



# RENDEZ-VOUS AVEC LA LUNE

50 ANS APRÈS APOLLO 11,  
LA LUNE RESTE À EXPLORER.

Que nous cache encore  
notre satellite ?

**Conception - Réalisation :** Caroline Carissoni, Clément Debeir - Agence SapienSapienS.  
**Rédaction :** Caroline Carissoni. **Graphisme :** Pôle multimédia du CNES - Conception :  
Marine Sangouard, Réalisation : Karine Prisielkow. **Iconographie :** Agence SapienSapienS -  
Claire Burgain, Caroline Carissoni, Clément Debeir. Société Photon - Marie-Claire Fontebasso.  
**Impression :** Pôle multimédia du CNES. Imprimé en 2018.

**Remerciements :** Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaire, CNES ; Serge Gracieux, Direction des Expositions, Cité de l'espace ; Pierre Ferrand, enseignant en Sciences de la Vie et de la Terre, chargé de mission auprès du CNES ; Jean-Paul Castro, enseignant en Physique-Chimie, chargé de mission auprès de la Cité de l'espace ; Karine Bichet-Ramon, chargée de mission pour la Culture Scientifique, Technique et Industrielle, Rectorat de l'académie de Toulouse, membre du groupe 'Science et média' de l'IRES.

Ce document est co-édité par le CNES, Direction de la Communication - Service Éducation Jeunesse - [educationjeunesse@cnes.fr](mailto:educationjeunesse@cnes.fr) et la Cité de l'espace, Direction Education et Médiation scientifique. © CNES 2018



# SOMMAIRE



4 - 7

## APOLLO 11

**On a marché sur la Lune**

Le programme  
de tous les exploits

8 - 11

## LA COURSE À LA LUNE

Le sprint final

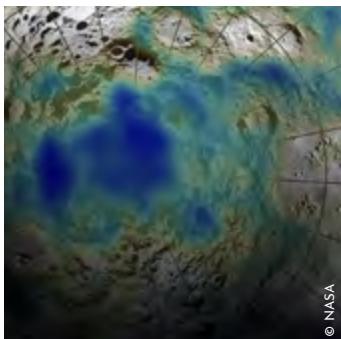
La révolution des années 60

12 - 15

## LA LUNE

**Un concentré de Terre**

Terre-Lune, un couple uni



16 - 19

## APOLLO, ACCÉLÉRATEUR DE SCIENCES

**Des chercheurs sur la Lune**

Une porte vers  
l'exploration lointaine

20 - 23

## L'ATELIER DES ROBOTS

Des sondes pour

explorer et apprendre

Des robots pour aider  
les hommes

24 - 27

## DES ARTISTES DANS LA LUNE

**Décrocher la Lune**  
Faces de Lune

# Apollo 11

## On a marché sur la Lune

**21 JUILLET 1969, 3H56 HEURE FRANÇAISE : LE PIED GAUCHE DE NEIL ARMSTRONG SE POSE SUR LE SOL LUNAIRE.** CETTE PREMIÈRE CONCRÉTISE UN RÊVE UNIVERSEL ET SYMBOLISE LES EXPLOITS HUMAINS ET TECHNOLOGIQUES QUE NOUS SOMMES CAPABLES D'ACCOMPLIR POUR REPOUSSER LES FRONTIÈRES DE LA CONNAISSANCE.

// CETTE PHOTO EMBLÉMATIQUE EST L'EMPREINTE DE BUZZ ALDRIN. IL A RÉALISÉ PUIS PHOTOGRAPHIÉ SON EMPREINTE AFIN DE FOURNIR AUX SCIENTIFIQUES UNE IMAGE DÉTAILLÉE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DU RÉGOLITH LUNAIRE.



**L**orsque les deux astronautes américains Neil Armstrong et Buzz Aldrin se posent sur la Lune ce 20 juillet 1969, ils marquent une étape décisive dans l'exploration spatiale en devenant les premiers Hommes à poser le pied sur un autre corps céleste que la Terre.

Leur mission, Apollo 11, est le cinquième vol habité du programme Apollo et le troisième voyage humain vers la Lune. Mais l'objectif est une première : poser des hommes sur la Lune et les ramener vivants sur Terre.

**C'est un petit pas pour un homme, mais un bond de géant pour l'humanité.**

*Neil Armstrong, 21 juillet 1969 posant le pied sur la Lune*

### ATTERRISSAGE À VUE

Au cours de la descente, le pilote automatique oriente le LM vers un alunissage sur un site couvert de roches. Alors qu'il ne reste plus que quelques secondes de carburant, Neil Armstrong voit le danger par le hublot et décide de prendre les commandes, Buzz Aldrin lui communiquant à la voix vitesse et altitude, et pose le module « à vue ».

### UNE MAGNIFIQUE DÉSOLATION

Neil Armstrong est le premier à poser le pied sur la Lune, suivi par Buzz Aldrin, 19 minutes plus tard. Ils découvrent alors le sol et le paysage lunaire. Un paysage d'une « magnifique désolation » selon

Neil Armstrong, commandant de la mission, Buzz Aldrin et Michael Collins embarquent à bord de la fusée Saturn V le matin du 16 juillet 1969, à 9 h 32 (heure locale), au centre spatial Kennedy en Floride. Après presque trois jours de voyage, ils atteignent l'orbite lunaire. Là, après treize révolutions autour de la Lune, le module lunaire LM (Lunar Module) se désamarre du module de commande (ou CSM pour Command and Service Module). Le LM entame alors sa descente vers le sol lunaire emportant à son bord Neil Armstrong et Buzz Aldrin.

**156 battements par minute**

**CONTRE 77 QUELQUES SECONDES AUPARAVANT, C'EST LA PULSION DU CŒUR D'ARMSTRONG, ENREGISTRÉE JUSTE AVANT QU'IL NE PRENNE LES COMMANDES POUR ALUNIR.**



// NEIL ARMSTRONG (ICI DANS LE REFLET DU CASQUE DE BUZZ ALDRIN) N'APPARAÎT SUR QUASIMENT AUCUNE PHOTO PRISE SUR LA LUNE. C'EST LUI QUI TENAIT L'APPAREIL PHOTO ET LE PLANNING ÉTAIT TROP CHARGÉ POUR UNE SÉANCE DE SELFIES.

### À SAVOIR

#### Sauvé par un stylo !

Au moment de quitter la Lune, l'interrupteur devant servir à allumer le moteur était cassé. Buzz Aldrin l'a remplacé par son stylo, qui rentrait parfaitement dans le trou restant. Sans cela, les deux astronautes d'Apollo 11 seraient restés sur la Lune.

# LE PROGRAMME DE TOUS LES EXPLOITS

POUR REJOINDRE LA LUNE, S'Y POSER ET Y RÉALISER DES EXPÉRIENCES, TECHNICIENS ET SCIENTIFIQUES ONT MULTIPLIÉ LES EXPLOITS TECHNIQUES ET HUMAINS. LES ASTRONAUTES ONT SUBI UN ENTRAÎNEMENT HORS NORMES ET BRAVÉ L'INCONNU.

**D**es heures de travail incalculables, des budgets pharaoniques et des prises de risque incroyables, tels sont les ingrédients des premières missions lunaires.

La Seconde Guerre mondiale a vu naître des armes à base de fusées (missiles). Et avec elles, l'idée qu'il était finalement possible d'aller dans l'espace, pour y envoyer des satellites, voire de déposer des hommes

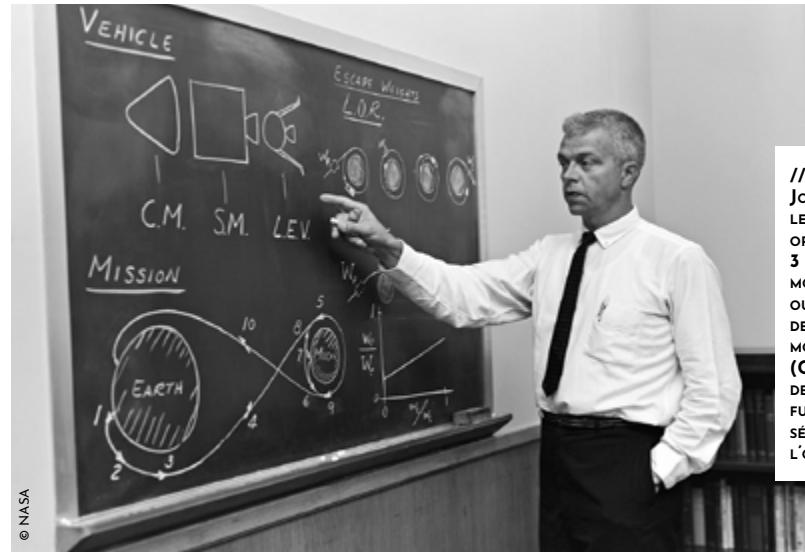
sur la Lune. Restait à construire des fusées suffisamment puissantes, calculer les trajectoires possibles et assurer la survie des futurs astronautes dans un milieu hostile et méconnu.

## 45 TONNES VERS LA LUNE

Le premier défi est celui des lanceurs. Au milieu des années 1950, aucune fusée n'a dépassé l'atmosphère terrestre ni emporté de satellites. Les Russes y parviennent en 1957 avec l'envoi du Spoutnik

en orbite terrestre. Mais pour rejoindre la Lune, il faut obtenir une puissance suffisante pour s'arracher de l'attraction terrestre et emporter une charge extrêmement lourde. Finalement, les Américains développent un moteur à oxygène et hydrogène liquide capable de propulser le lanceur Saturn V et sa charge utile de 45 tonnes, composée de trois vaisseaux Apollo (le module lunaire, le module de service et le module de commande).

// LORSQU'ILS ONT POSÉ LE PIED SUR LA LUNE, ARMSTRONG ET ALDRIN ONT DÉCOUVERT UN ENVIRONNEMENT TOTALEMENT INCONNU.



// L'INGÉNIER US JOHN HOUBLT DÉFEND LE RENDEZ-VOUS EN ORBITE LUNAIRE : 3 VAISSEAUX, LE MODULE LUNAIRE (LM OU LEM), LE MODULE DE SERVICE (SM) ET LE MODULE DE COMMANDE (CM), SONT LANCÉS DEPUIS UNE SEULE FUSÉE, PUIS ACTIVÉS SEPÉRÉMENT DEPUIS L'ORBITE LUNAIRE.

## RENDEZ-VOUS EN ORBITE LUNAIRE

Pendant des mois, les scientifiques américains s'affrontent sur le chemin à emprunter : un trajet direct Terre-Lune qui présente un risque trop important ? Ou une étape en orbite terrestre, suivie d'une injection vers la Lune et une insertion en orbite lunaire ? La solution du rendez-vous en orbite lunaire est rapidement adoptée, car plus économique en énergie. Stationné en orbite lunaire, le LM se séparera du module de commande et de



// LES ÉCUSSONS DES MISSIONS HABITÉES DU PROGRAMME APOLLO (APOLLO 7 À 17).

service pour rejoindre la surface puis reviendra se docker au module de commande avant que celui-ci ne retourne sur Terre.

## UN MILLIER D'ANOMALIES POSSIBLES

Les astronautes sont pour la plupart des pilotes de chasse, capables de prendre les commandes si nécessaire, de réagir avec sang-froid aux situations critiques, et d'apprendre rapidement. Ils doivent en effet se former au pilotage des engins spatiaux, à l'astronomie, la géologie, la photographie, se familiariser avec l'ensemble des équipements et des outils. Ils ont aussi été associés à la conception des vaisseaux habités.

Les astronautes et les équipes au sol sont préparés et entraînés pour affronter un millier d'anomalies sur la mission. Afin de minimiser les risques, des procédures de sécurité sont mises en place pour sécuriser la mise à feu, doubler voire tripler certains systèmes de commandes informatiques, etc. Mais l'état des connaissances et des technologies de l'époque impliquent une inévitable prise de risque et réclament d'importantes et rapides innovations technologiques.



## Un monstre de technologie

Le LM mesurait plus de 7 mètres de haut pour 9,4 m de large et pesait 15 tonnes. À la fois laboratoire et lieu de vie pour quelques heures, il devait contenir tout le matériel d'exploration et de survie. Réaliser un alunissage de précision avec un tel monstre a été un véritable exploit.

// LES VOLIS SPATIAUX PERMETTENT DE RENFORCER L'IMAGE D'UN PAYS ET LA COHÉSION DE SES HABITANTS. BIEN QU'UN ACCORD INTERNATIONAL STIPULE QUE L'ESPACE NE DOIT ÊTRE LE TERRAIN D'AUCUNE DOMINATION NATIONALE, LES DRAPEAUX SONT OMNIPRÉSENTS.



# La course à la Lune

## Le sprint final

**APOLLO 11 EST L'ABOUTISSEMENT D'UNE COURSE À L'ESPACE ENTRE L'UNION SOVIÉTIQUE ET LES ÉTATS-UNIS. UNE COURSE COMMENCÉE DÈS LA FIN DE LA SECONDE GUERRE MONDIALE, LES DEUX BLOCS OPPOSÉS PENSANT QUE CELUI QUI MAÎTRISERAIT LE PREMIER L'ESPACE DOMINERAIT LE MONDE.**

© NASA

**A**près la Seconde Guerre mondiale, les États-Unis et l'URSS (l'Union des républiques socialistes soviétiques) s'affrontent dans une "guerre froide". Chacun tente d'imposer sa domination sur le plan politique, économique et... technologique.

La compétition spatiale démarre officiellement en 1955. Les gouvernements soviétique et américain annoncent tous deux leur intention de lancer un satellite, dans le but de contribuer à la science et à la paix. La pression politique achève de motiver les scientifiques et ingénieurs déjà très impliqués dans leurs projets respectifs. Ainsi, de peur d'être devancé par les Américains, Korolev, le responsable

de la cosmonautique soviétique, lance le projet Spoutnik dès 1956, sans attendre le feu vert des autorités.

### LES SOVIÉTIQUES DOMINENT

Les Soviétiques remportent la première manche. Après le lancement de Spoutnik, le premier satellite mis en orbite en octobre 1957, ils envoient en novembre le premier être vivant dans l'espace – la chienne Laïka –, ils réalisent le premier survol de la Lune avec Luna 1 en janvier 1959, le premier impact sur la Lune avec Luna 2, puis les premières photographies de la face cachée de la Lune (Luna 3) à l'automne 1959 et, enfin, le premier vol humain en orbite de Youri Gagarine, le 12 avril 1961.

### À SAVOIR

#### Apollo accélère les succès américains

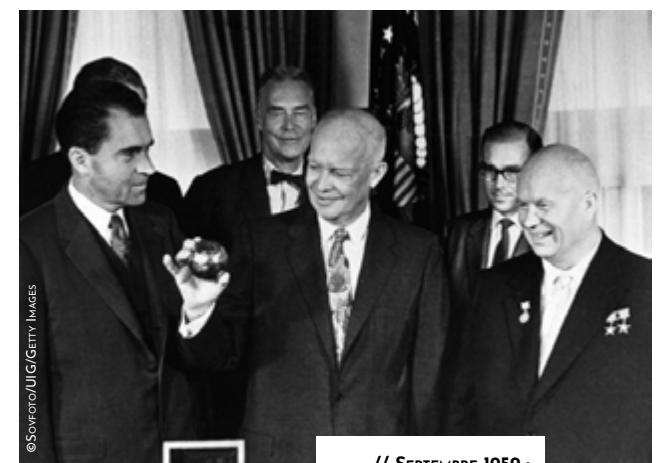
Mercury (6 vols habités de 1959 à 1963) puis Gemini (10 vols habités de 1964 à 1966) peaufinent les manœuvres de rendez-vous orbitaux.

Les premiers vols techniques d'Apollo (2 à 6) sont suivis des vols habités : Apollo 7 stationne en orbite terrestre (octobre 1968), Apollo 8 survole la Lune (décembre 1968), Apollo 9 répète autour de la Terre les manœuvres de séparation (mars 1969), Apollo 10 teste une dernière fois la descente en orbite lunaire (mai 1969).

“

Le pays qui réalisera les premières avancées significatives en matière de vol spatial sera de facto considéré comme le leader dans le domaine militaire et scientifique.

*James Lipp, en charge d'une société américaine de développement des satellites US, en 1946*



© Sovfoto/UIG/GETTY IMAGES

// SEPTEMBRE 1959 : LE DIRIGEANT SOVIÉTIQUE NIKITA KROUCHTCHEV (À DROITE) NARGUE LE PRÉSIDENT AMÉRICAIN DWIGHT EISENHOWER (AU CENTRE) EN LUI OFFRANT UNE RÉPLIQUE DE LA SONDE LUNA 2, QUI VIENT D'EMPORTER LES EMBLEMES SOVIÉTIQUES SUR LA LUNE.

### LE RÉVEIL AMÉRICAIN

Ce dernier événement stimule les ambitions américaines. Le président Kennedy, élu en novembre 1960, annonce en mai 1961 le lancement d'un programme qui verra « un Américain sur la Lune avant la fin de la décennie » !

Quelques mois plus tôt, Kennedy avait refusé une forte augmentation du budget de la NASA, l'agence spatiale américaine. Mais en 1961, en plus de leurs réussites

spatiales, les Soviétiques ont infligé une défaite politique et militaire aux Américains en faisant rater le débarquement d'exilés cubains soutenus par les Américains dans la baie des Cochons à Cuba. Kennedy voit dans le spatial l'assurance de reprendre l'ascendant et déclare le programme Apollo plus haute priorité nationale. Dès lors, l'industrie américaine est mobilisée, le programme US s'accélère.

# LA RÉVOLUTION DES ANNÉES 60

LES ANNÉES 1960 CONNAISSENT DE GRANDS BOULEVERSEMENTS. SUR FOND DE GUERRE FROIDE ENTRE LES USA ET L'URSS, LES ÉCHANGES MONDIAUX S'ACCÉLÈRENT, Y COMPRIS SUR LES PLANS TECHNOLOGIQUES ET CULTURELS. APOLLO 11 EST L'UN DES PREMIERS ÉVÉNEMENTS PARTAGÉS MONDIALEMENT.



© NASA



**// DES CENTAINES DE PERSONNES CAMPENT PRÈS DU CENTRE DE LANCEMENT KENNEDY, EN FLORIDE, POUR ASSISTER AU DÉPART DE LA MISSION APOLLO 11.**

**L**es premiers pas de l'Homme sur la Lune sont un événement suivi par des populations très variées. Partout sur la planète, il marque les esprits et contribue à faire basculer le monde dans une nouvelle ère.

La fin des années 1950 a apporté un nouvel essor dans le monde occidental. Les traces de la Seconde Guerre mondiale s'estompent, l'économie redémarre, un vent de liberté souffle sur les populations. Mais en parallèle, des tensions se nouent en Amérique du Sud et en Asie notamment, deux continents sur lesquels Américains et Européens sont engagés militairement face à des opposants soutenus par l'URSS dont l'influence grandit.

## IMAGES POSITIVES

Dans ce contexte de tensions, la télévision se révèle un outil de **propagande** efficace. Les images d'astronautes victorieux permettent de faire oublier celles des soldats américains embourbés dans une guerre sans fin au Vietnam ou celles des violences racistes qui agitent les banlieues américaines.

## UNE SOIF DE PAIX ET DE PROGRÈS

Une partie de la population américaine est sceptique devant les sommes engagées dans l'exploration spatiale alors que le pays peine à régler ses problèmes internes. Or, les années 60 sont aussi celles où les populations marquées par la guerre ont soif de paix, de coopération internationale et de progrès, et l'espace répond à cette aspiration.

Les gouvernements américain et soviétique parviennent donc à mobiliser l'industrie et l'opinion derrière leurs programmes spatiaux. Ainsi que la planète entière ! L'alunissage d'Apollo 11 est retransmis en direct à la télévision sur toute la planète.



**Les premiers pas de l'Homme sur la Lune** constituent l'un des tout premiers événements diffusés en Mondovision. Le premier, une retransmission d'un concert des Beatles, en juin 1967, a rassemblé entre 400 et 700 millions de téléspectateurs.

**600 millions**  
**DE TÉLÉSPECTATEURS SUIVENT EN DIRECT L'ATTERRISSAGE ET LA MARCHE DE NEIL ARMSTRONG ET DE BUZZ ALDRIN SUR LA LUNE.**



# La Lune

## Un concentré de Terre

SI LA LUNE NOUS FASCINE DEPUIS TOUJOURS, C'EST PARCE QU'ELLE EST SUFFISAMMENT PROCHE POUR SE DÉVOILER À NOS YEUX. SA PRÉSENCE PERMANENTE DANS LE CIEL TERRESTRE NOUS LA REND FAMILIÈRE. DE FAIT, LA LUNE EST UNE COUSINE DE LA TERRE. ELLE EST EN PARTIE CONSTITUÉE DES MÊMES COMPOSANTS QUE NOTRE PLANÈTE.

// LA LUNE N'A PLUS D'ACTIVITÉ GÉOLOGIQUE DEPUIS FORT LONGTEMPS, COMME SI ELLE S'ÉTAIT FIGÉE PEU DE TEMPS APRÈS SA FORMATION. C'EST POURQUOI SES COMPOSANTS NOUS INTÉRESSENT. EN LES ÉTUDEANT, ON CHERCHE ÉGALEMENT À ÉTUDIER LE PASSÉ DE LA TERRE.

// CETTE IMAGE PRISE LORS DE LA MISSION APOLLO 17, EN 1972, DÉVOILE LES RELIEFS DE LA LUNE.



NASA ©

**L**a Lune serait née d'un morceau de Terre quand, il y a 4,35 milliards d'années, un impact géant s'est produit entre la Terre et une petite planète appelée Théia. Le choc, immense, a éjecté des matériaux en fusion, qui se sont mis en orbite autour de notre planète et se sont agglomérés : la Lune était née.

Notre satellite garde encore aujourd'hui les traces de sa naissance mouvementée. Les taches sombres

et les étendues claires que l'on observe à l'œil nu nous laissent deviner sa surface chaotique constellée de cratères dus aux bombardements d'**astéroïdes** et de **météorites**. La majeure partie de sa surface, qui nous apparaît claire, est constituée de plateaux. Les taches sombres, baptisées « mers » par les astronomes, sont le résultat d'un gigantesque impact. Le choc a percé la croûte solide et provoqué une remontée de magma fluide car l'apport de chaleur dû à l'impact a fait fondre le **manteau** sous-jacent.



NASA ©

### La Lune perd la boussole

Les magnétomètres d'Apollo (ici celui déposé par Apollo 16) ont détecté un champ magnétique très faible qui varie selon les endroits. Alors que le magnétisme de la Terre se diffuse de façon forte et régulière autour d'un axe Nord-Sud, la Lune comporte des sources magnétiques faibles et multiples, comme si plusieurs petits aimants étaient dispersés sur toute sa surface. Une boussole y perdrait le Nord !

“

Le sol est fin et poudreux. Il adhère en fine couche comme du charbon de bois poudreux sur la semelle et les côtés de mes bottes. Je m'enfonce d'à peine quelques centimètres.

*Neil Armstrong, 21 juillet 1969 sur la Lune*

### L'EAU MANQUE

Le sol lunaire est recouvert de **régolithe**, une couche de très fine poussière faite des fragments de roches pulvérisés par les bombardements des météorites et accumulés depuis plus de 4 milliards d'années. Les échantillons de roche lunaire rapportés par les missions Apollo ont permis d'analyser sa composition. Comme sur Terre, l'oxygène est majoritaire. En revanche, aucune présence d'eau, –qui s'est évaporée lors de l'impact géant–, n'a été

détectée, et les roches lunaires sont beaucoup moins variées que leurs cousins terrestres.

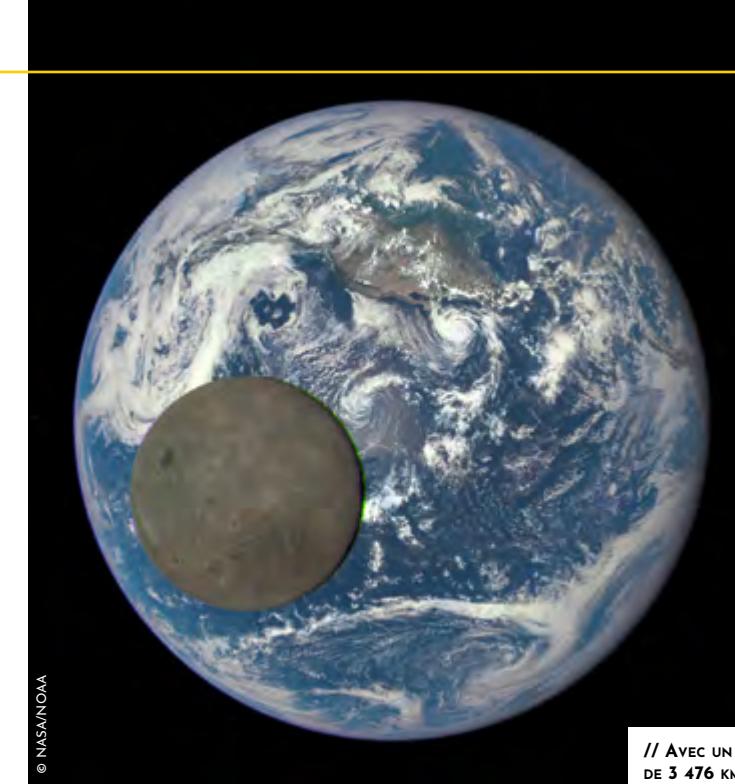
### UN DOUBLE HOSTILE

La Lune est nettement moins accueillante que la Terre ! Du fait de l'absence d'**atmosphère** qui, sur Terre, diffuse la lumière et donne la couleur bleue au ciel, le ciel vu de la Lune est toujours noir. Voilà pour l'ambiance. En raison de cette absence d'atmosphère protectrice, la température

peut dépasser +120°C dans les zones les plus exposées au Soleil et chuter à -230°C dans les zones les plus froides, telles que les zones d'ombre au fond des cratères. Sur-tout, les **radiations** provenant des particules de très haute énergie émises par les **rayons cosmiques galactiques** et les éruptions solaires, par exemple, frappent directement sa surface, et ceux qui s'y trouvent. Impossible pour l'Homme de survivre dans de telles conditions !

# TERRE-LUNE, UN COUPLE UNI

LA LUNE TOURNE AUTOUR DE LA TERRE QUI L'ENTRAÎNE DANS SA COURSE AUTOUR DU SOLEIL. LEURS MOUVEMENTS SONT LIÉS ET CHACUNE EXERCE DES INFLUENCES IMPORTANTES SUR L'AUTRE. DES INFLUENCES VITALES POUR NOTRE PLANÈTE.



**3,8 cm**  
CHAQUE ANNÉE, LA LUNE S'ÉLOIGNE DE 3,8 CM DE LA TERRE. ON ESTIME QU'À SA NAISSANCE, ELLE ÉTAIT DEUX FOIS PLUS PROCHE DE LA TERRE QU'AUJOURD'HUI.



**V**ue depuis la Terre, la Lune change régulièrement d'aspect, de position et de taille dans le ciel. Parce que son orbite autour de la Terre est elliptique, sa distance à la Terre varie au fil de son orbite. Les influences entre nos deux astres changent également d'intensité au fil de ce périple.

La Lune est prisonnière de l'attraction de la Terre : lors de sa formation, elle a acquis une vitesse qui l'a comme « lancée » loin de la Terre. Mais l'attraction de notre planète la fait sans cesse revenir auprès d'elle, avant quelle ne s'en éloigne à nouveau. C'est ce qui la maintient en orbite terrestre, à une distance moyenne de 384 400 km de la Terre.

## CACHE-CACHE

La Lune met environ 28 jours pour faire le tour de la Terre (27,32 jours terrestres) et met un temps presque équivalent à tourner sur elle-même (29,53 jours terrestres) par rapport aux étoiles. C'est pourquoi elle nous présente toujours la même face !

L'attraction exercée sur la Terre par le Soleil, mais surtout par la Lune soulève les eaux terrestres. Cette attraction s'exerce également sur la croûte terrestre qui se soulève et s'abaisse deux fois par jour de quelques dizaines de centimètres. Les marées océaniques provoquent des frottements entre les océans et les fonds marins qui ont pour effet de ralentir la rotation de la Terre mais aussi de provoquer un éloignement de la Lune.

## INDISPENSABLE À LA VIE

Si la Lune s'éloignait de la Terre au point de ne plus agir sur elle, notre environnement serait dangereusement bouleversé. Sans l'attraction de la Lune, l'axe de rotation de la Terre (qui est incliné de 25,5° degrés) pourrait osciller de plusieurs degrés supplémentaires. L'inclinaison de cet axe étant responsable des saisons, s'il augmentait significativement, les saisons seraient beaucoup plus prononcées, avec des variations climatiques d'une telle importance que la vie pourrait être menacée !

## À SAVOIR

Sur la Lune, où règne le vide, il n'y a ni vent, ni pluie pour effacer les traces laissées par les astronautes. Elles resteront visibles pendant plusieurs millions d'années ! Eugene Cernan, le dernier astronaute à avoir marché sur la Lune, a dessiné dans la poussière lunaire les initiales de sa fille : TDC. Une dédicace éternelle !

// LES DONNÉES ET LES ÉCHANTILLONS RAPPORTÉS PAR APOLLO SONT ENCORE ÉTUĐIÉS DANS DIFFÉRENTS LABORATOIRES DU MONDE ENTIER.



# Apollo, accélérateur de sciences

## Des chercheurs sur la Lune

LES PROGRAMMES AMÉRICAINS ET SOVIÉTIQUES DES ANNÉES 60 ONT RAPPORTÉ 382 KILOS DE ROCHE LUNAIRE ET ONT RÉALISÉ DES MILLIERS DE MESURES ET DE CLICHÉS DE LA LUNE. L'ÉTUDE DE CES ÉLÉMENTS A INITIÉ DES AVANCÉES SPECTACULAIRES DANS LA RECHERCHE SPATIALE.

© NASA

**L**ors des missions Apollo, 31 expériences ont été menées dans six régions lunaires différentes. Mesures sismiques, de gravité, analyses de structure chimique des roches, etc. L'objectif était d'en savoir plus sur l'origine de la Lune et son lien avec la Terre.

Mission réussie. L'étude des échantillons lunaires a confirmé la théorie selon laquelle la Lune s'est formée à partir des débris issus d'une violente collision entre la Terre et une petite planète (lire p. 13). Une découverte de taille car, avant Apollo, cette hypothèse était considérée comme la moins probable.

Sa confirmation renforce l'intérêt pour la Lune dont l'analyse aidera à mieux comprendre ses liens intimes avec la Terre.

La présence de nombreux cratères sur la Lune laissait supposer une activité volcanique. Les observations *in situ* et l'examen des roches qui en sont issues a prouvé le contraire. Les cratères de la Lune sont presque tous le résultat d'impacts de météorites et d'astéroïdes. La Lune n'a plus d'activité interne depuis longtemps. Cela a été confirmé par la datation des échantillons lunaires : les roches les plus vieilles ont 4,4 milliards d'années, les plus jeunes 2 milliards d'années.

“

La partie cachée de la Lune ressemble à un bac à sable dans lequel auraient joué mes enfants. Tout est détruit. Il n'y a pas de mots pour le décrire. Ce n'est qu'une succession de bosses et de trous.”

William Anders, astronaute d'Apollo 8



10 % des échantillons collectés par Apollo ont été détruits lors des analyses. Le reste est conservé à Houston, à l'abri de toute contamination. La NASA en distribue quelques milligrammes aux laboratoires qui le demandent mais ils sont préservés pour être analysés plus précisément lorsque les instruments se perfectionneront.

// Dès APOLLO 11, LES ASTRONAUTES ONT MENÉ DES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES COMME LE RECUEIL D'ÉCHANTILLONS DE ROCHE ET DE RÉGOLITHÈ.



### LE MYSTÈRE DE L'EAU

Plusieurs années après Apollo, on a compris que de l'eau pouvait être présente sur certaines parties de la Lune. Elle a été apportée par les comètes, l'eau contenue dans les matériaux originels de la Lune s'étant évaporée au moment de sa formation.

Il faudra en effet attendre 20 ans avant que les missions lunaires ne reprennent et, avec elles, la recherche d'eau sur la Lune. En 1998, grâce à un spectromètre à neutrons, capable de déceler la présence d'hydrogène, la sonde américaine Lunar Prospector signale la présence d'eau sous forme de glace au niveau des pôles,

dans les fonds de cratères à l'ombre du Soleil. Pour en avoir le cœur net, Lunar Prospector est propulsé au fond d'un cratère. Les scientifiques espèrent que l'impact éjectera de la vapeur d'eau. En vain. Mais les missions suivantes, notamment Lunar Reconnaissance Orbiter (USA, 2009) avec LCROSS (partie de la mission dédiée à la détection de glace d'eau au niveau des pôles), confirment que de l'eau est bien emprisonnée sous forme de glace aux pôles de la Lune.

### EXPÉRIENCES BILOGIQUES

Des scientifiques français, soutenus par l'agence spatiale française (CNES), ont participé à l'étude biologique Biostack menée par

Apollo 16 et Apollo 17. Ils ont étudié l'effet des rayons cosmiques sur les êtres vivants, en observant des œufs de crevettes embarqués dans le module de commande. Une étude importante pour la suite des vols habités.

# LA FACE CACHÉE DE LA LUNE

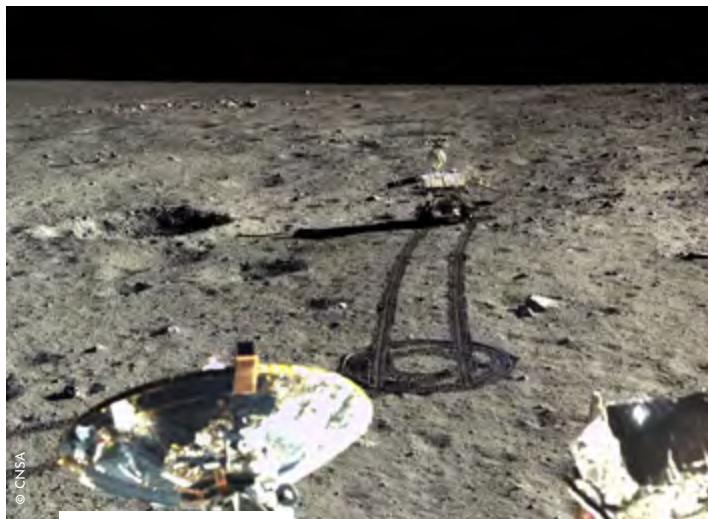
## UNE PORTE VERS L'EXPLORATION LOINTAINE

LES PROGRAMMES D'EXPLORATION DE LA LUNE REPRENNENT. ILS ONT EN COMMUN DE VISER LE PÔLE SUD ET LA FACE CACHÉE DE LA LUNE. CETTE PARTIE DE NOTRE SATELLITE SE PRÉSENTE COMME LE SITE IDÉAL POUR UNE STATION SCIENTIFIQUE LUNAIRE ET L'INSTALLATION D'UNE BASE-RELAIS POUR DES FUTURES MISSIONS LOINTAINES. VERS MARS PAR EXEMPLE.

**P**hotographiée pour la première fois par la sonde soviétique Luna 3 en 1959, la face cachée de la Lune se révèle désormais un objectif de choix. Elle constitue une base idéale pour observer l'Univers ou pour s'entraîner pour un plus long voyage et elle abriterait des ressources énergétiques.

La face de la Lune non observable depuis la Terre (lire page 15) est très différente de la partie visible. Les cratères y sont bien plus nombreux que sur sa face visible. Les alunisages y sont donc plus compliqués. De plus, les communications directes avec la Terre, de l'autre côté de la Lune, sont impossibles.

Pour autant, depuis les années 2 000, une dizaine de sondes américaines (5) et chinoises (3), de sondes japonaise (1), indienne (1) ou européenne (1), s'intéressent à cette partie de la Lune. Fin 2018, le rover chinois Chang'e 4 sera le premier rover, c'est-à-dire véhicule automatique, à s'y poser.

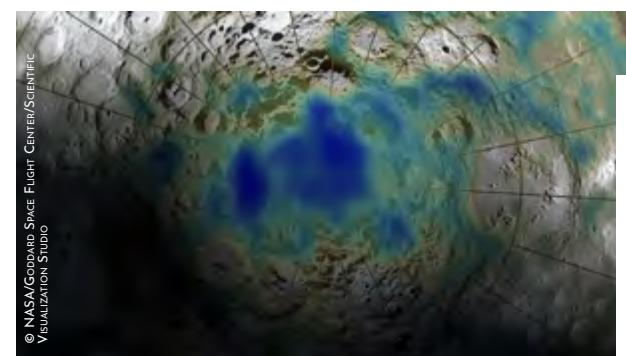


// LA SONDE CHINOISE CHANG'E 3 A DÉPOSÉ LE ROVER LAPIN DE JADE (YUTU) SUR LA LUNE EN 2013. LES DEUX ENGIENS NOUS TRANSMETTENT ENCORE DES INFORMATIONS SUR LE VIEILLISSEMENT DE LEURS COMPOSANTS DANS L'ENVIRONNEMENT LUNAIRE (VIDE ET TEMPÉRATURES EXTRÊMES).

**S'INSTALLER SUR LA LUNE**  
Objectif final : s'installer sur la Lune et/ou construire une station en orbite lunaire. La Chine, la NASA, l'agence russe Roscosmos et l'agence spatiale européenne (ESA), se coordonnent désormais dans ce but commun. L'agence chinoise vise directement la face cachée. L'ESA envisage l'installation d'un « village lunaire », une base internationale au pôle Sud, tandis que la Nasa prépare une station en orbite lunaire, Lunar Orbital Platform-Gateway, dans le but d'en faire une étape vers Mars. L'Europe et la Russie y seront associées.

### DES RESSOURCES MINIÈRES À EXPLOITER

La motivation principale est de préparer les futures missions habitées vers Mars et d'exploiter les ressources de la Lune. Son pôle Sud recèle de l'hydrogène et de l'oxygène, des éléments indispensables pour faire vivre des terriens



**400 mètres**

C'EST LA DISTANCE À LAQUELLE L'ASTRONAUTE ALAN SHEPARD A ENVOYÉ UNE DES TROIS BALLES DE GOLF QU'IL AVAIT EMPORTÉES SUR LA LUNE. RIEN DE SCIENTIFIQUE, MAIS UN RECORD INTERGALACTIQUE !

### À SAVOIR

Pour communiquer avec la Terre, les Chinois ont placé en 2018 le satellite Queqiao sur un des points de Lagrange (le point L2), situé à proximité de la Lune et opposé à la Terre. Dans ces zones, les forces de gravité de la Terre et de la Lune s'équilibrivent et assurent une position stable aux objets qui s'y trouvent. Dans une orbite particulière, dite de halo, le satellite pourra communiquer tour à tour avec le rover et la Terre.

// INSTALLER UNE BASE SUR LA LUNE NE SE FERA PAS SANS L'ASSISTANCE DES ROBOTS. ILS SERONT PAR EXEMPLE UTILES POUR CONSTRUIRE LES STRUCTURES D'HABITAT OU EXPLORER LE SOUS-SOL.

# L'atelier des robots

## Des sondes pour explorer et apprendre

AVANT QUE L'HOMME NE S'Y POSE, DES SONDES ONT OBSERVÉ ET ANALYSÉ LA LUNE ET SON ENVIRONNEMENT, TESTÉ LES ÉQUIPEMENTS. CES MACHINES AUTONOMES ÉTAIENT LES PREMIERS ROBOTS SPATIAUX, SUIVIS DE PRÈS PAR DES ATERRISSEURS (FIXES) ET DES ROVERS (MOBILES).



**L**es programmes spatiaux des années 1960 se sont développés au moment où l'informatique progressait à grands pas. Grâce à elle, les techniques de guidage et de navigation ont fait un bond considérable, ainsi que la programmation, la conduite et la transmission de tâches téléguidées puis automatisées.

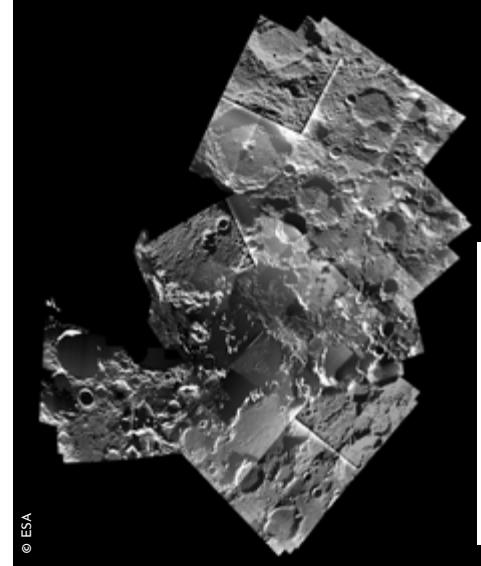
Les premières **sondes** soviétiques Luna ont ainsi permis de valider les vols au-delà de l'attraction terrestre puis jusqu'à la Lune (Luna 1 et 2, et surtout Luna 3 qui a pris la première image de la face cachée 1959) et de s'y poser (Luna 9, 1966). Il s'agissait alors essentiellement de démontrer les capacités techniques de telles missions.

Dans le sillage de ces vols, les Américains ont lancé, entre 1961 et 1968, une dizaine de sondes et d'**atterrisseurs**. Grâce aux images des sondes Lunar Orbiter ils ont pu sélectionner les sites d'alunissage et les atterrisseurs Lunar Surveyor ont pu vérifier que les astronautes ne s'enfonceraient pas dans le sol.

**DES ROBOTS TÉLÉGUIDÉS**  
Devancés par les Américains dans la course aux vols habités, les Soviétiques seront les premiers à envoyer une mission automatique de retour d'échantillons (Luna 16, 1970) puis un robot, le rover Lunakhod 1 (1970) capable de se déplacer sur le sol lunaire, d'y réaliser des clichés et des expériences. Il était téléopéré depuis la Terre.

### DANGERS COSMIQUES

Depuis Lunakhod, les rovers sont devenus les acteurs incontournables de l'exploration lointaine. Les robots peuvent supporter les longs voyages et l'exposition aux rayonnements cosmiques, fatals aux humains. Quatre rovers –Sojourner (1997), Spirit et Opportunity (2004) et Curiosity (2012)– ont ainsi été envoyés sur Mars. Des robots se posent sur des comètes (Rosetta/



// LES SONDES RAMÈNENT AUX SCIENTIFIQUES DE NOMBREUSES IMAGES INÉDITES, COMME CETTE IMAGE DU PÔLE NORD DE LA LUNE, RECONSTITUÉE À PARTIR DE PRISES DE VUES DE LA CAMÉRA MINIATURE DE LA SONDE SMART-1 (ESA, 2003-2006).

Philae, ESA/DLR/CNES, 2014) et des astéroïdes (Hayabusa2/Mascot, JAXA/DLR/CNES, 2018).

Aujourd'hui, alors que l'intérêt pour la Lune est relancé, la Chine ambitionne d'être la première nation à renvoyer des Hommes sur notre satellite. Elle prépare ces futures missions habitées grâce aux premiers rovers lunaires depuis Lunakhod 1. Le robot explorateur Lapin de Jade a aluni en 2013 et la sonde Chang'e 4 devrait se poser sur la face cachée de la Lune fin 2018.



© Petr Mladek / IC / CC BY SA 3.0  
(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)

Lunakhod est le premier robot mobile de l'histoire spatiale. Envoyé sur la Lune en 1970, il y parcourt une dizaine de kilomètres en presque 11 mois. Téléopéré depuis la Terre, il tire son énergie de capteurs solaires placés dans son couvercle qui se referme lors des nuits lunaires glaciales.

### À SAVOIR

Convaincus de la supériorité et de la fiabilité de la machine sur l'Homme, les ingénieurs soviétiques ont recommandé à Youri Gagarine, premier Homme dans l'espace : « Surtout ne touche à rien ! ». Durant le premier alunissage américain, c'est pourtant en prenant les commandes manuelles du LM que Neil Armstrong a réussi à se poser sur la Lune (lire page 5).

# DES ROBOTS POUR AIDER LES HOMMES

ENVOYER DES HUMAINS DANS L'ESPACE PERMET DE RÉALISER DES TÂCHES PLUS PRÉCISES ET PLUS RAPIDES QU'AVEC DES ROBOTS. MAIS LES ROBOTS SONT DES ALLIÉS INDISPENSABLES POUR AIDER LES ASTRONAUTES ET LES SCIENTIFIQUES À TRAVAILLER ET À SURVIVRE DANS DES ENVIRONNEMENTS EXTRÊMES.

**L**es robots résistent davantage aux contraintes du milieu spatial et réduisent les coûts des missions. Pour fonctionner, ils n'ont besoin que d'une chose : de l'énergie, fournie par des panneaux solaires ou une pile, là où les humains ont besoin d'air, d'eau et de nourriture. Robots et humains sont cependant complémentaires.

Les missions Apollo ont démontré l'utilité des machines et des outils pour travailler et se déplacer sur la Lune. Les futurs programmes prévoient donc des assistants intelligents pour aider les astronautes.

Des robots ont déjà été testés à bord de la Station spatiale internationale, (ISS) pour aider

ou remplacer les astronautes dans certaines tâches telles que filmer leurs expériences par exemple, ou réaliser des manipulations à leur place si elles sont ennuyeuses ou dangereuses, notamment lors de sorties extravéhiculaires. Un robot japonais a pour mission de tenir compagnie aux astronautes en leur faisant la conversation !



// DES ROBOTS HUMANOÏDES POURRAIENT RÉALISER DES OPÉRATIONS DANGEREUSES DANS L'ESPACE, PAR EXEMPLE POUR DES SORTIES EXTRAVÉHICULAIRES. CHAQUE AGENCE TRAVAILLE À SON PROJET : JUSTIN POUR L'ESA (EUROPE), FEDOR POUR ROSCOSMOS (RUSSIE) OU, ICI, ROBONAUT POUR LA NASA (USA).



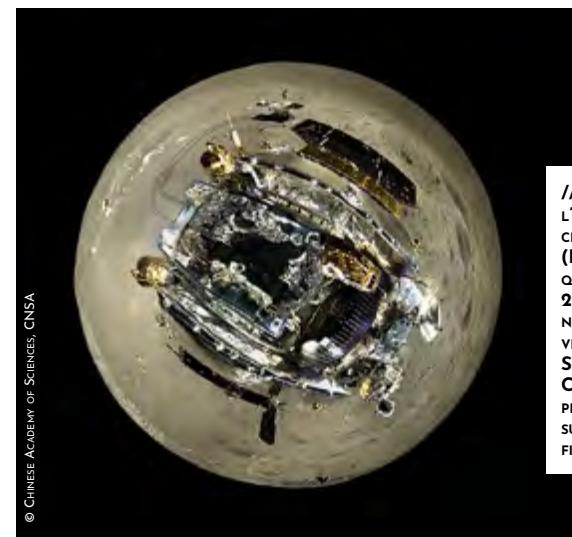
// DES DUOS ALLIANT ROVER ET DRONE POURRAIENT AIDER LES ASTRONAUTES À EXPLORER ET CARTOGRAPHIER MARS.

## ROBOTS OUVRIERS

L'intérêt des robots reste avant tout pratique. Pour construire les futures bases lunaires ou martiennes, les agences spatiales envisagent de recourir à des robots ouvriers. Des engins capables de construire un habitat en 3D, des pelleteuses autonomes, des véhicules-bennes télécommandés pour évacuer ou déplacer les matériaux, etc. Ils seront également indispensables pour réaliser les forages d'extraction de minéraux, d'oxygène ou d'eau.

## DES DRONES EXPLORATEURS

Les futurs projets d'explorations lointaines comptent également sur des duos rover-drone pour ouvrir la voie aux humains. Ces engins autonomes roulants et volants fourniront aux scientifiques restés à Terre ou sur des bases extraterrestres les données nécessaires pour cartographier l'environnement des stations martiennes par exemple.



© CHINESE ACADEMY OF SCIENCES, CNSA

// SELFIE DE L'ATERRISSEUR CHINOIS YUTU (LE LAPIN DE JADE) QUI S'EST POSÉ EN 2013 SUR LA PARTIE NORD DE LA FACE VISIBLE DE LA LUNE. SON SUCCESEUR, CHANG'E 4, ALUNIRA PRÈS DU PÔLE SUD SUR LA FACE CACHÉE, FIN 2018.

8 MHz

C'EST LA PUISSANCE DES PUCE QUI ÉQUIPAIENT L'ATERRISSEUR PHILAE LARGUÉ SUR LA COMÈTE CHURY EN NOVEMBRE 2014. CELLE DE LA PUCE D'UN SMARTPHONE EST DE 1 À 3 GHZ. MAIS PHILAE AVAIT ÉTÉ CONÇU DANS LES ANNÉES 90 ET LANCÉ EN 2004. L'ÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES LAISSENT PRÉSAGER DES CAPACITÉS DES FUTURS ROBOTS.



# Des artistes dans la Lune

## Décrocher la Lune

L'OBSERVATION DE LA LUNE EST PROPICE À LA RÊVERIE. TRÈS TÔT, ÉCRIVAINS, POÈTES, CINÉASTES ONT IMAGINÉ DES VOYAGES VERS CE CORPS INEXPLORÉ ET DONNÉ VIE À DES MONDES LUNAIRES ET À LEURS HABITANTS. CES REPRÉSENTATIONS ONT ÉVOLUÉ SELON LES CONNAISSANCES ASTRONOMIQUES, LES AVANCÉES TECHNOLOGIQUES ET... LA FANTAISIE DES AUTEURS.

// RÉALISÉ EN 1902, LE FILM LE VOYAGE VERS LA LUNE, DU FRANÇAIS GEORGES MÉLIÈS EST LE PREMIER DU GENRE. IL REPRENDS, AVEC HUMOUR, TOUT L'IMAGINAIRE LUNAIRE : PROPELLION PAR CANON, PAYSAGES FANTASTIQUES, ÉTRANGES HABITANTS.

© COLLECTION CINÉMA THÈQUE MÉLIÈS

**B**ien avant que l'Homme ne réussisse le voyage vers la Lune, des artistes ont rêvé de rejoindre notre satellite. Ils ont imaginé pour cela des moyens originaux, parfois précurseurs.

À la fin de l'Antiquité, un auteur grec, Lucien de Samosate, écrit la première histoire de science-fiction lunaire que nous connaissons. Son récit (*Vera Historia, II<sup>e</sup> siècle après J.C.*) met en scène un vaisseau qu'une tempête transporte jusqu'à la Lune, peuplée par les « Hippogypi ».

“

La Terre est le berceau de l'humanité, mais on ne passe pas sa vie entière dans un berceau.

*Constantin Tsiolkovski, inventeur de la fusée et auteur de science-fiction (1857-1935)*

Dans un second récit, Lucien de Samosate envoie sur la Lune son héros Ménippus, grâce à un équipement fait d'ailes de vautour et d'aigle. Les oiseaux (aigles, oies, cygnes...) sont par la suite souvent utilisés comme moyen de se propulser vers la Lune. Et sous la plume de l'astronome Johannes Kepler, ce sont des démons qui transportent les Hommes de la Terre à la Lune (*Somnium, 1634*) ! Seule indication réaliste de son récit, la distance séparant les deux astres, estimée à 370 000 km.

// POUR WALLACE ET GROMIT (1989), LES HÉROS DE PÂTE À MODELER INVENTÉS PAR LE BRITANNIQUE NICK PARK, LA LUNE EST UN RÉSERVOIR À FROMAGE !



**MAGIE ANTI-GRAVITÉ**  
L'idée qu'il faut s'arracher de l'attraction de la Terre avant de pouvoir facilement voyager dans l'espace donne naissance à des procédés « anti-gravité » plus ou moins farfelus. Le français Savinien de Cyrano de Bergerac équipe son héros d'une ceinture de fioles remplies de rosée. Attirée par les rayons du Soleil, cette rosée magique l'élève au-dessus de la Terre (*Histoire comique des États et Empires de la Lune, 1657*). Un métal magique, le « Lunarium », propulse la machine inventée par l'auteur britannique Joseph Atterlay (*Voyage To The Moon, 1827*).

**ANTICIPATION**  
C'est toutefois la bande dessinée qui popularise ensuite les voyages interplanétaires motorisés, et en particulier les albums de Tintin *Objectif Lune* (1953) et *On a marché sur la Lune* (1954). Hergé, l'auteur de Tintin, s'est documenté auprès des scientifiques de l'époque, anticipant de façon crédible le voyage de l'Homme sur la Lune, 16 ans avant Apollo 11.



Romanciers, cinéastes, auteurs de BD de toutes époques consultent scientifiques et ingénieurs pour donner de la crédibilité à leurs créations. Le film allemand *La femme sur la Lune*, de Fritz Lang (1929), témoigne ainsi de la maîtrise technologique des Allemands en la matière.



// LA FUSÉE IMAGINÉE PAR HERGÉ, L'AUTEUR DE TINTIN, A MARQUÉ LES ESPRITS AU POINT DE DEVENIR LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION TYPE DE LA FUSÉE. POUR LA DESSINER, HERGÉ S'EST INSPIRÉ DES MISSILES V2, MIS AU POINT PENDANT LA SECONDE GUERRE MONDIALE PAR WERNHER VON BRAUN, DEVENU ENSUITE RESPONSABLE DE LA FUSÉE SATURN 5 DU PROGRAMME APOLLO.



// DANS LES ANNÉES 1950 ET 1960, LE CINÉMA TROUVE AVEC LA LUNE UN TERRITOIRE DE SCIENCE-FICTION IDÉAL. SES PAYSAGES TOURNENTÉS PEUVENT ACCUEILLIR TOUTES SORTES D'AVENTURES ET DE CRÉATURES.

## FACES DE LUNE

SON APPARENCE AUX FORMES ET AUX COULEURS CHANGEANTES ET SES RELIEFS TOURNENTÉS ATTISENT LES IMAGINATIONS. LA SCIENCE-FICTION A FAIT DE LA LUNE SON PREMIER TERRAIN DE JEU POUR Y CAMPER DES DÉCORS FANTASTIQUES OÙ ÉVOLUENT DES HABITANTS PAS TOUJOURS AMICAUX. ET L'IMAGINAIRE COLLECTIF LA MET EN SCÈNE SANS LIMITES DE GENRE !

**L**es premiers récits de voyage lunaire donnaient libre cours à toutes les fantaisies. Le peu de connaissances sur la réalité de la Lune permettait tous les imaginaires. Cette terre inconnue a inspiré une grande variété de créations : romans, publicités, chansons...

Avec Georges Méliès (*Le voyage vers la Lune*, 1902), la fantaisie est de mise. Pour lui, l'intérieur de la Lune est tapissé de champignons

géants. Plantes et champignons géants peuplent également la Lune dans plusieurs films muets des années 1900. La Lune est alors un décor à la mode, théâtre d'aventures insolites (*Excursion dans la Lune*, 1908, *Mariage interplanétaire*, 1910).

### LA MENACE DES SÉLÉNITES

L'américain H. Wells fait également croquer des champignons lunaires aux héros de son roman *Les premiers hommes dans la*

// LA LUNE EST OMNIPRÉSENTE DANS NOTRE CIEL ET... NOTRE QUOTIDIEN. MÊME LES FROMAGES UTILISENT SON IMAGE, RASSURANTE OU ENVOÛTANTE, POUR RENDRE LEURS PRODUITS PROCHES ET ATTRACTIFS.



© COLLECTION PRIVÉE SERGE SCHÉHADÉ/NONN.CAMEMBERT-MUSEUM.COM

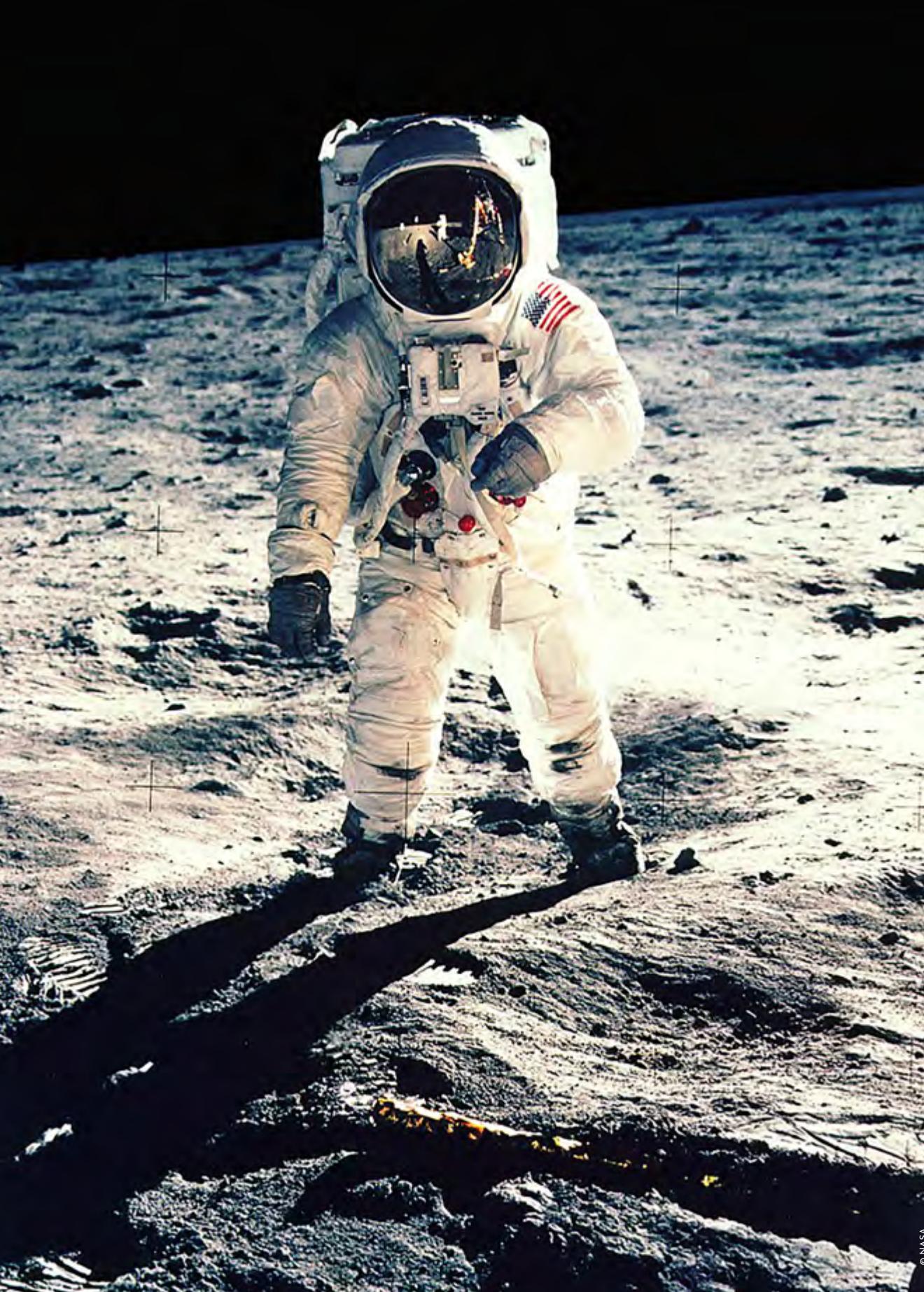
Lune (1901). Ce qui les amène à se frotter aux habitants des lieux, des Sélénites semblables à des fourmis sur deux jambes. Dans les années 1950, la Lune est un terrain de prédilection pour les cinéastes qui la peuplent d'êtres de tous poils : dictateur sanguinaire (*Radar Men from the Moon*, 1953), femmes-chats qui veulent conquérir la Terre (*Cat-Women on the Moon*, 1953) ou divers monstres terrés dans les grottes lunaires (*Missiles to the Moon*, 1958).

### SCIENCE-FICTION RÉALISTE

Après les missions Apollo, le voyage sur la Lune est une réalité, son environnement nous devient de plus en plus familier. Ce sont alors les conditions de vie sur la Lune ou les dangers de l'exploration spatiale qui servent de toile de fond aux aventures imaginaires. Le film *Moon* (Jones Duncan, 2009) exploite à la fois le réalisme technologique et scientifique (son héros travaille sur une base spatiale à l'extraction des ressources en hélium 3) et le fantastique (la Lune semble le rejeter).

## À SAVOIR

Dans l'Antiquité, la Lune était considérée et représentée comme une divinité : le dieu Thot pour les Égyptiens, Nanai chez les Sumériens, Sin, chez les Akkadiens, la déesse Artémis chez les Grecs, appelée aussi Phébé ou Séléné, puis Luna chez les Romains.



## LEXIQUE

### Astéroïde

Petit corps rocheux d'une centaine de kilomètres d'envergure maximum, orbitant dans le système solaire. Les astéroïdes sont en majorité situés entre l'orbite de Mars et celle de Jupiter.

### Atmosphère

Enveloppe de gaz qui entoure une planète ou une étoile.

### Atteuseur

Engin spatial qui étudie un corps céleste en se posant sur celui-ci.

### Charge utile

Élément ou ensemble d'éléments transporté(s) par un véhicule spatial. Sur un lanceur : les satellites, éléments de station, sondes, capsules, etc., mis en orbite par le lanceur ; sur un satellite : les instruments scientifiques.

### Comète

Corps céleste décrivant une orbite autour du Soleil composé de gaz gelés et de poussières. Ces éléments sont éjectés sous forme de coma (ou queue) sous l'effet de la chaleur lorsque celui-ci approche du Soleil.

### Cosmonautique

**(synonyme d'astronautique)**  
Science de la navigation dans l'espace. Ce mot a été créé en 1927 par l'écrivain français Joseph Henri Rosny.

### Croûte

Enveloppe la plus superficielle d'une planète.

### Ergol

Combustible utilisé pour alimenter le moteur d'une fusée.

### Gravitation

Attraction mutuelle de deux corps massifs (de masse non nulle). Cette attraction induit une force de gravitation qui dépend des masses des deux corps et de la distance qui les sépare.

// REMPLISSAGE  
EN ERGOLS D'UN  
SATELLITE AVANT  
SON DÉPART.



sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

### Rayons cosmiques galactiques

Émissions de particules chargées en haute énergie qui circulent dans le milieu interstellaire, à l'intérieur de notre galaxie.

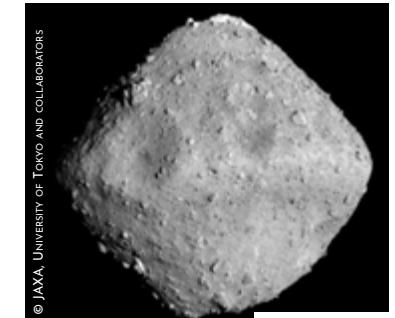
### Révolution

Mouvement orbital d'un objet céleste autour d'un autre corps, qui repasse à intervalle régulier à un même point.

### Sonde spatiale

Engin spatial non habité destiné à explorer l'espace et/ou les corps qui l'habitent.

© JAXA, UNIVERSITY OF TOKYO AND COLLABORATORS



// L'ASTÉROÏDE RYUGU,  
PHOTOGRAPHIÉ PAR  
LA SONDE JAPONAISE  
HAYABUSA2.

# EXPOSITION LUNE ÉPISODE II

50 ans après le premier pas sur la Lune, le 20 juillet 1969, les projets d'un retour vers la Lune reviennent dans l'actualité. Relevons ensemble le challenge du retour de l'Homme vers la Lune !

Avec « LUNE - Épisode II », l'exposition temporaire de la Cité de l'espace, revivez l'exploit Apollo, et préparez ce nouveau défi en découvrant la réalité de l'environnement lunaire et les contraintes des futures missions, expériences à l'appui !

**À partir d'avril 2019**  
à la Cité de l'espace



[www.cite-espace.com](http://www.cite-espace.com)



// PROJET PARABOLE :  
AVEC LE CNES, FAITES VOLER  
DES EXPÉRIENCES DE LYCÉENS  
OU D'ÉTUDIANTS À BORD DE  
L'AIRBUS A310 ZERO-G.

## L'ESPACE EN TÊTE

Le CNES (Centre National d'Études Spatiales) est au carrefour de la recherche et de l'industrie. Il élabore la politique spatiale de la France conduite dans un cadre national, européen ou international.

Fort de ses 4 centres et de ses 2 500 employés, le CNES conçoit, développe et exploite des projets spatiaux : lanceurs, satellites, sondes spatiales et segments sols associés. L'action du CNES est structurée autour de cinq grands domaines d'intervention : **Ariane, Sciences, Observation, Télécommunications et Défense**.

Depuis sa création, en 1961, le CNES mène une politique active de diffusion de la culture spatiale et scientifique auprès des jeunes et des enseignants. La conception et la diffusion de supports d'information est une des illustrations de son action, à côté de la formation d'enseignants et de la mise à disposition de données spatiales et de cahiers des charges pour des projets éducatifs à mener en classe ou en clubs. Les contenus de ce livret documentaire et des fiches d'activités associées sont téléchargeables sur le profil enseignants-médiateurs du site du CNES. Bonne lecture !

[cnes.fr](http://cnes.fr)