

**VOYAGE
DANS
L'ESPACE**

Épisode

41

LA LUNE, CETTE INCONNUE



On croit tout savoir à son sujet... Mais non.

Le balado et les fascicules

Depuis janvier 2018, Claude Lafleur, Mathieu Rancourt et Richard Massicotte produisent un balado consacré à l'exploration de l'espace. Intitulé *Voyage dans l'espace*, il est diffusé sur la plate-forme soundcloud.com. Chaque épisode vous fait parcourir une dimension particulière, qu'il s'agisse de l'exploration d'une planète, de la recherche de vie dans l'Univers ou de l'aventure des astronautes et de ceux et celles qui rêvent d'espace.

Pour chaque balado, ils préparent un exposé détaillé, sous forme de questions/réponses. Ils publient ces exposés sous forme de fascicules pdf, comme celui-ci. Il s'agit donc d'une conversation entre l'animateur de *Voyage dans l'espace*, Richard, et le passionné d'espace, Claude.

Notez que le balado diffusé s'inspire librement des questions/réponses préparées à cet effet. Le texte qui suit n'est pas un verbatim de l'émission, mais plutôt une autre version; le balado et ce fascicule se complètent l'un et l'autre.

Tous les fascicules sont offerts aux abonnés du balado *Voyage dans l'espace*, abonnement au coût de 5\$/mois, via la plate-forme patreon.com.

Mathieu Rancourt est géographe et professionnel de recherche. **Claude Lafleur** est journaliste scientifique qui suit au quotidien depuis cinquante ans les péripéties de l'exploration spatiale. **Richard Massicotte** a été journaliste à la radio de Radio-Canada, notamment aux *Années lumière*.

L'équipe des fascicules:

Rédaction: Claude Lafleur

Révision: Richard Massicotte

Couverture: Mathieu Rancourt

Illustrations: NASA, Paul Houde

Balado: <https://soundcloud.com/voyage-danslespace/>

Abonnement: <https://www.patreon.com/voyagedanslespace>

Facebook: <https://www.facebook.com/voyagedanslespace/>

Courriel: claudio-lafleur1@videotron.ca

© Copyright, Claude Lafleur, 2019

ISBN 978-2-923275-84-0 (pdf)

ISBN 978-2-923275-85-7 (kindle)

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2020

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2020



La Lune, cette inconnue

Écoutez le balado *La Lune, cette inconnue* diffusé le 5 janvier 2020.

Jamais la Lune n'a autant fait parler d'elle que ces derniers mois. Bien sûr, on a souligné en grand le cinquantième anniversaire des premiers pas de Neil Armstrong et de Buzz Aldrin sur notre satellite. On a aussi assisté à trois tentatives d'alunissage de sondes automatiques: une chinoise, une israélienne et une indienne – la première une réussite, mais les deux autres, hélas, des échecs. On parle aussi énormément du programme *Artemis* qui vise à envoyer des Américains sur la Lune au cours de la prochaine décennie, dont une femme.

Plus que jamais depuis les années 1960, la Lune nous fait autant rêver. Voilà qui a de quoi surprendre puisqu'après tout, c'est non seulement l'astre le plus proche de nous – qu'on

peut aisément admirer à l'œil nu et explorer à l'aide d'une simple paire de jumelles –, mais nous l'avons visitée en personne en six occasions. On a donc l'impression de tout connaître à son sujet... ou presque.

Les raisons pour lesquelles la Lune nous fait à nouveau rêver diffèrent bien entendu de celles qu'on avait dans les années 1960. On ne rêve plus de voir ce que c'est que d'être sur la Lune ni de voir à quoi ressemble un paysage lunaire, comme au temps d'Apollo. Il ne s'agit pas non plus de déterminer qui est le meilleur dans le domaine spatial, technologique ou scientifique, comme ce fut le cas au temps de la fabuleuse course à la Lune que se sont livrés Américains et Soviétiques. Non, la Lune nous fait rêver autrement... pour quelles raisons au juste?

La première raison pour laquelle on rêve de la Lune, me semble-t-il, c'est une certaine nostalgie. Certains, surtout des babyboomers, mais également des plus jeunes, rêvent de revivre «la belle époque» du programme Apollo.

D'autres rêvent de rééditer une course à la Lune, cette fois entre Américains et Chinois. Ou encore, dans un esprit d'équité hommes-femmes, certains rêvent de voir l'une d'elles fouler le sol lunaire – et briser ainsi l'ultime plafond de verre, pourrait-on dire.

D'autres rêvent de s'installer sur la Lune, un premier «pied à terre» hors de notre planète. Ils perçoivent la Lune comme un nouveau continent à explorer, un peu à la manière de Christophe Colomb qui a découvert les Amériques

il y a cinq cents ans. Qui sait quels trésors on pourrait découvrir sur ce nouveau continent? On sait que la Lune recèle entre autre de l'énergie à profusion, ce qui pourrait s'avérer le salut éventuel de notre civilisation énergivore?ⁱ

D'autres enfin rêvent de la Lune comme d'un tremplin vers les planètes et peut-être même vers les étoiles? La Lune pourrait ainsi nous servir à développer les technologies et le savoir-faire nécessaires pour éventuellement atteindre la planète Mars. Et qui sait si un jour, on ne s'en servira pas comme base de lancement vers le reste de l'Univers?

Mais, étrangement, si on rêve beaucoup de la Lune, on la connaît pourtant assez mal. Même s'il se publie beaucoup de choses à propos d'un éventuel retour sur la Lune, on parle assez peu d'elle, de ce qu'elle est précisément.



Un jour, un jour, on s'installera sur la Lune...
mais pour y faire quoi au juste?

Le fait est qu'on connaît encore assez peu de choses au sujet de la Lune, malgré l'intense exploration qu'on y a menée dans les années 1960 et 1970. À l'époque, rappelons-le, on cherchait avant tout à apprendre ce qu'il fallait savoir pour y faire parvenir des hommes.

Ce n'est que depuis une dizaine d'années seulement qu'on a entrepris

de l'étudier à fond et dans son ensemble. Et à partir de là, on commence à découvrir des aspects étonnants ou insoupçonnés de notre voisine.

Nous nous concentrons donc sur la Lune: qui est-elle, que savons-nous d'elle et que nous reste-t-il encore à découvrir à son sujet?



Le 9 mai 2019, Jeff Bezos, patron de Blue Origin (et d'Amazon), a dévoilé une maquette en taille réelle de son module d'alunissage *Blue Moon* (ci-contre). Il s'agit en fait d'une plateforme capable d'acheminer 3,6 tonnes de charge utile sur la Lune — qui peut être une cabine habitée, un module-cargo, un véhicule tout-terrain ou autre chose — placée sur le dessus, tel qu'illustré sur la photo du haut.ⁱⁱ



La Lune flottant au-dessus de l'horizon terrestre, photographiée depuis la Station spatiale.

1 – Notre étonnante voisine

[Claude] Je ne sais pas pour vous mais, pour ma part, jamais je ne me lasse de regarder la Lune. Chaque fois que je la vois briller au firmament, je ne puis m'empêcher de m'arrêter quelques instants pour la contempler, songeur...

Deux pensées me viennent alors à l'esprit. En premier lieu: eh oui, nous y sommes allés il y a une cinquantaine d'années maintenant. Une douzaine d'hommes y ont marché.ⁱⁱⁱ Je m'en souviens très bien, puisque je les ai vus faire à la télé. Pourtant, ça me semble si lointain, presque un rêve, presque comme quelque chose d'irréel. Et pourtant...

La seconde pensée qui m'anime lorsque je regarde la Lune suspendue

dans le ciel c'est: à quelle distance de nous se trouve-t-elle?

Bien sûr, je *connais* la réponse, pour l'avoir lu dans des livres. Mais si je ne le savais pas, comment ferais-je pour me faire une idée de la distance à laquelle elle se trouve?

Plus spécifiquement, la question que je me pose alors est la suivante: la Lune est-elle un objet relativement petit qui se trouve à flotter quelque part dans notre atmosphère, au-dessus des nuages ou si, au contraire, il s'agit

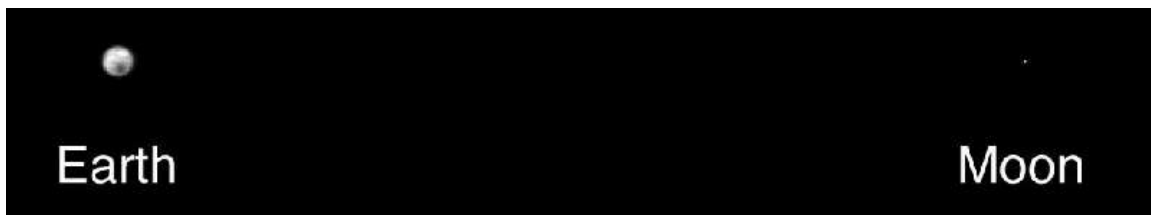
d'un objet gigantesque qui se trouve beaucoup plus loin de nous? Comment faire pour le savoir?

Or, voilà la question que ce sont posés nos ancêtres durant des millénaires. Et même si aujourd'hui, on connaît la réponse, il est difficile de se figurer à quelle distance la Lune se trouve de nous.

Pourtant, Claude, cent cinquante ans avant notre ère, Hipparque^{iv} avait trouvé la réponse, c'est-à-dire qu'il a estimé que la Lune se trouve à une distance égale à trente fois le diamètre de la Terre – donc bien au-delà des nuages et de l'atmosphère.

Tout à fait. Il faut dire qu'Hipparque était nettement plus astucieux que je le suis... d'autant plus qu'il a trouvé la bonne réponse! En effet, la Lune se trouve bel et bien trente fois plus loin de nous que le diamètre de la Terre. (Pour être exact: elle se trouve à 30,13 fois le diamètre de la Terre.)

Restait cependant à déterminer correctement le diamètre de notre planète, ce qui prendra encore mille cinq cents ans. Mais le fait à retenir ici, c'est qu'Hipparque avait déterminé avec justesse que la Lune est un gros objet qui se trouve à grande distance de nous, bien au-delà des nuages...



[Photo](#) prise par la sonde *Mars Odyssey* en 2001 qui illustre le fait que la Lune se trouve à une distance trente fois plus grande que le diamètre de la Terre.

On sait à présent qu'elle se trouve à 385 000 kilomètres de nous. C'est par conséquent un astre de 3500 kilomètres de diamètre. Mais que signifie au juste une telle distance? Comment se figurer ce que signifie cette distance?

Pour ce faire une idée de la distance Terre-Lune, on pourrait imaginer le temps qu'il faudrait pour se rendre à la Lune en avion long-courrier. J'imagine que plusieurs d'entre nous avons pris l'avion pour, par exemple, traverser l'océan Atlantique entre l'Europe et l'Amérique du Nord. Cela prend envi-

ron huit heures à bord d'un avion qui file à la vitesse de 900 km/h.

Or, franchir à cette vitesse les 385 000 kilomètres qui nous séparent de la Lune prendrait... 427 heures, soit 18 jours! Huit heures pour traverser de Montréal à Paris... et dix-huit jours pour atteindre la Lune!

Mais attention là, la distance Terre-Lune varie, puisque notre satellite naturel gravite sur une orbite elliptique (en forme d'œuf). En réalité, la distance Terre-Lune varie de 356 700 km à 406 300 km. C'est-à-dire que si on partait au moment où elle se trouve le plus proche de nous,

il nous faudrait mettre 16½ jours pour l'atteindre, tandis que si on partait lorsqu'elle se trouve à son point le plus distant, on mettrait presque 19 jours. On aurait donc intérêt à s'envoler au bon moment!

Mais nous savons que les astronautes d'Apollo ne mettaient qu'environ trois jours pour y parvenir. Ils allaient donc beaucoup plus vite qu'un jet...

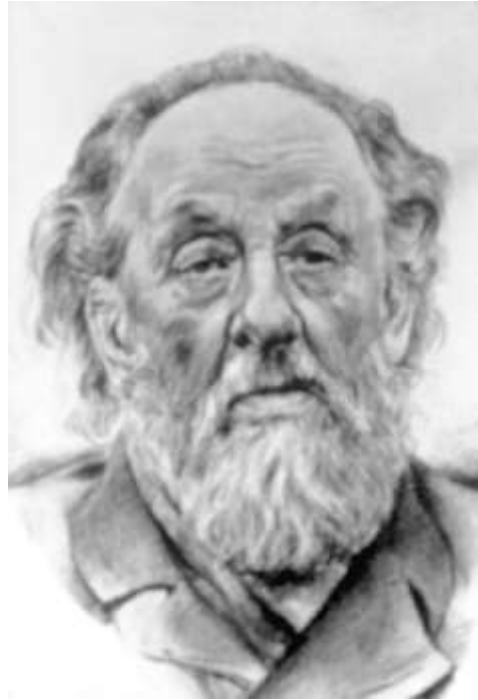
Peut-être serez-vous surpris d'apprendre qu'on ne décide pas de la vitesse avec laquelle on se rendra à la Lune, mais qu'au contraire, on doit respecter une vitesse très précise?

Ah oui, comment ça?

Comme nous l'avons déjà expliqué, pour aller dans l'espace, il faut atteindre la vitesse de 28 000 km/h,^{vii} vitesse qui permet de nous placer en orbite autour de la Terre. C'est la vitesse à laquelle se déplacent les satellites et la Station spatiale internationale.

Mais si vous voulez quitter la Terre, quitter l'orbite terrestre, vous n'avez pas le choix que d'atteindre la vitesse de 40 000 km/h.

Que se passe-t-il si on n'atteint pas cette vitesse de 40 000 km/h, si disons, on filait à 35 000 ou même à 39 000 km/h «seulement»?



C'est le savant russe Constantin Tsiolkovski^{vi} (1857-1935) qui a le premier établi et calculé les trois vitesses cosmiques.

Immanquablement, on demeurerait prisonnier de la Terre, toujours en orbite terrestre. Pour quitter la Terre, il faut atteindre ce qu'on appelle la *deuxième vitesse cosmique*: 40 000 km/h. Et à partir de là, on peut s'élancer non seulement vers la Lune mais également vers n'importe quel astre du Système solaire.

Soulignons au passage que la *première vitesse cosmique*, c'est celle de 28 000 km/h, qui permet de

se satelliser, tandis qu'il existe une *troisième vitesse cosmique*, qui permet de quitter le Système solaire. Cette troisième vitesse cosmique s'élève à 150 000 km/h.^{viii}

On se rend donc à la Lune à la vitesse de 40 000 km/h. Mais puisque la Lune se trouve en moyenne à 385 000 km de nous, il faudrait – si mes calculs sont bons – moins d'une dizaine d'heures pour y parvenir, n'est-ce pas? Or, les astronautes y mettaient trois jours. Y'a quelque chose qui cloche là?

Exact! En fait, 40 000 km/h, c'est la vitesse au départ de la Terre. Mais au fur et à mesure qu'on s'éloigne, on perd de la vitesse, puisque la gravité terrestre tente de nous retenir.

C'est comme lorsque vous et moi, on lance une balle dans les airs. On lui donne une certaine vitesse de départ qui lui permet de s'élever, de prendre de l'altitude. Mais graduellement, la balle perd sa vitesse, jusqu'à atteindre zéro, pour ensuite retomber.

Ah oui, je vois: pour atteindre la Lune, il faut donc au départ acquérir une vitesse suffisante pour échapper à la gravité de la Terre. Or, si on part avec une vitesse de 35 000 ou de 39 000 km/h, on n'aura pas la vitesse

requise pour s'affranchir de la force de gravité de la Terre, et on retombera comme une balle lancée en l'air... à moins que l'on soit capturé par la gravité de la Lune?

Eh oui. Le truc consiste en effet à acquérir suffisamment de vitesse pour s'approcher de la Lune et être capturé par son champ de gravité. Cela survient lorsqu'on a parcouru environ les six septième de la distance Terre-Lune.

À partir de là, on tombe vers la Lune. C'est dire que notre vitesse, qui a diminué constamment depuis notre départ de la Terre se met alors à augmenter, attiré qu'on est; on chute littéralement vers la Lune!



Ce dessin illustre la trajectoire empruntée par les astronautes d'Apollo pour se rendre à la Lune. Notons que la distance séparant la Terre et la Lune est dix fois plus grande qu'illustrée ici, mais la tête de flèche indique à peu près où on passe de la gravité terrestre à la gravité lunaire.

C'est un peu comme si, au départ de la Terre, on se donnait une erre d'aller suffisante pour monter une côte. Parvenu au sommet, aux environs de six septième de la distance Terre-

Lune, on se mettait alors à redescendre naturellement ... en acquérant de plus en plus de vitesse.

C'est exactement ce qui se passe.

Mais attention, il y a là un problème. En tombant vers la Lune, on acquiert pas mal de vitesse, en fait beaucoup trop de vitesse pour se placer naturellement en orbite autour de la Lune. Ainsi, au moment où on arrive près d'elle, on va trop vite et on passe tout droit.

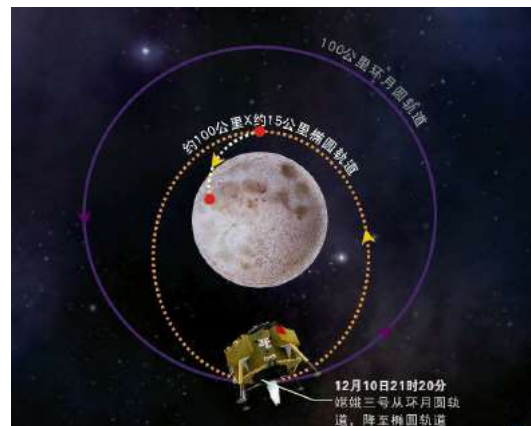
Un peu comme quelqu'un qui dévalerait si rapidement une pente qu'il serait incapable de prendre un virage?

C'est en quelque sorte cela. De fait, on aborde la Lune avec trop de vitesse pour être arrêté naturellement par sa force de gravité. Normalement, on passerait tout droit... pour aboutir en orbite autour du Soleil. Il nous faut donc freiner, c'est-à-dire se servir de

puissants moteurs-fusées pour se donner un bon coup de frein. Il faut réduire sa vitesse de quelques 3000 km/h. Et ce coup de frein se fait en quelques minutes seulement. Tout un freinage!

Étonnant tout de même. Si on résume: il faut une grande vitesse pour quitter la Terre, vitesse qu'on perd au fur et à mesure qu'on s'éloigne. Mais après avoir échappé à la gravité terrestre, on est capturé par celle de la Lune. Mais celle-ci nous attire trop fortement et nous confère trop de vitesse pour s'y arrêter naturellement.

Pas mal plus difficile de se rendre à la Lune que de traverser les océans en jet!



Coup de frein donné par une sonde, ici une Chang'e chinoise, pour se placer en orbite lunaire.

2 – De quelle couleur est la Lune?

Lorsqu'on regarde la Lune briller au firmament, on ne sait pas trop de quelle couleur elle est au juste. Les soirs de pleine lune, elle paraît plutôt pâle, presque blanche, mais d'un blanc cassé, sale... Et lorsqu'elle est en phase, la Lune nous apparaît plutôt grise. Chose certaine, elle est dénuée de toute couleur vive et n'a pas l'éclat de la Terre. Mais de quelle couleur est donc la Lune?

C'est une excellente question, puisque c'est celle qu'on s'est empressé de poser aux astronautes d'Apollo 8, peu après qu'ils se soient placés en orbite autour de la Lune le 24 décembre 1968. Il s'agissait des premiers hommes à pouvoir observer la Lune à cent kilomètres seulement.

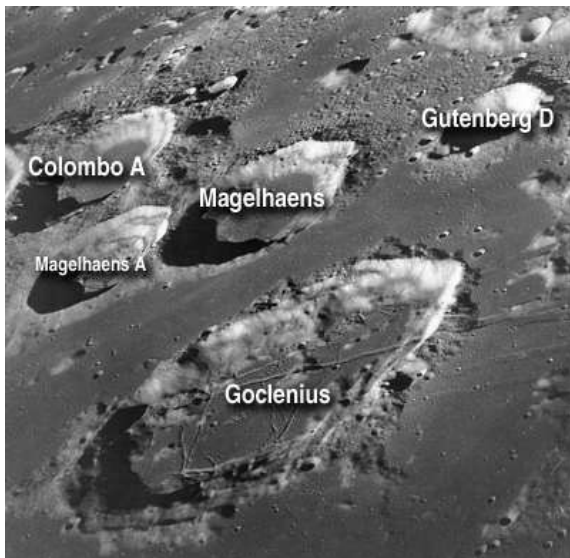
Et alors, leur réponse a été...

Eh bien, ils n'ont pas trop su quoi répondre!

Sous certains éclairages, la Lune leur est apparue très pâle – de la couleur du plâtre de Paris, a dit l'un d'eux –, tandis que sous d'autres éclairages, elle leur est apparue essentiellement grise, parfois même d'un gris très foncé. Et dans certaines circonstances, la Lune peut même revêtir des teintes de brun, presque comme de belles plages dorées. Tout est une question d'éclairage.^{ix}



Quelques-unes des photos de la Lune prises par les astronautes d'Apollo 8 en décembre 1968. Les trois hommes ont rapporté que la Lune est essentiellement grise, mais de teintes très variables selon l'éclairages et offre des paysages fort variés de sols couverts de cratères.



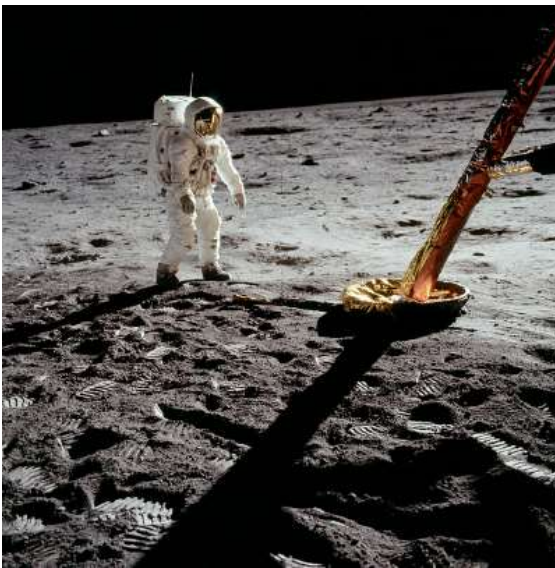


Photos qui illustrent les changements d'apparence du sol lunaire selon l'éclairage.

Mais, la Lune doit bien avoir une couleur propre à elle, n'est-ce pas?

En fait, vue de très près – lorsqu'on est sur son sol –, on constate que la véritable couleur de la Lune est, en général, celle du vieil asphalte.

On sait qu'une couche fraîche d'asphalte est d'un gris plutôt foncé. Mais lorsque l'asphalte vieillit, il devient plus pâle. C'est ainsi que sous un intense éclairage – en plein soleil par un bel après-midi d'été –, l'asphalte nous paraît parfois assez pâle, une sorte de blanc sale. Voilà ce qui se passe sur la Lune.



Le sol lunaire... «gris asphalte»!

Mais pourtant la Lune n'a pas été asphaltée! Comment explique-t-on sa couleur?

La Lune est un monde non pas de sable ni de terre, comme ici, mais de roche. Son sol est couvert d'un nombre infini de roches et d'une épaisse couche de poussière de roche. On dit du sol lunaire que c'est du régolithe, c'est-à-dire une couche de poussière produite par l'impact des météorites à sa surface, impact qui broie la roche en une très fine poudre.

Sur Terre, on retrouve beaucoup de terre (noire) constituée en grande partie de résidus de matière organique en décomposition, ainsi que du sable, provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale et organique (coquilles, squelettes de coraux, etc.). Et bien sûr, il y a aussi de la roche. Mais la Lune est exclusivement un monde de roche et de poussière de roche, donc gris asphalte.

Et le sol lunaire, il sent quelque chose de différent de notre terre?

Oui. Lorsqu'on tient une poignée de terre dans nos mains, on sent une certaine odeur, souvent une «bonne odeur de terre humide» (ou quelque chose du

genre). Quant au régolithe lunaire, il sent dit-on la poudre explosive, la poudre de fusil... ou de feu d'artifice, si vous préférez.

À bon, comment ça?

C'est ce que nous ont rapporté les astronautes d'Apollo qui ont porté à leur nez un peu de poussière lunaire. Ils nous ont dit que ça sentait la poudre de fusil.

Or, cette odeur s'explique. Comme on sait, sur la Lune, il n'y a pas d'atmosphère, et donc pas d'oxygène libre dans l'air. Mais lorsqu'un astronaute porte à son nez un peu de poussière lunaire, il l'expose nécessairement à l'air ambiant. Or, lorsque du régolithe entre en contact pour la première fois avec de l'oxygène, il réagit un peu comme de la poudre de fusil... qui dégage une odeur particulière pour la même raison (exposition soudaine à l'oxygène de l'air à la suite d'une explosion).

Mais est-ce à dire que le régolithe «explose» sous le nez des astronautes?

Heureusement pas, mais c'est une crainte qu'ont exprimés certains avant les premiers pas de l'homme sur la Lune.

On sait qu'avant de sortir de leur module lunaire, les astronautes procédaient à la dépressurisation de leur cabine, en chassant tout l'oxygène. Ils faisaient ainsi le vide de l'air de leur cabine, pour obtenir le même niveau de vide qui règne sur la Lune.

Certains ont donc émis la crainte que, lorsque les astronautes seraient de retour dans leur cabine et au moment où ils procéderaient à la pressurisation de celle-ci (en injectant de l'oxygène), la poussière lunaire qu'ils auraient inmanquablement accumulée sur leurs bottes et leur scaphandre, pourrait s'enflammer.

Par contre, ce danger avait été jugé très peu vraisemblable... mais sait-on jamais! Fort heureusement, ce n'est pas ce qui se passa. S'il est exact que le régolithe réagit à son contact avec l'oxygène de la cabine, un peu comme la poudre de fusil, ce n'est pas au point d'exploser ni de s'enflammer.

Heureusement pour eux car, comme on le constate sur les photos, le scaphandre des marcheurs lunaires était souvent très poussiéreux. Et bien davantage même qu'on s'y attendait, n'est-ce pas?



Charles Duke, le 10^e homme à marcher sur la Lune, les jambes couvertes de «sue» lunaire.

Tout à fait. Les astronautes ont vite découvert que la poussière lunaire est extrêmement collante et qu'elle s'infiltrait absolument partout – un peu comme de la suie. En fait, ils ont eu beau faire attention durant leur sortie et tenter de se dépoussiérer le mieux possible avant de rentrer dans leur module lunaire, ils emportaient avec eux pas mal de poussière.

De fait, le régolithe lunaire est si collant et s'infiltrait absolument partout – étant donné qu'il est constitué de particules très fines – que cela posera un sérieux problème aux éventuels résidents de la Lune.

Un autre problème qu'on a découvert, c'est le fait que le régolithe lunaire est très corrosif, n'est-ce pas?

Ah oui, et ça, ça été une grande surprise! À la suite du retour sur Terre des astronautes, les techniciens ont découvert avec stupeur que les scaphandres ont été assez «sévèrement endommagés» par la poussière lunaire, et en particulier, les pièces et joints métalliques. Pourtant, les astronautes n'avaient passé qu'une journée ou deux sur la Lune, y marchant tout au plus une vingtaine d'heures.

Là encore, la corrosion due au régolithe risque de poser un sérieux problème...

D'autre part, on observe que les paysages lunaires sont très différents de ce à quoi on est habitué sur Terre. Bien sûr, le ciel lunaire est noir, même en plein jour, parce qu'il n'y a pas d'atmosphère. Mais on observe

également, pour emprunter l'expression de Buzz Aldrin: «une magnifique désolation».

En fait, une chose qui ne se perçoit pas sur les photos, mais qui donne un aspect très particulier aux paysages lunaires, c'est qu'il s'agit de *très vieux* terrain...

Ce que les astronautes avaient sous les yeux, ce sont des paysages qui n'ont guère changés depuis... des centaines de millions d'années! Voilà quelque chose qu'on ne peut même pas envisager ici sur Terre.

En effet, nos paysages changent constamment. Non seulement y a-t-il la météo, les phénomènes climatiques et la vie qui transforment sans cesse nos sols, mais il y a aussi sur Terre une géologie très active (érosion des sols due au vent et à l'usure de l'eau, le volcanisme, les tremblements de Terre, etc.) qui sans cesse transforment la surface. C'est ainsi que la surface terrestre est constamment remodelée; nulle part sur Terre retrouve-t-on des terrains inchangés depuis des millions d'années.

Mais à l'évidence, ce n'est vraiment pas ce qu'on vu les astronautes d'Apollo 11!

Eh non. Si Neil Armstrong et Buzz Aldrin avaient exploré la Mer de la Tranquillité il y a des dizaines ou de centaines de millions d'années, ils se seraient trouvés devant le même paysage! Voilà quelque chose d'impensable ici sur Terre.



La Mer de la Tranquillité était demeurée inchangée depuis des millions d'années... jusqu'à ce que Neil Armstrong et Buzz Aldrin y posent le pied.

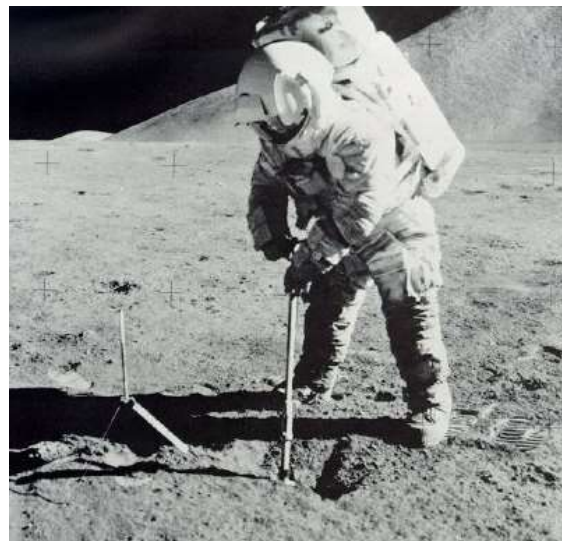
En conséquence, un autre aspect hallucinant de la Lune, c'est que les cailloux qui s'y trouvent datent de *milliards* d'années! Et ils sont là par terre – ou par lune! – depuis des centaines de millions d'années.

Quand on y pense, ça doit être extraordinaire de se dire: «Le caillou que je ramasse et que je tiens dans ma main est là depuis bien avant l'apparition des premiers humanoïdes sur Terre... peut-être même depuis bien avant l'apparition des premières formes de vie sur la terre ferme de notre planète!»

En effet, les échantillons de sol lunaire que nous ont rapportés les six équipages d'Apollo dataient de deux, trois ou quatre milliards d'années – ce qu'on ne retrouve pas sur Terre.^x

Et c'est là un aspect très intéressant que nous offre la Lune. Notre satellite naturel recèle un bel échantillonnage de la matière qui a servi à fabriquer la

Terre. Rapporter des roches lunaires dans nos laboratoires nous permet d'entrevoir ce qu'était notre monde peu après sa formation.



Le caillou que s'apprête à récolter James Irwin est là depuis des millions d'années...

La Lune est, en quelque sorte un dépôt d'archives qui nous permet d'étudier nos origines.



Ces traces de roues, faites par le chariot trainé par les astronautes d'Apollo 14, demeureront tels quels sur la Lune durant des millions d'années, à moins que...

Peu après leur arrivée en orbite autour de la Lune, au soir du 24 décembre 1968, les astronautes d'Apollo 8 se sont fait poser la question suivante:

«Apollo 8, ici Houston. À quoi ressemble cette bonne vieille Lune vue à 100 km d'altitude?»

La réponse à cette question constitue la première description détaillée que nous avons eue de la Lune vue de si près:

«Très bien, Houston. La Lune est essentiellement grise, aucune couleur; ça ressemble à du plâtre de Paris, à une sorte de vaste plage de sable gris.

Nous pouvons discerner pas mal de détails. La Mer de la Fertilité ne ressort pas aussi clairement ici que ce qu'on voit depuis la Terre. Il n'y a pas beaucoup de différence entre elle et les cratères des environs... Les cratères sont tous arrondis. Il y en a vraiment beaucoup, certains sont récents. Plusieurs semblent avoir été percutés par des météorites ou d'autres projectiles du genre. (...) Langrenus est un énorme cratère au centre duquel se trouve un piton. (...) Les parois du cratère sont en terrasse – six ou sept niveaux de terrasse – jusqu'au fond du cratère.



Deux exemples de roches lunaires rapportées par les astronautes d'Apollo et qui ont plusieurs milliards d'années d'existence.

3 – Coïncidences ou pas?

On a dit plus tôt que la Lune fait 3500 km de diamètre, soit le quart de la taille de la Terre. Sa circonférence est par conséquent de 10 900 km (selon la célèbre formule mathématique: la circonférence c égale deux fois le rayon r multiplié par pi).

Et pour reprendre notre analogie d'un avion qui vole à 900 km/h, il faudrait une douzaine d'heures pour en faire le tour, soit à peu près le temps qu'il nous faut pour faire un aller-retour Montréal-Londres. (Le diamètre de la Terre étant de 40 000 km, il faudrait près de deux jours (45 heures) pour en faire le tour.) Et à quoi correspond la superficie de la Lune?

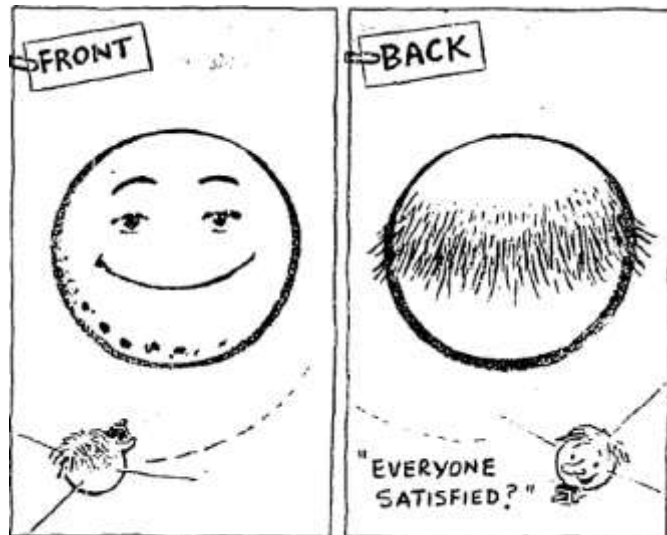
La superficie de la Lune s'élève à 38 millions de kilomètres carrés, ce qui correspond à un peu plus de celle de l'Amérique du Nord et de l'Europe réunis (35 millions de kilomètres carrés).

Alors qu'on a tendance à diviser notre monde entre hémisphère nord et hémisphère sud, on perçoit plutôt que la Lune a une face visible et une face cachée. Pourquoi ces distinctions?

Sur Terre, on parle de l'hémisphère nord, où se trouve l'essentiel des terres habitables, et de l'hémisphère sud, où on trouve surtout de vastes océans. Par contre, la Lune nous présente toujours la même face et jamais l'autre, c'est pourquoi on parle d'une face visible et d'une face cachée.

Voilà d'ailleurs qui nous a beaucoup intrigués. Comment se fait-il que la Lune nous présente toujours la même face?

Techniquement, la réponse à cette question est assez simple: la Lune nous présente toujours la même face parce qu'elle fait un tour sur elle-même en exactement le même temps qu'elle prend pour faire le tour de la Terre, soit 27 jours et 8 heures. Autrement dit, sa période de *révolution* autour de la Terre a la même durée que sa période de *rotation* sur elle-même.

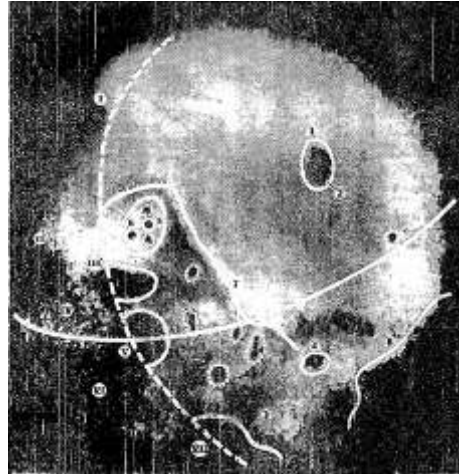
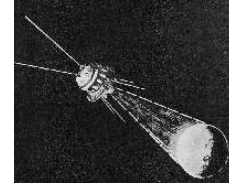


Franklin in the London Daily Mirror

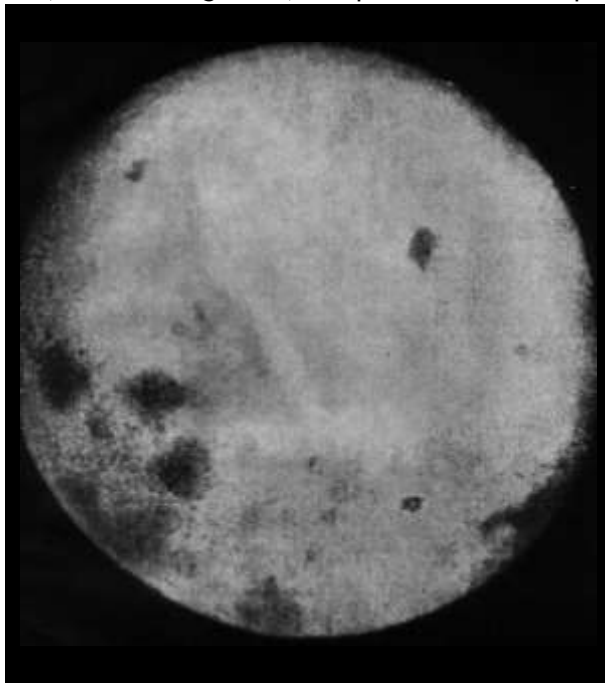
À quoi ressemble la face cachée de la Lune? C'est la question qu'on s'est longtemps posée. Or, en octobre 1959, au moment où la sonde soviétique Luna 3 a pris la première photo de cette face, un caricaturiste du *London Daily Mirror* nous proposait sa propre hypothèse...

Première photo de la face cachée de la Lune

En octobre 1959, la sonde lunaire soviétique Luna 3 (ci-contre) nous donne un premier aperçu de la face cachée de la Lune, une photo malheureusement floue (ci-dessous). Néanmoins, elle accomplissait un prodige technologique (pour l'époque) en parvenant à contourner la Lune, à la photographier, puis à développer la pellicule à bord et à nous transmettre l'image sur Terre, le tout en mode automatique.



Le 27 octobre 1959, les Soviétiques diffusent la première prise de vue de la face cachée de la Lune, ci-dessus à gauche, une photo floue mais qui nous permet de se faire une idée.^{xi}



La première chose qui frappe, c'est l'absence de vastes régions sombres (qu'on appelle mers sur la face visible). L'illustration en haut à droite sert à nous repérer. La ligne horizontale qui traverse la photo indique l'équateur lunaire, tandis que la ligne verticale délimite la face visible (à gauche) de la face cachée (à droite). Le chiffre 1 désigne la «Mer de Moscou»; un cratère de 300 km de diamètre; 2, la «Baie des cosmonautes»; 3, portion de la Mer australe (visible depuis la Terre); 4, 5, et 6, des cratères; 7 le «Mont soviétique» et 8, la «Mer des rêves». Les chiffres romains indiquent des portions de mers visibles depuis la Terre. Ci-contre, la photo «nettoyée» et retravaillée qui donne une meilleure idée de ce qu'a photographié Luna 3.

La Lune en 360°

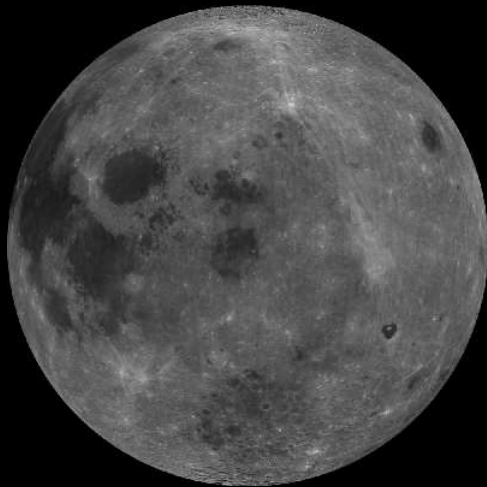
Les quatre photos ci-dessous nous font faire un tour complet de la Lune.



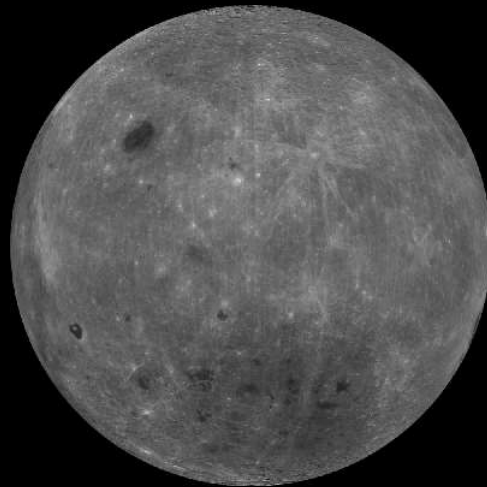
La Lune vue du côté ouest.
(«Côté gauche»)



La face visible de la Lune.
(«Face avant»)

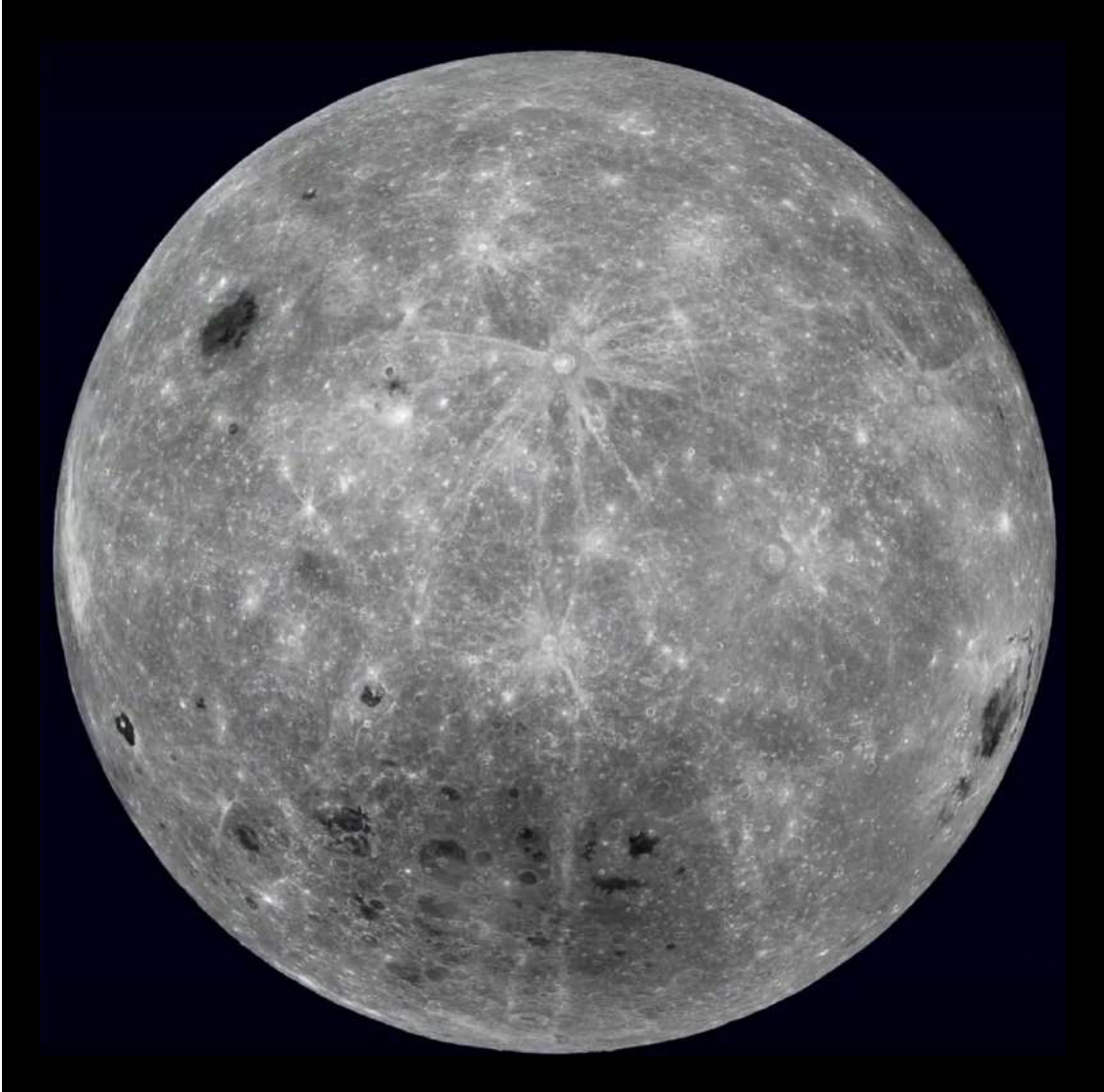


La Lune vue du côté est.
(«Côté droit»)



La face cachée de la Lune.
(«Face arrière»)

Voir photos en grande taille de l'hémisphère [gauche](#), [avant](#), [droit](#) et [arrière](#).



La face cachée de la Lune... telle qu'on ne peut jamais la voir; remarquez l'absence de mers.

Imaginez deux danseurs qui se tiennent par les mains l'un en face de l'autre... Le premier demeure au centre et fait tourner son partenaire autour de lui. De la sorte, le second effectuera un tour sur lui-même tout en faisant le tour du premier danseur, en lui faisant toujours face. Essayez la chose, vous verrez...

C'est tout à fait ce qui se passe, à une différence près. Si la Lune se com-

porte comme le danseur extérieur, en faisant un tour sur elle-même en même temps qu'elle fait le tour de la Terre – en 27 jours et 8 heures –, la Terre, elle, tourne sur elle-même en 24 heures seulement.

C'est dire que si la Lune nous présente toujours la même face, la Terre se présente toujours différemment à la Lune. Et depuis la Lune, la Terre

apparaît comme le visage d'une personne regardée à quatre mètres de distance. D'éventuels colons lunaires auront donc la chance, eux, de ne pas toujours voir le même visage de la Terre!

Ils pourront en effet admirer le défilement des continents et des océans, tandis que nous sur Terre, on voit toujours le même visage immuable de la Lune.



Les astronautes d'Apollo ont eu de la difficulté à photographier la Terre depuis le sol lunaire puisque celle-ci se trouvait haute dans le ciel (souvent au zénith). Ici, la Terre, en compagnie de Harrison Schmitt (le 12^e explorateur de la Lune) et de la bannière américaine.

Ils pourront aussi observer l'évolution de la météo sur Terre, tandis que nous, on ne voit jamais aucune changement à la surface de la Lune.

Mais est-ce une coïncidence si la Lune tourne sur elle-même au même rythme qu'elle prend pour effectuer une révolution autour de la Terre?

Non, ce n'est pas une coïncidence, car la rotation de la Lune a été conditionnée par la force de gravité de la Terre.

Comme on sait, la Terre est beaucoup plus grosse que la Lune; elle est en fait 81 fois plus massive.



Comparaison de la taille de la Terre et de la Lune. (Véritables [photos](#).)

Or, si au départ, la Lune tournait plus rapidement sur elle-même – et en moins de temps qu'elle en prenait pour en faire le tour –, à la longue, l'intense force de gravité exercée par la Terre sur elle a fini par la «caler», par faire en sorte que la Lune nous présente toujours le même hémisphère, la même face.

Comme un danseur qui tient son partenaire par les mains pour le faire tourner autour de lui.

Ce n'est donc pas là une belle coïncidence, ni même un phénomène exceptionnel, puisqu'on observe la même chose un peu partout à travers le Système solaire. C'est notamment le cas de Phobos et de Deimos, les lunes de Mars, ainsi que d'Io, d'Europe, de Ganymède et de Callisto, les principaux satellites de Jupiter, de même que pour bon nombre de lunes

de Saturne, d'Uranus, de Neptune, etc. Le phénomène de la «face cachée» est donc assez fréquent?

En effet, un peu partout à travers le Système solaire, chaque fois qu'un satellite naturel se trouve assez proche d'une planète beaucoup plus massive que lui, cette dernière «met à sa main» la révolution de sa lune, de sorte que celle-ci adopte une période de révolution égale à la durée de sa révolution autour de la planète-mère. Elle lui présente par conséquent toujours la même face. Et c'est quelque chose de fréquent.

Il y a par contre une belle coïncidence – c'est le cas de le dire – qu'on ne retrouve nulle part ailleurs dans le Système solaire... et peut-être même que très rarement dans l'Univers. De quoi s'agit-il?

Il s'agit du phénomène, spectaculaire, des éclipses de Soleil, c'est-à-dire lorsque la Lune passe devant le Soleil et l'éclipse (par rapport à nous sur Terre). Or, le fait que le disque lunaire recouvre *très précisément* celui du Soleil est le fruit d'une formidable coïncidence.

En effet, le diamètre de la Lune est 400 fois plus petit que celui du Soleil, mais notre Lune se trouve par bonheur 400 fois plus proche de nous que le Soleil.

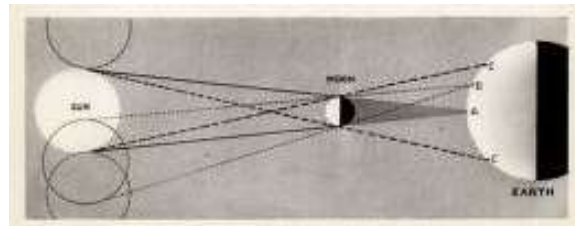
Autrement dit, si la Lune avait été un peu plus loin de la Terre, ou un peu plus petite, ou si le Soleil avait été un peu plus gros ou un peu plus proche...,



La taille apparente de la Lune égale précisément celle du Soleil. Ô belle coïncidence.

nous n'aurions jamais assisté à des éclipses aussi parfaites. ^{xii}

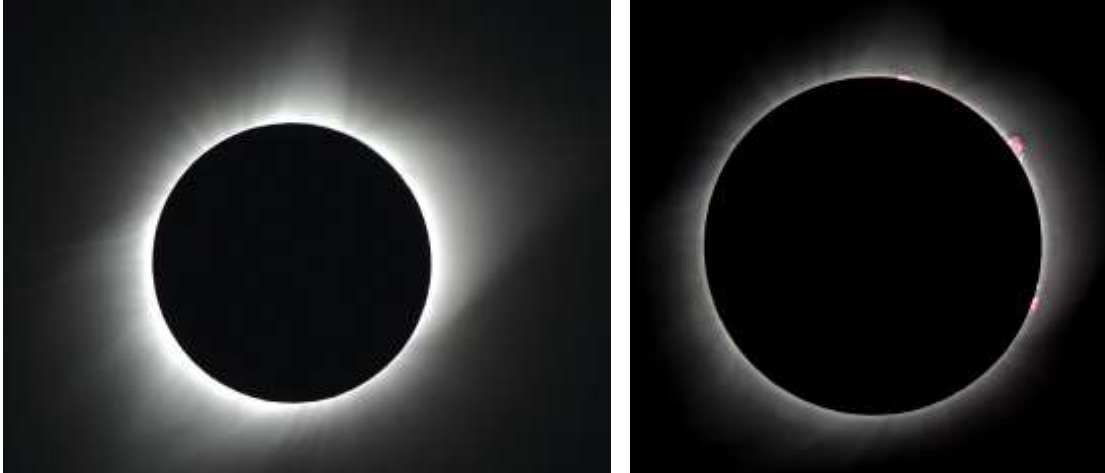
Or, nulle part ailleurs dans le Système solaire ne retrouve-t-on une si belle concordance... et probablement très rarement à travers l'Univers!



Au moment d'une éclipse de Soleil, nous qui sommes sur Terre (à droite), nous voyons la Lune (au centre) passer devant le Soleil.

Cette belle coïncidence nous offre non seulement le privilège d'assister à un spectacle majestueux – tous ceux et celles qui ont un jour assisté à une éclipse totale de Soleil en garde un souvenir réellement émouvant, mais ça été longtemps l'occasion de mener d'importantes observations scientifiques.

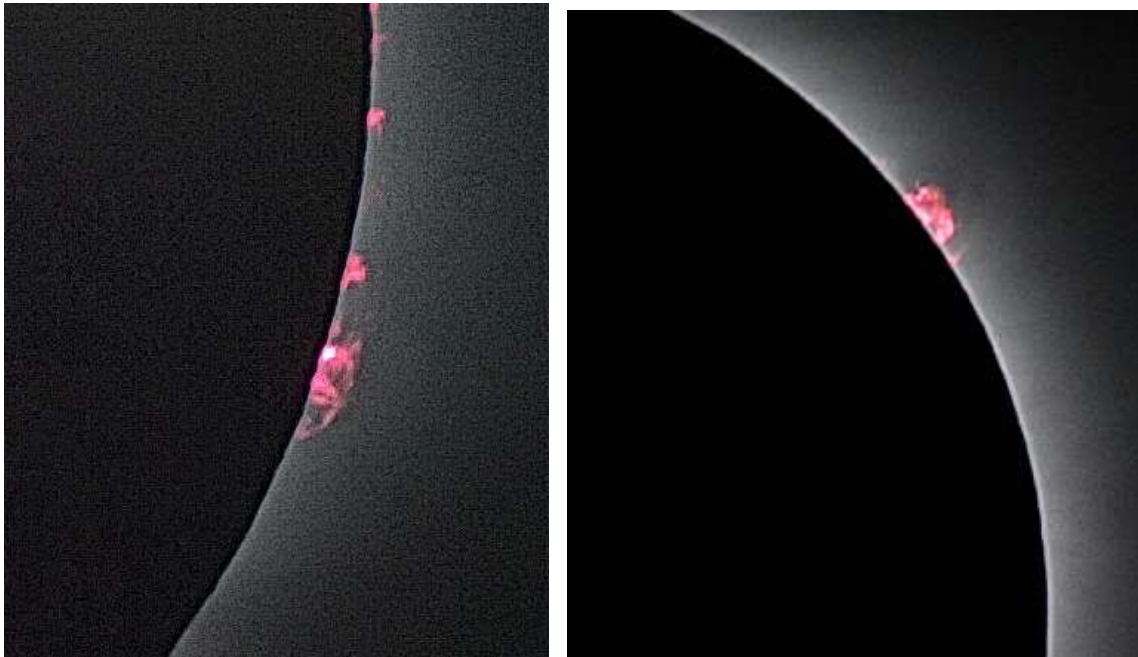
En effet, le fait que le disque lunaire recouvre *très précisément* celui du Soleil nous permet d'observer tout ce qui



Lors d'une éclipse, on découvre ce qui se passe autour du Soleil. Photos prises par Paul Houde, lors de l'éclipse totale du 21 août 2017, à Lexington, en Caroline du Sud.

se passe autour de notre étoile. (En temps normal, le Soleil est si brillant qu'on ne peut observer ce qui s'y passe autour.) C'est ainsi qu'on a découvert les éruptions solaires et quantité d'autres phénomènes bouillonnants

dans son atmosphère. Les éclipses du Soleil sont non seulement une merveille de la nature mais ont longtemps été une importante source d'information pour étudier ce qui se passe sur la surface du Soleil.



Deux photos exceptionnelles, prises par Paul Houde, qui font voir de magnifiques éruptions solaires et autres bouillonnements à la surface du Soleil. Elles montrent également à quel point le disque lunaire couvre parfaitement celui du Soleil, ni trop peu, ni pas assez. Quelle chance!



La Lune, avec ses «mers» et ses «continents» accidentés, crevassés et couverts de cratères.

4 – Deux mondes très différents

En novembre 1609, Galileo Galilei, dit Galilée, observe pour la première fois la Lune à l'aide d'une lunette astronomique, c'est-à-dire un long tube mince sur lequel deux lentilles ont été fixées. Son instrument grossit trois fois seulement, mais cela suffit pour lui faire découvrir que la surface lunaire est recouverte de montagnes et de plaines. «L'on voit que la Lune n'est pas d'une surface égale, lisse et polie comme beaucoup de gens le croient d'elle», écrit-il.^{xiii} Galilée découvre aussi, ô surprise, quantité de cratères et aperçoit de vastes zones sombres qu'il imagine être des mers.

Les observations de Galilée ont été déterminantes puisque jusqu'alors, on croyait que les astres du firmament étaient parfaits – parfaitement sphériques et avec une surface lisse et parfaite –, parce qu'ils se trouvaient au Ciel. Or, à l'aide d'une simple observation, l'illustre savant met en doute nos convictions religieuses.

Pour notre part, lorsqu'on observe la Lune à l'œil nu, on ne voit pas grand-

chose, si ce n'est qu'un croissant lumineux ou une pleine lune. Mais lorsqu'on utilise une simple paire de jumelles, déjà plus puissante que la lunette de Galilée, on découvre alors tout un monde.

En effet, lorsqu'on examine la Lune aux jumelles, ou lorsqu'on la regarde en photos, on découvre rapidement qu'il semble y avoir deux sortes de terrains: une majorité de terrains

pâles et des régions plus ou moins circulaires et foncées.

Les astronomes ont longtemps pensé que ces dernières étaient des océans, tandis que par contraste, ils ont supposé que les parties claires étaient des continents. Or, on sait à présent que la Lune est très sèche; les zones sombres sont en réalité de simples plaines relativement lisses, tandis que les zones claires sont de hauts-plateaux accidentés et montagneux. On a toutefois conservé l'habitude de qualifier de mers les zones sombres: Mer de la Tranquillité, Océan des Tempêtes, etc.

Mais ce qui différencie avant tout la Lune de la Terre, ce sont les innombrables cratères qui couvrent sa surface. Partout, on en observe de toutes tailles, certains faisant plusieurs centaines de kilomètres de diamètre, jusqu'aux cratères véritablement microscopiques.

Fait intéressant, au fur et à mesure que les astronomes se sont dotés de télescopes de plus en plus puissants, ils ont découvert des cratères dans les mers, ce qui leur a indiqué qu'il ne s'agissait pas d'étendus d'eau. Ils ont aussi constaté que les cratères se chevauchent et s'empilent les uns sur les autres – un peu à la manière d'un tas d'assiettes entassées pêle-mêle les unes sur les autres.

Selon certaines estimations,^{xiv} chaque kilomètre carré de la Lune renfermerait approximativement:

- 6 cratères de 300 mètres et plus;



Partout sur la Lune, les cratères se chevauchent et s'empilent les uns sur les autres.

- 30 cratères de 100 à 300 mètres;
- 120 cratères de 20 à 100 mètres;
- 500 cratères de 10 à 20 mètres;
- 1500 cratères de 3 à 10 mètres.

Si on considère que la superficie de la Lune est de 38 millions de kilomètres carrés, cela nous indiquerait que la surface lunaire comporterait quelque chose comme 80 milliards de cratères d'au moins trois mètres, dont six millions de cratères de plus de cent mètres.

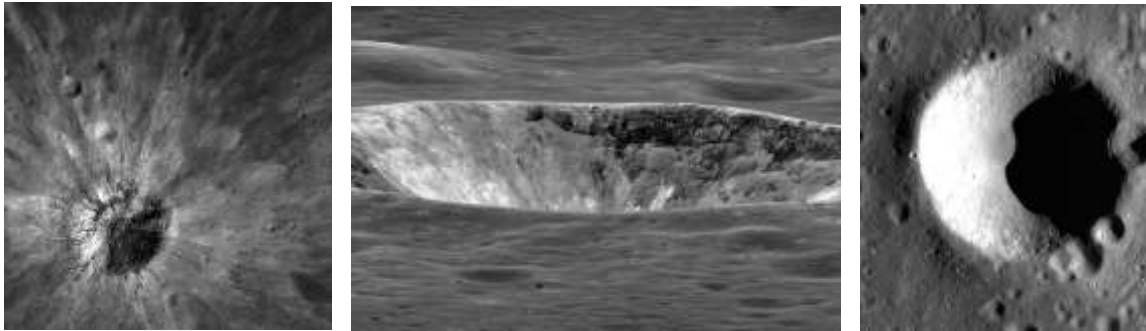
Et comme on a pris l'habitude d'attribuer à chaque cratère le nom d'une personnalité – souvent un savant – on ne manquera pas de cibles à nommer!

La question que se sont longtemps posé les astronomes c'est: qu'elle est la nature de ces cratères? S'agit-il de bouches de volcan ou de trous creusés par l'impact de météorites?

Durant très longtemps, bon nombre d'astronomes supposaient que la majo-

rité des cratères était des bouches de volcan. Ce n'est que dans les années 1960, lorsque nos sondes spatiales ont ausculté de près la surface lunaire,

qu'on a déterminé que l'immense majorité des cratères est le résultat de l'impact de météorites. Il y a certes quelques bouches de volcan, mais elles sont assez rares.



Il y a un peu partout sur la Lune de beaux cratères à explorer. Jusqu'à présent, les astronautes et la plupart de nos sondes se sont posés sur des plaines beaucoup plus faciles d'accès... mais moins intéressantes que les cratères.

Et c'est là une découverte qui a bouleversé notre vision des choses, sinon même notre vision de la vie sur Terre, dis-tu?

Absolument car, à partir du moment où on a réalisé que le nombre incalculable de cratères qui jonchent la surface de la Lune est le fruit de la collision de météorites, on a pris conscience que la Lune, et sans aucun doute la Terre, ont jadis fait l'objet d'un intense bombardement cosmique. Et ce fut là une découverte troublante puisque, jusqu'à ce moment-là, on n'imaginait pas la possibilité qu'on puisse un jour subir à nouveau l'impact d'une grosse météorite.

C'est d'ailleurs à cette époque qu'on a aussi découvert qu'un météorite avait un jour, il y a 65 millions d'années, anéanti les dinosaures.

Et c'est à partir des années 1970-1980 qu'Hollywood s'est mis à nous

bombarder de films de peur mettant en scène l'anéantissement prochain de l'humanité, à la manière des dinosaures. Des «idées nouvelles», n'est-ce pas?

En effet. Le fait que la Terre et la Lune aient jadis fait l'objet d'un intense bombardement cosmique et l'idée qu'on pourrait un jour subir le sort des dinosaures sont des découvertes très récentes – d'une cinquantaine d'années seulement.

Et la grande question qu'on s'est aussi alors posé a été: à quand remonte l'intense bombardement dont a été victime la Lune, et sans doute la Terre aussi?

Les recherches menées sur la Lune grâce aux sondes et aux astronautes d'Apollo nous ont amené à conclure que la Lune, et par le fait même la Terre, ont été l'objet d'un intense

bombardement qui a duré environ 1,5 milliard d'années, au tout début de la formation du Système solaire, et qui a cessé il y a trois milliards d'années.

C'est dire que la grande majorité des cratères qu'on voit sur la Lune a plus de trois milliards d'années d'existence; c'est d'ailleurs l'âge des terrains qu'ont explorés les astronautes d'Apollo.

N'y a-t-il aucun volcan en activité sur la Lune?

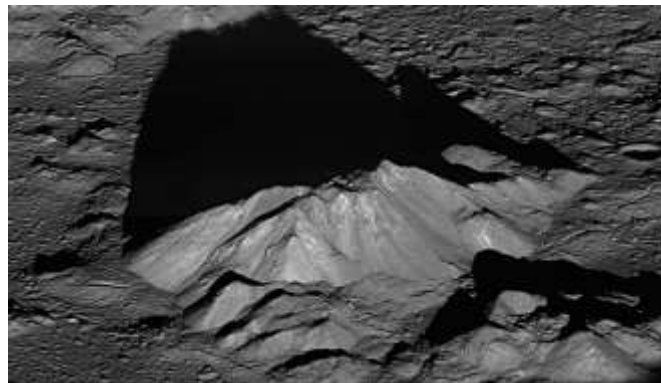
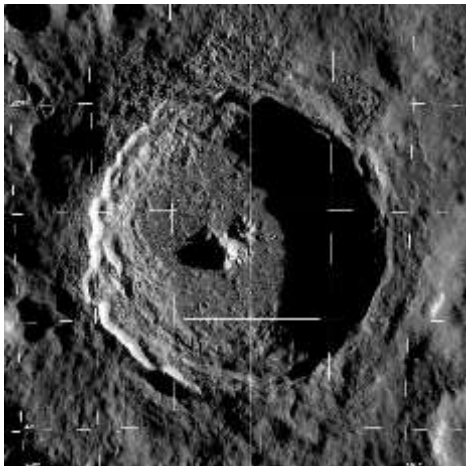
Pas à ce qu'on sache. Jadis, certains astronomes ont cru apercevoir quelques émanations lumineuses en provenant de cratères, mais on n'a jamais observé d'éruption volcanique

comme telle. Il se pourrait qu'il y ait parfois, mais très rarement, des émanations de gaz, mais le phénomène semble plutôt rare et, surtout, très difficile à observer.

* * *

La Lune n'a donc guère changé depuis trois milliards d'années. Elle nous donne donc une idée de ce qu'a dû être la Terre au commencement.

C'est en quelque sorte un «dépôt d'archives cosmiques» au sujet des débuts de notre planète qui, elle, a tant changé depuis trois milliards d'années. C'est pourquoi notre satellite naturel est si intéressant à étudier d'un point de vue scientifique.



L'un des endroits qu'il serait fascinant d'explorer est Tycho, un cratère de 82 kilomètres de diamètre, de 4,7 kilomètres de profondeur et au centre duquel se trouve un pic de 2000 mètres (photo de droite).^{xv}

5 – Une nouvelle ère d'exploration

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la Lune a beaucoup été étudiée dans les années 1960 afin d'apprendre le b.a.-ba nécessaire pour y faire parvenir des hommes. Puis, durant une trentaine d'années, on l'a négligée, au profit des autres planètes (et plus particulièrement Mars). Mais depuis une

dizaine d'années, notre satellite naturel est redevenue intéressante. Désormais, les Américains, mais également les Européens, les Chinois, les Japonais et les Indiens y expédient leurs propres sondes. À présent, la Lune nous intéresse pour ce qu'elle est et dans son ensemble.

Les plus récentes sondes lunaires

Sonde(s)	Lancement	Organisation
• Hiten et Hagoromo	24 jan 90	JAXA (Japon)
• Clementine	25 jan 94	NASA (USA)
• Lunar Prospector	7 jan 98	NASA (USA)
• SMART-1	27 sep 03	ESA (Europe)
• SELENE	14 sep 07	JAXA (Japon)
• Chang'e 1	24 oct 07	Chine
• Chandrayaan 1 et MIP	22 oct 08	ISRO (Inde)
• LRO et LCROSS	18 jun 09	NASA (USA)
• Chang'e 2	1 oct 10	Chine
• GRAIL	10 sep 11	NASA (USA)
• LADEE	7 sep 13	NASA (USA)
• Chang'e 3 et Yutu	1 déc 13	Chine
• Chang'e 5-T1	21 oct 14	Chine
• Chang'e 4 et Yutu 2	7 déc 18	Chine
• Beresheet	22 fév 19	Privé (Israël)
• Chandrayaan 2, Vikram et Pragyan	22 jul 19	ISRO (Inde)

À vrai dire, on s'attendait depuis longtemps à repérer de la glace dans de profonds cratères qui, parce situés aux pôles, ne sont jamais éclairés jusqu'au fond par les rayons du Soleil.

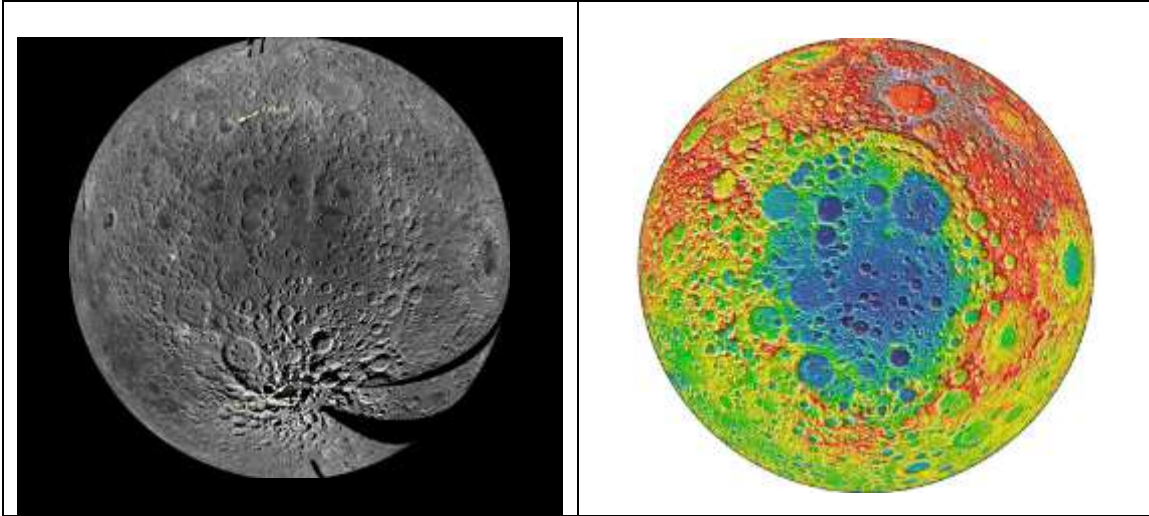
Or justement, en 1998, la sonde américaine *Lunar Prospector* — qui porte fort bien son nom — a détecté de la glace au fond de ces cra-

En effet, ces robots ont entrepris une étude scientifique globale de la Lune, comme on le fait auprès des autres astres du Système solaire, petits et grands. (Note: les sondes lancées entre 1990 et 2008 étaient surtout pour le développement de technologies.)

On a d'ailleurs fait une découverte remarquable. Alors qu'on considérait la Lune comme un astre très sec — chose plutôt rare dans le Système solaire — voilà qu'on a repéré d'importantes traces de glace dans des cratères situés aux pôles de la Lune.

tères; il y aurait des centaines de millions de tonnes de glace mélangée au régolithe lunaire.^{xvi} Cette découverte a été confirmée dix ans plus tard par un instrument de la NASA placé à bord de la sonde indienne Chandrayaan 1.^{xvii}

Cette découverte a fait sensation, car on estime que la présence d'eau sur la Lune pourrait jouer d'importants rôles dans l'exploration future de la Lune. En plus de servir à alimenter d'éventuels colons lunaires, la décomposition de cette eau pourrait leur fournir de l'oxygène ainsi qu'à fabriquer du carburant pour fusée.



Au pôle sud de la Lune se trouve un immense bassin, de 2600 kilomètres de diamètre et profond de 15 kilomètres (deux fois la hauteur du mont Everest!), dans lequel des cratères perpétuellement plongés dans l'obscurité renfermeraient d'importantes quantités de glace (en bleu sur l'illustration de droite).

C'est ce qu'on rapporte souvent. Toutefois, l'eau dont on parle n'est ni liquide et ni même sous forme de blocs de glace. Il s'agit plutôt de molécules mélangées à de la roche lunaire, le tout ayant probablement la consistance du roc. De surcroît, cette eau se trouve dans des cratères ayant plusieurs kilomètres de profondeur, où règne en permanence l'obscurité totale et où le mercure ne dépasse jamais les -150°C . Par conséquent, il ne sera pas facile – mais vraiment pas – d'aller récupérer cette eau. Imaginez des astronautes ou des robots devant travailler dans de telles conditions.

Au printemps dernier (2019), des chercheurs de la NASA ont annoncé que la sonde LADEE («lâdie») a fait une autre découverte remarquable: des particules d'eau se trouveraient un peu partout sur la Lune, à moins d'une dizaine de centimètres sous la

surface. Il y aurait donc de l'eau un peu partout, ou presque!

Eh oui, c'est là une découverte surprenante. Il semble bien que si on creuse au-delà de la couche superficielle de régolite d'une épaisseur de huit centimètres, on tombe sur une couche de sol d'environ un mètre d'épaisseur dans laquelle on trouve des molécules d'eau (H_2O et OH).^{xviii}

Attention toutefois, il s'agit d'infimes traces d'eau. Les chercheurs estiment ainsi qu'on pourrait extraire l'équivalent de 500 millilitres d'eau – soit un grand verre d'eau – à partir d'une tonne de sable lunaire. La Lune, insistent-ils, demeure un astre atrocement sec.

Ils calculent ainsi que le régolithe lunaire contiendrait une concentration en eau de 200 à 500 parties par million, soit nettement moins que le sol

le plus sec qu'on puisse trouver sur Terre. On ne parle pas ici d'oasis!

Et depuis plus d'une décennie – depuis juin 2009 – la NASA scrute à la loupe la Lune à l'aide de sa sonde LRO, *Lunar Reconnaissance Orbiter*, une mission assez intéressante à suivre, n'est-ce pas?

En effet. Le but premier de cette mission est de dresser une carte détaillée et en trois dimensions de la Lune. Or, cette sonde nous transmet régulièrement quantité de photos fascinantes, des photos qui nous dévoilent la Lune comme jamais. Ça vaut d'ailleurs la peine de visiter de temps à autre le site web de la mission LRO où on découvre des trésors de photos.^{xix}



La sonde *Lunar Reconnaissance Orbiter*, un engin de 1850 kilogrammes, ausculte la Lune depuis juin 2009, et est toujours à l'œuvre dix ans plus tard.

La NASA nous convie à faire une visite exceptionnelle de la Lune, grâce aux images transmises par LRO, dans sa vidéo [Tour of the Moon 4K](#).

Entre temps, le 14 décembre 2013, la Chine est devenue la troisième nation, après l'Union soviétique et les États-Unis, à faire atterrir une sonde sur la Lune.

Il s'agit de la sonde Chang'e 3 («chang i»), qui s'est posée en douceur dans la Mer des Pluies. Peu après son alunissage, elle a déposé sur le sol un petit véhicule d'exploration nommé Yutu. C'est alors qu'on a obtenu les premières photos d'un paysage lunaire en cinquante ans. L'atterrisseur Chang'e 3 a ainsi photographié Yutu s'éloignant de lui, tandis que le tout-terrain a photographié sa sonde-mère (page suivante). Malheureusement, Yutu ne s'est éloigné que d'une centaine de mètres de Chang'e 3, avant de s'enliser dans le sable lunaire.^{xx}

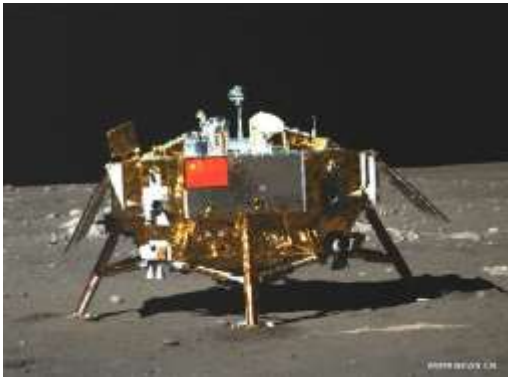
On parle beaucoup depuis quelque temps d'un retour sur la Lune et on assiste même à une certaine course technologique. Ainsi, aux États-Unis, nombre d'entreprises sont à mettre au point divers engin lunaires alors qu'au cours de 2019, la Chine, Israël et l'Inde ont envoyé des sondes destinées à se poser sur le sol lunaire. De surcroît, plusieurs autres, dont l'Europe, la Russie, le Japon, le Canada... rêvent également de la Lune.

On assiste en effet à un regain d'intérêt pour la Lune, mais un intérêt qui relève désormais d'un attrait commercial. Il y a d'une part des entreprises qui cherchent à développer des services de transport lunaire qu'elles espèrent vendre à diverses organisations

Chang'e 3: de retour sur la Lune après 40 ans



Premières photos d'un paysage lunaire depuis les années 1970. Comme on le constate, les Chinois ont joué de prudence en faisant poser leur sonde sur une plaine dénuée de tout obstacle.



Chang'e 3 (à gauche) a photographié Yutu (et vice-versa) le 11 janvier 2014.

gouvernementales ou privées. Et il y a aussi divers pays qui espèrent bénéficier d'une façon ou d'une autre de la Lune.

On assiste en fait à une multitude de courses – notamment entre entreprises et entre gouvernements qui cherchent à la fois à être premier tout en coopérant. Que penser de tout cela?

Le fait est qu'on assiste à un étonnant engouement pour la Lune. J'ai même parfois l'impression d'assister à

une sorte de «ruée vers l'or», comme on a vue autrefois dans l'Ouest des États-Unis.^{xxi}

De ce qu'on observe, plusieurs croient – imaginent ou espèrent? – qu'il y aura de l'argent à faire grâce à la Lune, soit en offrant des services commerciaux, soit en bénéficiant de lucratifs contrats gouvernementaux, ou encore en tirant profit des ressources lunaires.

Mais comme toute ruée vers l'or, l'avenir est plus qu'incertain et la rentabilité est loin d'être acquise. On verra... avec le temps.

Conclusion: pas facile la Lune!

Le 11 avril dernier, la sonde Beresheet, un projet financé par un groupe d'entrepreneurs privés israéliens, a tenté de se poser sur la Lune. Malheureusement, alors que l'engin se trouvait à treize kilomètres d'altitude, une défaillance technique est survenue et il s'est écrasé.^{xxii}

Puis, le 6 septembre, la sonde indienne Vikram a à son tour tenté de se poser mais, encore là, une défaillance survenant en pleine descente, à 2,3 kilomètres d'altitude, a entraîné sa perte.^{xxiii}

Pour toi, Claude, ces deux malheureux accidents revêtent un caractère particulier. Ils illustrent qu'il n'est jamais facile de se poser sur la Lune?



Dessins illustrant l'alunissage des sondes Beresheet (à gauche) et Vikram (centre et à droite).

En effet. On sait d'avance que se poser sur la Lune est une opération très difficile, pour ne pas dire périlleuse. On redoute tout particulièrement l'instant où l'engin touche le sol. Se posera-t-il dans un cratère, à flanc de montagne, dans une crevasse ou contre un rocher qui causera sa perte?

Précisons aussi que toute tentative d'alunissage se fait en mode automatique puisque le déroulement des opérations s'enchaîne si rapidement qu'on ne pourrait les télécommander depuis la Terre.

Ce fut d'ailleurs le cas de la mission Apollo 11, puisque le module lunaire *Eagle* se dirigeait par lui-même tout droit vers un cratère dans lequel il se

serait écrasé. Mais heureusement qu'il y avait à bord Neil Armstrong, qui a pris les commandes dans les dernières minutes de la descente afin de repérer un terrain plat.^{xxiv} Sans lui, la mission aurait été un échec. On aimerait bien disposer d'un pilote à bord de chacune de nos sondes qui tentent d'alunir!

Bien sûr! Mais à défaut de disposer d'un pilote humain, la plupart de nos sondes modernes sont munies d'un système radar qui, dans les derniers instants de la descente, scrute le sol à la recherche d'une zone plate. Il y a donc des ordinateurs de bord qui analysent à toute vitesse les données recueillies par le système radar.

Mais ce n'est pas au moment de toucher le sol que la perte des sondes Beresheet et Vikram est survenue puisqu'elles se trouvaient encore à 13 et à 2,3 kilomètres d'altitude respectivement.

Justement, et c'est là le point crucial. Dans les deux cas, la descente s'est amorcée comme prévu et, durant les premières minutes, tout semblait bien se passer. Mais tout à coup, il y a eu un pépin technique ou informatique qui a entraîné la perte des deux engins. Et c'est très navrant puisqu'on s'attendait plutôt à ce que l'instant critique survienne au moment de toucher le sol.

Or, voilà qui montre la difficulté de se poser sur la Lune. Il ne s'agit pas seulement de prendre toutes les précautions pour parvenir indemne au sol, mais il faut aussi s'assurer que tout fonctionne *parfaitement* tout au long

de la descente, ce qui n'est pas une mince affaire, comme l'illustre la perte des sondes israélienne et indienne.

Par contre, le 3 janvier, les Chinois sont parvenus à faire se poser leur sonde Chang'e 4... sur la face cachée de la Lune – réussissant par le fait même une grande première.

En effet, pour la première fois en cinquante ans d'exploration de l'espace par les Chinois, ceux-ci ont accompli quelque chose que ni les Américains ni les Russes n'ont tenté. Ils sont même parvenus à y déposer le tout-terrain Yutu 2.^{xxv}

Il faut dire que les Chinois bénéficient de moyens techniques et d'une expérience nettement plus avancés que ce que possèdent l'Inde et l'équipe privée israélienne.



La sonde Chang'e 4 sur la Lune ainsi que le tout-terrain Yutu 2.

Il y aurait donc là une leçon à tirer, crois-tu?

La différence, me semble-t-il, entre la sonde chinoise et les sondes indienne et israélienne, c'est que le fait que les Chinois ont consacré beaucoup

plus de temps, d'effort et d'argent pour concevoir leur sonde lunaire.

Or, une certaine tendance que je crois voir poindre est celle où on cherche à développer le plus économiquement possible des engins lunaires. On cherche donc à réduire les coûts,

possiblement en omettant certains tests cruciaux et/ou divers systèmes de double sinon même de triple protection.

Tu crois même que ce pourrait être le risque que nous fera courir le secteur privé, qui tentera d'offrir des systèmes de transport lunaire aux plus bas prix possibles?

Eh oui. Mais à quoi bon développer des systèmes «peu coûteux»... s'ils échouent?

Je n'accuse ici en rien ni les Indiens ni les Israéliens, mais je souligne simplement le fait irréfutable que l'es-

pace est un environnement extrêmement rigoureux et qui ne pardonne pas. D'ailleurs, dans les années 1990, la NASA a elle-même appliqué une approche semblable pour l'exploration de la planète Mars. Elle avait mis au point des sondes dites «*Faster, Better and Cheaper*» – en développant plus rapidement des engins moins coûteux que ce qu'on faisait auparavant – mais qui ont subi des échecs retentissants.

Il y a là une leçon à tirer: on se doit de tout mettre en œuvre pour concevoir des engins lunaires capables de passer à toutes éventualités susceptibles de survenir en cours de vol, car autrement, on court à la catastrophe.

ⁱ Pour un survol des multiples autres raisons pour lesquelles il serait désirable de retourner sur la Lune, voir l'article de Ken Murphy, [Fifty books about the Moon](#), publié dans [The Space Review](#) du 15 juillet 2019. Après avoir dressé une liste exhaustive de cinquante livres qui traitent de la Lune, Murphy résume brillamment les véritables raisons pour lesquelles on devrait retourner sur la Lune. Voir aussi: Vidvuds Beldavs, «[The International Lunar Decade: A strategy for sustainable development](#)», [The Space Review](#), 5 août 2019.

ⁱⁱ Jeff Foust, «[Blue Moon and the infrastructure of space settlement](#)», [The Space Review](#), 13 mai 2019.

ⁱⁱⁱ Écoutez nos balados *12 hommes sur la Lune*, épisodes [1](#) et [2](#), diffusés les 29 août et 9 septembre 2018.

^{iv} Wikipédia: [Hipparque](#).

^v C'est-à-dire: distance moyenne Terre-Lune (384 399 km) divisée par le diamètre équatorial de la Terre (12 756 km) = 30,1341.

^{vi} Wikipédia: [Constantin Tsiolkovski](#).

^{vii} Écoutez entre autre notre balado [Voyage, voyage dans l'espace](#) diffusé le 13 mai 2018.

^{viii} Voir Wikipédia: [Vitesse cosmique](#).

^{ix} Voir aussi [Color of the Moon](#) de la NASA.

^x Voir les chapitres 14 et 15 ([The Great Voyage of Exploration](#) et [The Legacy of Apollo](#)) de [Apollo Expedition to the Moon](#), NASA SP-350, 1975.

^{xi} Osgood Caruthers, «[Back of Moon 'Seen' First Time](#)», *The New York Times*. 27 octobre 1959, p. 1.

^{xii} Voir aussi Wikipédia: [Éclipse solaire](#),

^{xiii} Wikipédia, [Cratères lunaires](#), d'après Catherine Dauvergne, *Un moteur de la révolution scientifique*, Presses universitaires du Septentrion, 2000, p. 43, et Marjorie Hope Nicolson, «[Many moons Through the ages](#)», *The New York Times*, 22 novembre 1959. *Sunday Magazine*, p. 22.

^{xiv} Albert Ducrocq, *La Lune, monde fantastique*, Cosmos Encyclopédie, p. 539.

^{xv} Voir: NASA, [Tycho Crater's Central Peak on the Moon](#), [Tycho Crater](#), [Tycho Crater on the Moon](#), [Tycho Crater's Peak](#) et [Wikipédia](#).

^{xvi} NASA, [Lunar Prospector in Depth](#).

^{xvii} NASA News Release, «[Ice Confirmed at the Moon's Poles](#)», 20 août 2018, et «[Water Molecules Found on the Moon](#)», 24 septembre 2009.

^{xviii} NASA News Release, «[Meteoroid Strikes Eject Precious Water From Moon](#)», 15 avril 2019.

^{xix} Sites de la mission [LRO](#) et [LRO](#) de la NASA.

^{xx} Voir [Spaceflight Now](#) du [13](#) et [14](#) décembre 2013 et [4 août 2016](#) (fin de la mission) ainsi que [Chang'e 3](#) dans Wikipédia.

^{xxi} Voir à cet effet l'article de Vidvuds Beldavs, «[The International Lunar Decade: A strategy for sustainable development](#)», [The Space Review](#), 5 août 2019.

^{xxii} Stephen Clark, «[Israeli probe crashes in attempt to become first privately-funded moon lander](#)», [Spaceflight Now](#), 11 avril 2019.

^{xxiii} Stephen Clark, «[India's first attempt to land on the moon appears to end in failure](#)», [Spaceflight Now](#), 6 septembre 2019 et Jeff Foust, «[Joining the lunar lander club](#)», [The Space Review](#), 25 novembre 2019.

^{xxiv} En entrevue sur les ondes de NBC le 16 novembre 1969, Thomas Paine, le grand patron de la NASA, estime que le module lunaire d'Apollo 11 se serait écrasé si Neil Armstrong ne l'avait pas piloté et dirigé vers une zone moins accidentée. Source: *Aeronautics and Astronautics, 1969*, p. 380.

^{xxv} Voir [Spaceflight Now](#) du [5 janvier 2019](#) et [Chang'e 4](#) dans Wikipédia.