se pose le 18 août. Elle rapporte sur Terre, le 22 août 1976, un échantillon de 170 g.

La Russie actuelle tente le 11 août 2023, de revenir dans la course à la Lune avec Luna 25. Cette sonde automatique de 1750 kg devait se poser dans les régions australes de la Lune et ainsi marquer le retour Russe sur notre satellite après presque 50 ans d'absence. Censée fonctionner un an et emportant plusieurs instruments scientifiques, elle devait collecter des échantillons de sol, mais le 19 août 2023, lors de la préparation de son atterrissage sur la Lune, un problème technique survient et la sonde s'écrase à la surface de notre satellite naturel. Luna 25 devait ouvrir la voie au lancement d'autres missions lunaires, plus ambitieuses, à savoir Luna 26, Luna 27 et Luna 28, mais l'actualité de la Russie et les problèmes récurrents de son industrie spatiale laissent peu d'espoir à ces projets ambitieux...





Source : Nasa

Les autres missions d'exploration robotique de la Lune

La Lune a également été explorée par d'autres nations. Ainsi l'Europe a envoyé la sonde orbitale Smart-1, l'Inde les sondes orbitales Chandrayaan-1, Chandrayaan-2 (emportant l'atterrisseur Vikram) et Chandrayaan-3 (emportant un atterrisseur Vikram lui-même transportant l'astromobile Pragyan). Le Japon a quant à lui envoyé les sondes orbitales Muses-A, Selene et Kaguya, et Israël a pour sa part envoyé sur la Lune l'atterrisseur Beresheet. Toutes ces missions spatiales ont eu plus ou moins de succès...

Quant à la Chine, elle est assurément plus ambitieuse. Elle a déjà envoyé les sondes orbitales Chang'e 1 et Chang'e 2 et les atterrisseurs Chang'e 3, Chang'e 4, Chang'e 5 et Chang'e 6. Cette dernière, lancée le 3 mai 2024, s'est posée le 1er juin suivant à 22 h 23 min 16 s TU dans le bassin Aitken, l'un des plus grands cratères d'impact du Système solaire d'environ 2500 km de diamètre pour 13 km de profondeur. Il est situé

dans les régions australes de la face cachée de la Lune. Un forage du sol lunaire, le premier jamais effectué de ce côté de l'astre des nuits, a été rapidement effectué, puis renvoyé sur orbite lunaire. La mission s'est terminée le 25 juin 2024 avec l'atterrissage de la capsule en Mongolie intérieure en apportant environ 2 kg de poussières et de roches.

C'était la quatrième fois que la Chine déposait un atterrisseur sur la Lune depuis décembre 2013 (mission Chang'e 3), et la seconde fois sur sa face cachée depuis janvier 2019 (mission Chang'e 4) – exploit qu'elle reste la seule à avoir réalisé à ce jour. À bord de la sonde se trouvait également le spectromètre français alpha Dorn (Detection of Outgassing Radon), un détecteur de radon conçu à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap).



Encadrés

- Apollo 11

Apollo 11 est une mission du programme spatial américain Apollo au cours de laquelle, pour la première fois dans l'histoire, des hommes se sont posés sur la Lune, le 20 juillet 1969 (21 h 56 à Houston). La NASA remplit ainsi l'objectif fixé par le président Kennedy. Ce défi est lancé alors que la NASA n'a pas encore placé en orbite un seul astronaute. Le projet aboutit grâce à une mobilisation de moyens humains et financiers considérables.

Apollo 11 est l'aboutissement d'une série de missions qui permettent la mise au point des techniques spatiales nécessaires, des vaisseaux spatiaux et d'un lanceur géant ainsi que la reconnaissance des sites d'atterrissage sur la Lune. C'est la troisième mission habitée à s'approcher de la Lune, après Apollo 8 et Apollo 10, et la cinquième mission avec équipage du programme Apollo. Le vaisseau spatial emportant l'équipage est lancé depuis le centre spatial Kennedy le 16 juillet 1969 par la fusée géante Saturn V développée pour ce programme. Elle emporte Neil Armstrong, commandant de la mission et pilote du module lunaire, Buzz Aldrin, qui accompagne Armstrong sur le sol lunaire, et Michael Collins, pilote du module de commande et de service qui restera en orbite lunaire. Armstrong et Aldrin séjournent 21 heures et 36 minutes à la surface de la Lune et effectuent une sortie extravéhiculaire unique d'une durée de 2 heures et 31 minutes. Après avoir redécollé et réalisé un rendez-vous en orbite lunaire avec le module de commande et de service, le vaisseau Apollo reprend le chemin de la Terre et amerrit sans incident dans l'océan Pacifique à l'issue d'un vol qui aura duré 8 jours, 3 heures et 18 minutes.

Au cours de cette mission, 21,7 kg de sol lunaire sont collectés et plusieurs instruments scientifiques sont installés à la surface de la Lune. Bien que l'objectif scientifique d'Apollo 11 ait été limité par la durée du séjour sur la Lune et la capacité d'emport réduite des vaisseaux spatiaux utilisés, la mission fournit des résultats importants. Son déroulement, en particulier les premiers pas sur la Lune filmés par une caméra vidéo et retransmis en direct, constitue un événement suivi sur toute la planète en mondovision par des centaines de millions de personnes.

- Les échantillons lunaires

Les missions Apollo, Luna et Chang'e, et notamment les échantillons qu'elles



ont rapportés, ont bouleversé notre compréhension de la genèse de la Lune et des planètes... Ils ont tout d'abord permis de comprendre que les cratères qui sculptent la surface de notre satellite sont les cicatrices de collisions avec d'autres corps planétaires, et non les cratères par où se serait écoulée la lave de gigantesques volcans. Ces cicatrices cosmiques sont visibles à toutes les échelles, depuis les centaines de kilomètres des grands bassins jusqu'aux marques du concassage dans les roches, et jusqu'à la très fine poussière qui forme le sol. Cette poussière est produite par ce qu'on appelle le « jardinage cosmique », c'est-à-dire les impacts à hyper-vitesse d'objets dont même les plus petits atteignent le sol de ce corps sans atmosphère. Les impacts sont maintenant compris comme un phénomène géologique majeur à l'échelle du Système solaire : la fin de la construction des corps planétaires par le processus d'« accréation », c'est-à-dire l'accumulation de corps plus petits à la suite de collisions. La Lune elle-même est considérée comme le résultat d'un « impact géant » : la collision avec la Terre de Théia, un corps de la taille de Mars. Cette collision aurait engendré la fusion et l'évaporation de Théia et d'une partie importante de la Terre, formant un objet très chaud en rotation sur lui-même : une « synestia ». Les matériaux des deux corps se seraient ainsi largement mélangés, une partie de Théia finissant au centre de la Terre, et le reste se mettant en orbite autour d'elle pour ensuite coalescer et former la Lune. Ce modèle, formulé en 1975 par les jeunes astronomes W. K. Hartmann et D. R. Davis, est celui qui explique le mieux les diverses propriétés des roches lunaires, telles que leur chimie pauvre en éléments volatils, ainsi que la très petite taille du noyau de la Lune déterminée grâce aux sismomètres déployés par les astronautes (1% seulement du volume de la Lune, alors que le noyau de la Terre occupe 15% du volume de notre planète).

- La face cachée

La face cachée de la Lune est l'hémisphère de la Lune qui se situe en permanence du côté opposé à la Terre, l'autre étant nommé *la face visible* de la Lune. En effet, un seul et même hémisphère de la Lune est visible depuis la Terre, car la Lune possède une période de rotation égale à sa période de révolution (27,3217 jours), phénomène appelé rotation synchrone. L'autre hémisphère est donc invisible depuis la Terre, et n'a été photographié et cartographié que grâce aux sondes spatiales, la première étant la sonde



soviétique Luna 3 en 1959. Les premiers hommes à l'apercevoir directement furent l'équipage de la mission Apollo 8 en orbite autour de la Lune en 1968. Le terrain rugueux est remarquable aussi bien par la multitude de cratères que par sa pauvreté en mers lunaires. Cette face cachée possède également le plus vaste cratère d'impact connu du système solaire : le bassin Pôle Sud-Aitken. Il a été envisagé d'y installer des radiotélescopes gigantesques, avec l'avantage qu'ils y seraient protégés des interférences radio possibles venues de la Terre. A l'heure actuelle, la Chine est l'unique pays à avoir posé deux engins sur cette face invisible depuis la Terre (Chang'e 4 et Chang'e 6).

- L'eau sur la Lune

Il y a de l'eau sur la Lune. L'eau liquide ne peut persister à la surface et la vapeur d'eau est décomposée par la lumière du Soleil, l'hydrogène résultant étant rapidement perdu dans l'espace. Cependant, la présence de glace d'eau est envisagée dans l'ombre permanente de cratères lunaires polaires depuis les années 1960. Des molécules d'eau ont également été détectées dans la fine atmosphère lunaire. L'eau (H₂O), et le groupe apparenté hydroxyle (-OH), peuvent aussi exister dans les minéraux lunaires sous forme de liaisons tels des hydrates et des hydroxydes (plutôt que sous forme libre), et des indices suggèrent fortement que tel est bien le cas en faible concentration sur une grande partie de la surface lunaire. En effet, l'eau absorbée devrait exister à la surface à des concentrations allant de 10 à 1000 parties par million, voire plus localement.

- Opération ***On the Moon Again***

En juillet 1969, regroupées en famille ou entre amis autour d'une radio ou d'un rare téléviseur, 600 millions de personnes, sur tous les continents, suivaient le premier pas d'un homme sur la Lune. 50 ans plus tard, l'envie nous prend d'éprouver cet enthousiasme pour la Lune dans un mouvement mondial, universel, dépassant toutes les frontières.

Comment ? Rien de plus simple. Nous souhaitons que chacun, petit ou grand, puisse découvrir lors d'un évènement mondial la Lune au travers d'un télescope ou d'une lunette astronomique. Surprenez les passants en leur offrant ce spectacle inattendu.



Vous avez un instrument d'observation, installez le au coin d'une rue, au bord d'une rivière, sur la place d'un village... Rejoignez l'évènement **On the Moon Again** les 6, 7 et 8 juin 2025 et invitez les passants à observer la Lune et partager l'émerveillement.



- Le programme lunaire chinois

La République Populaire de Chine possède de grandes ambitions en matière spatiale, et notamment en ce qui concerne l'exploration de la Lune. Ainsi, le 24 octobre 2007, la sonde spatiale orbitale Chang'e 1 est lancée par une fusée Longue Marche 3A. Elle avait pour objectif de cartographier et modéliser en trois dimensions certaines régions de la Lune. Au total, 1,37 To de données ont été transférées à la Terre au cours de cette mission.

Une deuxième sonde orbitale, Chang'e 2, a été lancée le 1er octobre 2010 au moyen d'une fusée Longue Marche 3C. Elle est entrée en orbite le 6 octobre 2010. Une des possibilités prévues était que la sonde se pose sur la Lune à la fin de sa mission, mais elle a été mise sur une orbite de rencontre avec l'astéroïde géocroiseur Toutatis qu'elle rencontra le 13 décembre 2012.

Le 1er décembre 2013, la Chine a lancé Chang'e 3 à bord d'une fusée Longue Marche 3B. Contrairement aux deux précédentes sondes, Chang'e 3 emporte un rover en vue d'y atterrir. C'est le premier engin à se poser sur la Lune (le 14

décembre 2013) depuis l'atterrissage de la sonde soviétique Luna 24, qui avait rapporté sur Terre un échantillon de sol en 1976. Chang'e 3 transportait un atterrisseur doté d'instruments scientifiques et un rover lunaire de 140 kg nommé Yutu, capable de se déplacer sur une zone de 3 km² autour de son point d'atterrissage et d'étudier le terrain au cours d'une mission de 3 mois.

La sonde spatiale Chang'e 4 a été construite initialement pour servir de doublure en cas d'échec de Chang'e 3. Compte tenu du succès de cette mission, Chang'e 4 reçut pour objectif d'atterrir sur la face cachée de la Lune et d'explorer sa surface. Un satellite de télécommunications, baptisé Queqiao a été placé quelques mois plus tôt au point de Lagrange L2 du système Terre-Lune pour jouer le rôle de relais, la Lune faisant obstacle aux communications directes entre Chang'e 4 et la Terre. Chang'e 4 a été lancé le 7 décembre 2018 par une fusée Longue Marche 3B et a atterri sur la Lune le 3 janvier 2019 pour mener une exploration avec son rover. Il s'agit du premier atterrissage d'un engin spatial sur cette face de la Lune. Peu après l'atterrissage du module, le rover Yutu 2 a commencé à rouler sur la Lune. En juillet 2019 (8^e nuit lunaire) le rover affiche 271 m au compteur. En décembre 2019, Yutu 2 bat le record de longévité lunaire, précédemment détenu par le rover Lunokhod 1 de l'Union soviétique, qui a opéré sur la surface lunaire pendant onze jours lunaires (321 jours terrestres) et a parcouru une distance totale de 10,54 km. En juillet 2020 (20^e nuit lunaire), il affiche 490 m au compteur. Après 40 jours lunaires, en mars 2022, le rover dépasse 1000 m parcourus.

La mission Chang'e 5

Contrairement aux autres missions, la mission Chang'e 5 a pour objectif de rapporter sur Terre des échantillons de la face visible de la Lune. C'est donc une rupture majeure avec les missions précédentes. D'une masse totale de 8,2 tonnes, la sonde est constituée de quatre modules : l'orbiteur, l'atterrisseur, le module de remontée et la capsule de retour. La mission décolle le 23 novembre 2020 depuis la base de lancement de Wenchang sur l'île d'Hainan à bord du lanceur lourd Longue Marche 5. La sonde est injectée sur orbite de transfert vers la Lune, puis l'orbiteur freine pour placer les quatre modules sur orbite lunaire le 28. L'atterrisseur se sépare le 29 novembre puis se pose sur la Lune le 1^{er} décembre. L'atterrisseur qui se pose à la surface de la Lune est équipé de trois instruments scientifiques afin de mieux comprendre les caractéristiques géophysiques du site de prélèvement : une caméra panoramique (PCAM), un



radar à pénétration de sol (LRPR) et un spectromètre visible/infrarouge (LMS). Situé au nord de l'Océan des Tempêtes sur la face visible de la Lune, dans la région du Mons Rümker inexplorée jusqu'ici l'engin prélève les échantillons de façon nominale. Les roches qui s'y trouvent ont un âge estimé à seulement 1,2 milliard d'années et sont bien plus jeunes que les échantillons rapportés par les missions des programmes Apollo et Luna datés de 3,1 à 4,4 milliards d'années. Leur étude doit permettre de mieux comprendre la géologie de la Lune, sa chronologie et les derniers événements volcaniques de surface.

Un bras robotique et une foreuse prélèvent de la matière lunaire, puis la transfèrent dans le module de remontée. Ce dernier décolle le 3 décembre et s'insère sur orbite autour de la Lune. Il effectue un rendez-vous spatial et s'amarre automatiquement avec l'orbiteur le 5 décembre, les échantillons sont ensuite transférés dans la capsule de retour. Le module de remontée est séparé, puis le 13 décembre l'orbiteur manœuvre afin de quitter l'orbite lunaire en direction de la Terre. Après son largage puis sa rentrée atmosphérique, la capsule se pose avec succès en Mongolie-Intérieure sous parachute le 16 décembre. Les mesures précises montrent un prélèvement de 1731 grammes d'échantillons.

La Chine devient avec Chang'e 5 le troisième pays après les États-Unis et l'Union Soviétique à rapporter des échantillons lunaires sur Terre. La dernière mission ayant réussi à le faire était la sonde soviétique Luna 24 en 1976.

La mission Chang'e 6

La sonde spatiale Chang'e 6 est l'exemplaire de secours développé pour la mission de Chang'e 5. D'une masse de 8,2 tonnes elle est elle aussi composée de quatre modules : un module de service prenant en charge le trajet entre la Terre et la Lune, un atterrisseur d'une masse de 3,8 tonnes chargé de se poser sur la Lune, un étage de remontée qui doit placer les échantillons de sol sur orbite lunaire et une capsule de retour qui les rapporte sur Terre. Les ingénieurs chinois ont opté pour le même scénario de retour d'échantillons que Chang'e 5 : l'étage de remontée, au lieu de revenir directement sur Terre, a rendez-vous avec le module de service : l'échantillon est alors transféré dans la capsule de retour. Celle-ci rejoint la Terre et l'échantillon s'en détache pour effectuer une rentrée atmosphérique. C'est du même ordre que pour les missions Apollo.

Chang'e 6 est placée sur orbite par un lanceur Longue Marche 5 qui décolle de



la base de lancement de Wenchang le 3 mai 2024 à 9h 27min 29s TU. Elle se pose dans le bassin Pôle Sud-Aitken sur la face cachée de la Lune (environ 46° de latitude sud et 180° de longitude est) le 1er juin suivant à 22 h 23 min 16 s TU. Des échantillons sont prélevés au moyen d'une pelle mécanique en sub-surface et par forage plus profond, peut-être jusqu'à 2 m. Ces échantillons contiennent du basalte et des matériaux non basaltiques provenant d'autres régions.

- Le programme Artemis

La mission lunaire Artemis-1 de la NASA a signé le 16 novembre 2022 un moment historique. C'est le test d'un nouveau système spatial pour un retour habité vers la Lune qui inclut :

- le nouveau lanceur lourd SLS (« Space Launch System »), dont la taille et la puissance se comparent à la fusée géante Saturn V ;
- l'étage de transfert vers la Lune (« Interim Cryogenic Propulsion Stage / ICPS ») ;
- le vaisseau Orion coiffé de sa tour de sauvetage. Il est constitué de la capsule Orion avec son module de service européen (« European Service Module / ESM ») dont la conception est basée sur celle de l'ATV qui a desservi la station spatiale internationale entre 2008 et 2015.

Ce vol Artemis-1 clôt le 11 décembre avec le retour sur Terre de la capsule Orion, un feuilleton politique riche en rebondissements. Ouvert en 2004 avec l'annonce du programme Constellation voulu par le Président George Bush, il a été annulé par le Président Obama en 2010 en faveur de vols commerciaux vers l'ISS (Cygnus et Dragon). Seule Orion en est une survivance : elle avait auparavant été testée, inhabitée, en orbite en décembre 2014, avec une rentrée atmosphérique à 32 000 km/h.

Né en décembre 2017 par la volonté du Président Trump, le programme Artémis prévoit au moins trois vols lunaires. Ce vol Artémis 1 était risqué : c'était l'équivalent des cinq tests effectués de 1967 à 1968 pour Apollo, avec les lancements AS-201 (test de l'étage cryogénique de transfert lunaire), AS-202 (test du vaisseau Apollo et de sa tour de sauvetage), Apollo 4 et Apollo 6 (tests de la fusée géante Saturn V et de la capsule Apollo autour de la Terre), et Apollo 8 (vol circumlunaire habité).

Les enjeux de la mission Artémis-1 étaient aussi cruciaux au plan politique, car



les budgets font l'objet depuis toujours de vifs débats dans les institutions politiques américaines. Un coût de 4,1 milliards de dollars par mission lunaire a été annoncé par l'inspection de la NASA en mars 2022 au lieu des 500 millions envisagés en 2012 ! En novembre 2021, la NASA et le Congrès ont estimé que ce sont 93 milliards de dollars qui ont été dépensés de 2012 à 2025 pour les développements du programme lunaire dans son ensemble, sans compter 22 milliards pour développer et tester le vaisseau Orion de 2006 à 2020. Des coûts comparables à ceux des lanceurs Saturn et des vaisseaux Apollo, respectivement de 96 et de 41 milliards de dollars. Les trois premiers vols Artémis doivent aussi tester la capacité à desservir la future station orbitale lunaire, le Lunar Gateway, dont l'assemblage autour de la Lune doit débuter en décembre 2027 au plus tôt :

- Artémis-1, un vol inhabité d'essai et de qualification du vaisseau spatial Orion et du lanceur spatial SLS Bloc-1, a eu lieu entre le 16 novembre et le 11 décembre 2022 ;
- Artémis-2, le tout premier vol d'essai habité d'Orion avec 4 astronautes à bord, est prévu pour avril 2026 au plus tôt ;
- Artémis-3, emportant quatre astronautes, dont deux fouleront la surface lunaire à l'aide d'un atterrisseur, le Human Landing System (HLS). Cette mission n'aura pas lieu avant 2027 ;

À partir de 2028, les vols Artémis-4 et Artémis-5 devront desservir le Lunar Gateway, avec une possible présence d'astronautes canadiens et européens à bord.

