

# Haute Résolution sur la Lune

Obtenir les plus fins détails sur la Lune est devenu presque aisée pour l'amateur astronome avec les moyens mis à sa disposition actuellement. En effet en alliant les chaînons instrumentation et conditions d'observations il est possible d'obtenir des images atteignant le pouvoir séparateur\* de l'instrument. Nous allons voir quelles sont toutes les étapes menant à la réussite. Que se soit le capteur, l'instrument, la météo ou la configuration lunaire. Argentique ou CCD le choix est vite fait pour ce qui concerne le capteur. Les films présentent trop d'inconvénients. Bien qu'ils aient donné d'excellents résultats entre les mains expertes d'amateurs, ils sont inadaptés face à la turbulence\*. De plus les résultats, incertains, ne sont obtenus qu'après développement.

Reste donc le capteur CCD\* qui n'est cependant pas accessible à toutes les bourses. L'histoire aurait pu s'arrêter là si les caméras de conférences qui contiennent des capteurs CCD n'avaient pas été détournées de leurs utilisations premières. Paradoxalement ces webcams\* qui coûtent au maximum 100 euros semblent le mieux adaptées pour la haute résolution sur la Lune. Le fait de pouvoir réaliser beaucoup d'images en quelques secondes permet d'avoir l'espoir de trouver une ou plusieurs images peu affectées par la turbulence\*. Images qui après traitement numérique révéleront des détails inimaginables par rapport à l'image brute (photo 1 et 2). La webcam permet d'obtenir des centaines d'images sous forme de vidéos au format avi, lorsque la CCD traditionnelle dans le même temps offre laborieusement quelques dizaines d'images souvent dégradées par la turbulence\* dû à un temps de pose plus long. Un logiciel freeware comme Iris ou registax permet de sélectionner à partir des vidéos les meilleures images. Le compositage d'images permet ensuite d'enlever le bruit inhérent aux webcams dont la dynamique est faible.

**Photo 1 et 2 : Voisinage du cratère Bullialdus , turbulence\* moyenne.**



Image brute

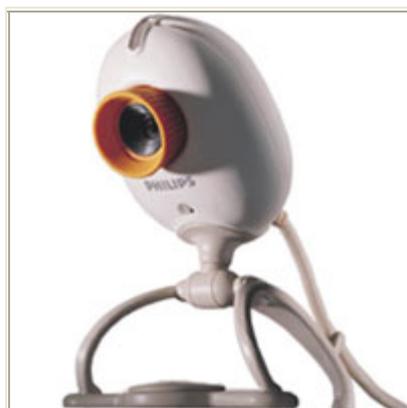


Compositage de 30 images

Pour le choix de la webcam, actuellement conviennent, dans la marque Philips, les Pvc680 et 780 qui sont les webcam vesta pro et vesta scan pro. Pvc 740 et 840 qui sont les toucam pro 1 et 2.



Vesta pro Pvc 680 et Vesta pro scan  
Pvc 780



Toucam pro Pvc 740

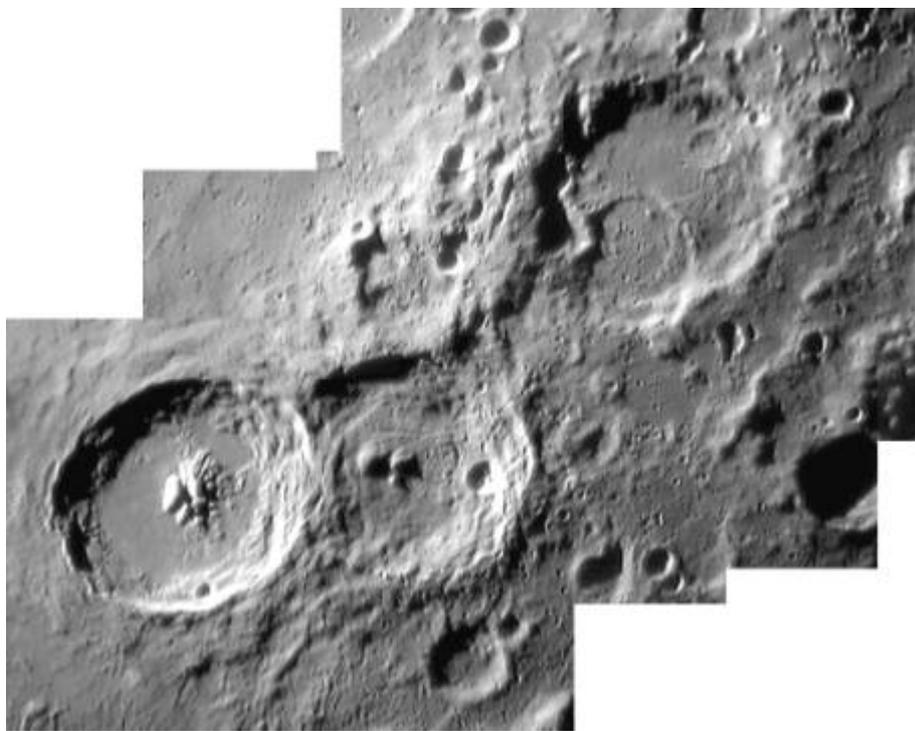


Toucam pro II Pvc 840

En effet ces webcams ont un capteur CCD\* et non CMOS qui réagit bien en astronomie. Actuellement seule la toucam pro II peut se trouver neuve de 85 à 100 euros. Pour les autres webcams on en trouve sur [ebay](http://ebay) autour de 40-65 euros. Ce type de Webcam est surtout orienté vers la photo planétaire car limitées à 1/25<sup>e</sup>s de pose.

Le bémol des techniques CCD est qu'il est nécessaire de posséder un ordinateur, de préférence portable, avec un port USB. Mais un simple ordinateur d'occasion de 400 Mhz convient très bien si possible avec le plus gros disque dur. 40 mo est un minimum convivial car les vidéos sont gourmandes en mémoire. L'obtention d'images avec la webcam se décompose en deux phases, l'acquisition et le traitement numérique des images. Pour l'acquisition il y a plusieurs paramètres à régler sur la webcam, exposition, gain, luminosité, gamma, contraste et fréquence d'images par seconde. Pour ma part j'obtiens de très bons résultats sur la Lune avec une fréquence de 10 images /seconde en plaçant l'exposition sur mode automatique, le contraste à 50% et le gamma à 20% et je règle la luminosité et le gain au final pour obtenir la bonne densité. C'est à dire sans saturer les hautes lumières. Il est important sur la Lune de choisir un gamma faible pour ne pas avoir trop d'écart de densité sur un astre qui est naturellement très contrasté. On fera aussi l'acquisition en NB pour éviter toute perte de résolution dû au chromatisme de l'atmosphère même minime. Pour le traitement numérique il existe le freeware Iris avec des leçons qui expliquent toutes les fonctions permettant d'exploiter au mieux ses images brutes. Mais pour débiter le logiciel registax est bien pratique car il permet de traiter la vidéo presque sans intervention du manipulateur. On a donc vu que la faible dynamique des webcams peut se contourner par un compositage d'images. Il faut ainsi sur les cratères brillants seulement une huitaine d'images, mais pour les régions à faible albédo\* comme les mers, un minimum de 15 à 20 images est nécessaire.

Le maximum d'image étant bienvenu. La sélection et le nombre d'images seront fonction de la turbulence\*. Car pour la haute résolution il est parfois difficile de trouver des séries homogènes. L'autre inconvénient de la webcam est la petitesse du capteur. Celui-ci fait 659 x 494 pixels de 5,6µ Cette petitesse du capteurs CCD peu être facilement détournée. En effet il suffit d'acquérir des vidéos en décalant la zone visée puis une fois les images traitées de réaliser des mosaïques grâce aux logiciels de retouches d'images. On peut ainsi dans la théorie réaliser de vastes mosaïques. Leurs tailles sera seulement limitées par celle de votre disque dur.



Théophile, Cyrille et Catherine, turbulence\* faible. Mosaïque de 5 images préalablement compositées par lot de 8.

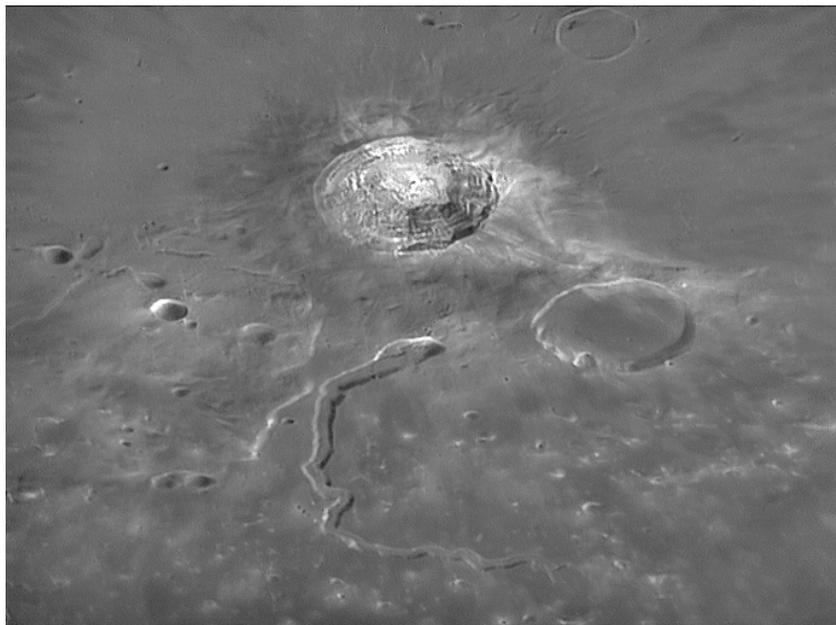
D'autres personnes vont paramétrer leurs caméras différemment. Ainsi elles vont diminuer le temps de pose et augmenter le gain. Cette technique est bien pratique lorsqu'il y a un peu de turbulence\* pour emmagasiner le maximum d'images. Mais dans ce cas là il faut composer un minimum de 100 images pour retrouver une image traitable. Car lorsque l'on augmente le gain, la granulation des images brutes devient importante. Seule le compositage d'une grande série d'image permet de retrouver le signal par rapport au bruit.

Le deuxième maillon est l'instrument lui-même. A vrai dire tout instrument, non affecté par le chromatisme, convient tant qu'il s'agit d'une vraie optique astronomique. Cependant la première étape passe par une vérification de la collimation pour les télescopes et réglage de cette dernière si nécessaire. Une visite du site Internet de Thierry Legault est indispensable outre les conseils pour réaliser la collimation, il montre de façon pédagogique la dégradation des images avec un instrument mal réglé. Par contre en utilisant une webcam il n'est point nécessaire pour la Lune de posséder une monture très performante. De même la mise en station peut être sommaire. En effet la webcam avec un temps de pose très court n'est pas affectée par une petite dérive. Il est même recommandé d'avoir

une certaine dérive, ce qui permet lorsque le capteur est sale d'éliminer les poussières lors du compositage. Quant à la formule optique il est impératif d'utiliser une Barlow apochromatique. On choisira un grandissement qui permet d'avoir de fins détails. En théorie un  $f/d=30$  est optimum. Il est aussi important d'avoir une bague qui permet d'adapter la webcam sur l'instrument de façon à ce que le capteur soit bien perpendiculaire à l'axe optique. Armé de tous ces atouts l'instrument peut être sorti au moins une demi-heure avant la capture pour mise à température. La turbulence\* est parfois moindre en Ville. En effet les couches d'air en forme de cloche sont parfois plus homogènes au-dessus des cités. De plus la webcam avec ses poses rapides attrape les trous de turbulence\*. Les règles conventionnelles de l'astronomie sont ainsi bousculées. Les photos de cet atlas sont réalisées en pleine ville sur un parking asphalté après une mise en T°C d'une demi-heure avec un pointage sommaire par viseur polaire. Parfois on voit même de belles images prises d'un balcon !!! Mais si l'on peut régulièrement sortir de belles images lunaires avec une webcam, pour accéder à la haute résolution le plus important est surtout de peaufiner la mise au point, car c'est le critère primordial pour obtenir de bonnes images brutes. La tolérance de focalisation n'est que de quelques microns. Il ne faut donc pas hésiter à la refaire régulièrement lorsque la turbulence\* est au plus faible. Souvent la turbulence\* fait des vagues, il faut donc saisir les creux. On peut même capturer des vidéos en décalant la mise au point à chaque essai.

On peut réduire la turbulence\* instrumentale, mais pour ce qui concerne la turbulence\* générale, la météo donne des indications sur ce qui attend l'observateur. En cas de vent il ne faut s'attendre à rien de bon. Par contre une légère brume ou des conditions anticycloniques amènent parfois une faible turbulence\*. De plus on minimisera cette turbulence\* en shootant la Lune autour du méridien. Cependant les meilleurs moments seront ceux où la Lune se présente au plus haut au passage du méridien. Inutile de penser avoir de bons résultats lorsque la Lune culmine au maximum à 30°C. Il y a donc des saisons où la Lune croissante est plus intéressante que celle décroissante. Et vice versa. Ainsi de janvier à mai la Lune croissante est la plus intéressante. Pour la Lune décroissante il faut attendre d'août à décembre. La zone intermédiaire juin et juillet n'est pas l'idéal dans les deux cas.

C'est donc lorsque tous les éléments suivants sont réunis, instrument bien réglé, caméra bien configuré, turbulence\* faible, Lune au plus haut que l'on peut espérer obtenir des images proches du pouvoir séparateur\* de l'instrument. Cependant de réunir toutes ces conditions n'est pas évident et ne se présente que quelques fois dans l'année. Mais lorsque l'on a la chance et surtout la persévérance d'obtenir les bonnes conditions les images sont à la hauteur de l'investissement. Les meilleures images planétaires réalisées depuis la Terre sont d'environ 0"15 soit 300m. En argentique exceptionnellement les amateurs arrivent à 0"8. Avec l'avènement de la webcam les limites sont repoussées et l'on obtient des images lunaires qui tiennent la comparaison avec celles obtenues par les sondes lunaires telles que les lunar. Cela montre l'évolution fulgurante et la démocratisation des moyens mis à la disposition des amateurs. Alors pourquoi s'en privé.



Il est à noter que les caméras vidéo peuvent être utilisées aussi pour l'acquisition en imagerie planétaire. Le coût d'achat est tout de même supérieur à celui d'une webcam. Notons les magnifiques images obtenues avec une caméra [DMK 21F04](#) par Wes Higgins.

copyright Wes Higgins (Aristarchus et Vallis Schröter le 5 Nov 2004 avec un Starmaster 18" et une caméra DMK-21F04 Firewire, 30FPS, 1000 images sur 1750 sélectionnées)

## Mise en évidence des zones minéralogiques lunaires avec un simple APN



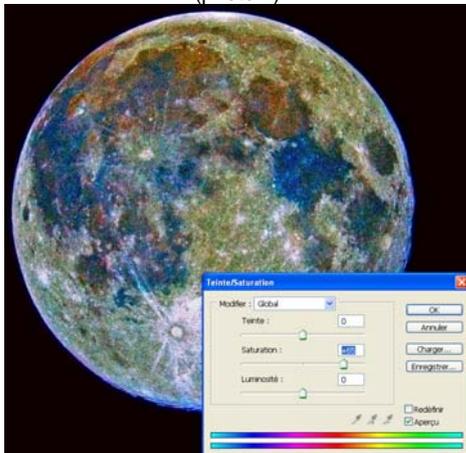
(photo 1) Compositage de 3 images prises avec un Nikon D70 et un télescope de 200 mm équipé d'un réducteur de focale 6,3.

Suite à l'article de Filipe Alves ; comment capturer les couleurs de la Lune (<http://www.colormoon.pt.to/>), j'ai voulu réitérer cette technique qui offre la possibilité de mettre en évidence les différentes compositions minéralogiques lunaires à la surface de la Lune et d'atteindre facilement le résultat obtenu par la sonde Galileo de la NASA le 8 décembre 1992.

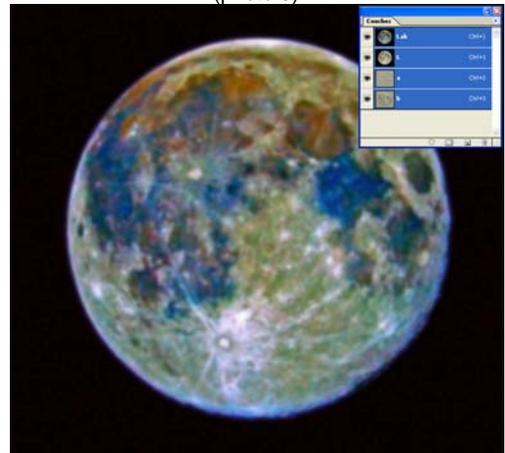
Au départ il faut acquérir lors de la pleine lune plusieurs images que l'on va composer. En effet l'information de couleur est très faible dans chaque image et lors de l'augmentation de la saturation des couleurs le "grain" va apparaître gênant. On obtient ainsi une image qui présente déjà une coloration avec des bleus et des oranges qui sont très ténus mais cependant visibles (photo 1). La technique de traitement donnée est réalisée à partir de Photoshop, mais tous logiciels graphiques qui gèrent la saturation et les calques feraient l'affaire. Pour commencer, on duplique l'image originale qui servira plus tard. On augmente la saturation de façon à avoir des couleurs presque fluorescentes. Cependant le grain est très apparent et gênant (Photo 2).

On applique un filtre de flou gaussien de façon à éliminer le grain, puis il faut passer l'image qui est à l'origine en mode RVB en mode Lab (photo 3). On récupère le duplicata de l'original effectué au départ qui permet de remplacer la couche L (luminescence) par un copier-coller (photo 4) et de restaurer la netteté de l'image (photo 5). Par rapport à l'image de la NASA le rouge est remplacé par le vert. Une simple sélection sélective du vert et un ajustement de la balance des couleurs permet de retrouver le rouge (photo 6).

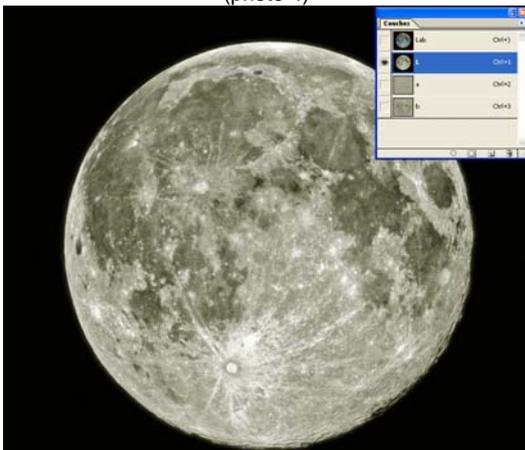
(photo 2)



(photo 3)



(photo 4)



(photo 5)



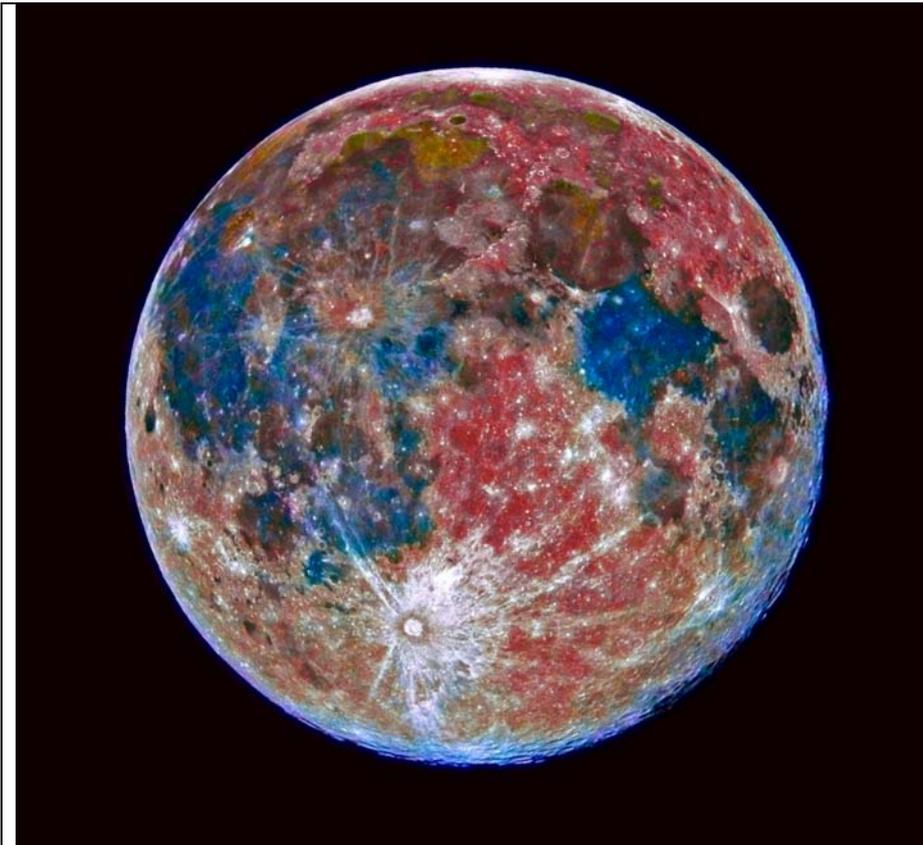


Photo 6



source Nasa

L'image finale est donc riche en information scientifique. Le bleu correspond aux régions lunaires riches en titane qui concerne surtout les Mers lunaires et l'orange à celles pauvres en titane. Mare Tranquillitatis est la région la plus riche. Le rouge représente des régions riches en fer et pauvres en titane. Les régions montagneuses sont principalement concernées. Le blanc représente les matériaux d'éjecta agencés par des impacts récents qui ont formés par exemple les cratères Copernic ou Tycho.

## Observation des TLP (Transitoir lunar phenomen) :

Au niveau des amateurs la contribution de ceux-ci à une étude scientifique de la Lune peut se faire par l'observation des phénomènes transitoires. Un phénomène lunaire passager (TLP) est un changement parfois inexplicable de couleur ou de la forme vue sur la surface de la lune. Certains peuvent être provoqués par le gaz s'échappant des cavités souterraines après des "tremblements de Lune" provoqués par les forces de marées qu'exerce la Terre. Ou encore par des impacts météoritiques. Autre théorie les écarts de températures allant de -80 à + 125 degrés centigrades en peu d'heures. Ces bonds de température pourraient induire des altérations du sol lunaire en produisant des phénomènes semblables à des TLP. Mais aucune théorie n'a pu être prouvée scientifiquement. Historiquement, l'étude de la Lune regorge de rapport d'observation sur ces phénomènes qui ne sont plus mythiques. En 1866, l'observateur et sélénographe Johann Friedrich Jules Schmidt fait l'observation que le cratère de Linné avait changé son aspect, de normale, cratère relativement profond à un seul ensemble blanc. Ou encore le 2 novembre 1958, l'astronome russe Nikolai A. Kozyrev a observé un dégagement gazeux apparent de vapeur près de la crête centrale du cratère Alphonsus. Il a pris des spectrogrammes qui ont semblé montrer la présence de vapeur de carbone. Plus tard Les astronautes d'Apollo décriront aussi de nombreux TLP comme l'équipage d'Apollo XIV (1971) se trouvait dans le site Fra Mauro le détecteur d'ions enregistra des phénomènes gazeux intenses suivis par deux petits phénomènes sismiques. Le premier phénomène gazeux dura 13 heures, le second 19 minutes. La Nasa a regroupé en 1969 des rapports d'observations de TLP allant de la période 1540 à 1969 sur cette page instructive (<http://www.mufor.org/tlp/lunar.html>). Mais le catalogue le plus complet de TLP reste, toujours, celui de W S. Cameron, édité par le National Space Science Data Center. La dernière édition, qui remonte à 1978, énumère 1463 signalisations de présumés TLP. Les lieux plus fréquemment impliqués de telles signalisations sont les cratères Aristarchus (448 signalisations), Plato (114 signalisations), Alphonsus (46 signalisations) et Tycho (16 signalisations). Les observations LTP se manifestent par 5 phénomènes qui ont pu être observés sur 200 sites lunaires. Les phénomènes de brillances, les assombrissements, les dégagements de gaz, les colorations rouges, roses, cuivre ou orange, les lueurs bleues violettes  
L'ALPO (<http://www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo/lunarstuff/selarea.html>) centralise les observations et fournit des formulaires comprenant les cratères les plus susceptibles d'être sujet au TLP.

Le tableau regroupe les TLP les plus fréquents et le type de TLP concernés. En ce reportant à la carte des TLP correspondant on s'aperçoit qu'il y a très peu de TLP sur la partie continentale, la majorité étant sur une zone en contact avec la lave. Surtout en bordure des Mers, là où les rainures sont présentes.

Nom	LATITUDE	LONGITUDE	TOTAL L.T.P.	Lumineux	assombrissements	Gazeux	Lueurs rouges	lueurs bleues
<u>Agrippa</u>	4N	11E	34	15	9	27	1	11
<u>Alphonsus</u>	13S	3W	46	19	9	17	27	2
<u>Archimedes</u>	30N	4W	5	2	1	2	0	0
<u>Aristarchus</u>	24N	48W	448	256	37	131	112	43
<u>Atlas</u>	47N	44E	17	4	5	2	1	1
<u>Censorinus</u>	0	32E	11	10	0	2	2	1
<u>Tête de Cobra</u>	24N	48W	13	4	5	8	11	3
<u>Copernicus</u>	10N	20W	22	13	2	5	6	8
<u>Mare Crisium</u>	18N	58E	27	14	7	10	5	3
<u>Eratosthenes</u>	15N	11W	16	12	2	5	2	2
<u>Gassendi</u>	18S	40W	33	6	4	9	24	0
<u>Grimaldi</u>	6S	68W	18	9	2	5	2	8
<u>Herodotus</u>	23N	50W	34	16	7	11	16	5
<u>Kepler</u>	8N	38W	17	14	1	0	3	3
<u>Linnie</u>	28N	12E	19	7	8	6	1	0
<u>Manilius</u>	15N	9E	14	12	1	4	4	3
<u>Menelaus</u>	16N	16E	13	10	3	4	4	4
<u>Picard</u>	15N	55E	15	12	2	3	2	2
<u>Mons Pico</u>	46N	9W	8	3	2	4	2	1
<u>Mons Piton</u>	41N	1W	10	3	1	8	8	0
<u>Plato</u>	51N	9W	114	53	13	51	31	13
<u>Posidonius</u>	32N	30E	11	2	0	7	3	1
<u>Proclus</u>	16N	47E	72	31	33	26	10	15
<u>Vallée Schroter</u>	26N	52W	25	4	0	20	5	1
<u>Schickard</u>	44S	26E	8	3	2	6	0	1
<u>Theophilus</u>	12S	26E	11	6	0	4	9	2
<u>Tycho</u>	43S	11W	16	12	0	6	1	2

# Face cachée de la Lune

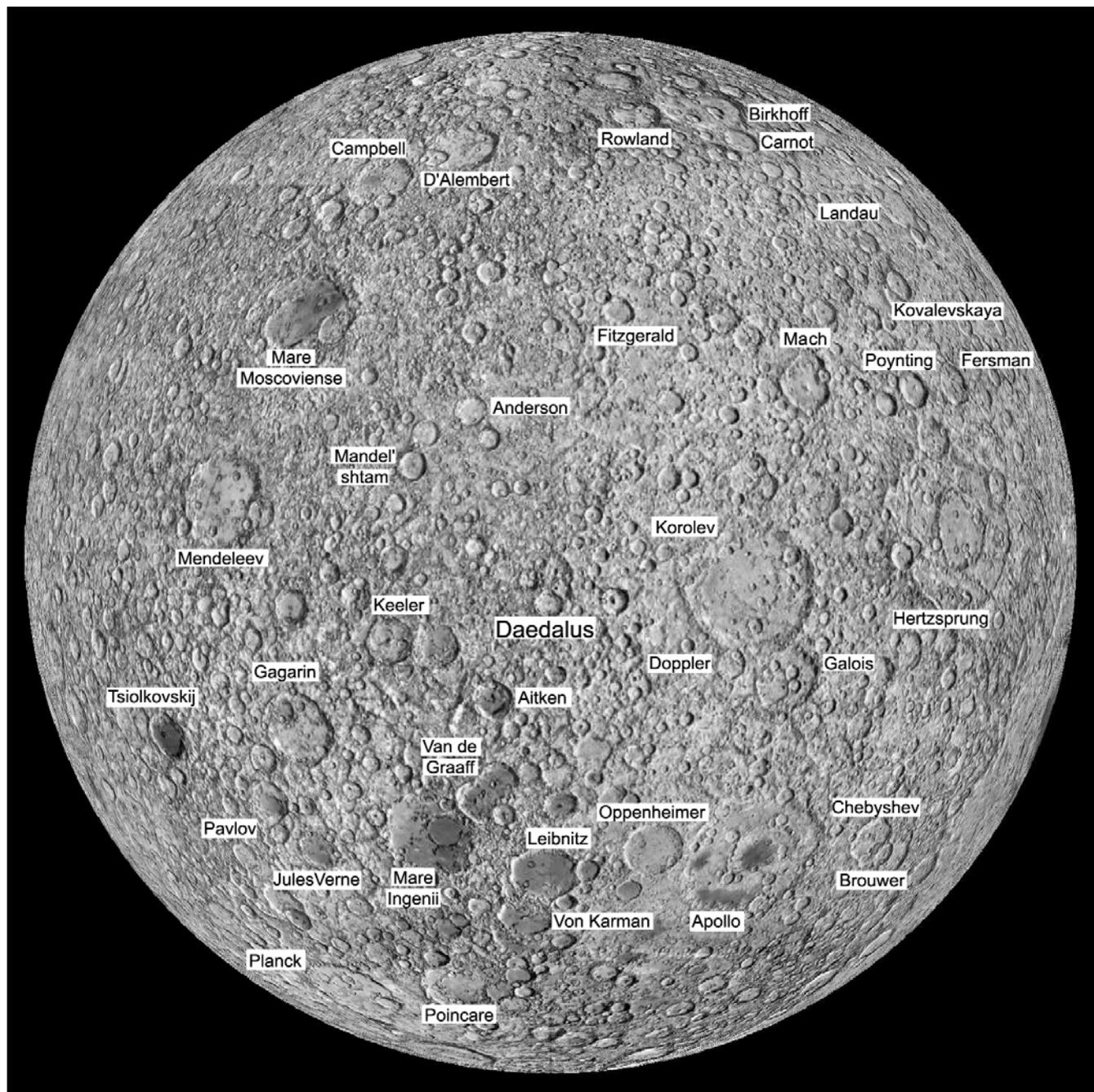
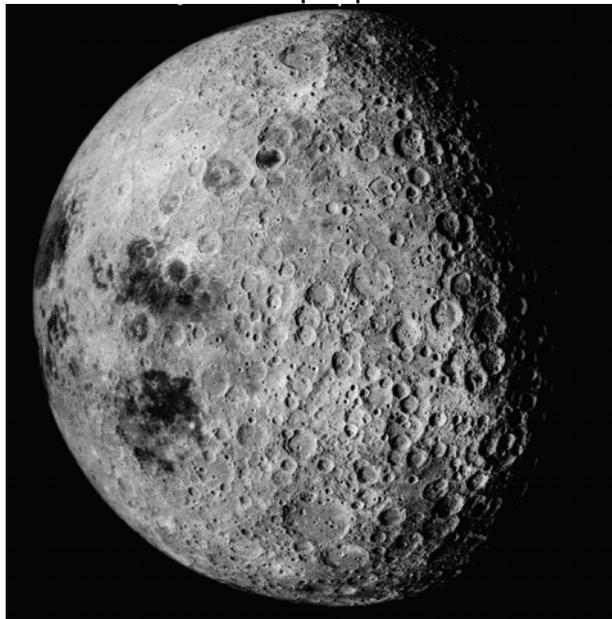


Image (c) Atlas virtuel de la Lune / Ch. Legrand & P. Chevalley

La face cachée de la Lune est l'hémisphère lunaire qui est de manière permanente inobservable de la Terre, car la rotation de la Lune autour de son axe est synchronisée avec sa période orbitale. Cette synchronisation a été réalisée par les forces de marée entre la Terre et la Lune. Jusqu'à ce que la face cachée de la lune n'ait été photographié par la sonde soviétique Luna 3 en octobre 1959, seul les Librations\* de la lune ont permis d'observer des formations qui sont situés près du limbe lunaire du côté caché. Mais ces formations sont vues sous un angle faible, gênant l'observation. 41% de la surface du côté caché est resté inconnu, et ses propriétés étaient sujettes à beaucoup de spéculation. Un exemple d'une formation latérale qui peut être observé grâce à la libration est la Mer Orientale, qui est un bassin de presque 1.000 kilomètres de diamètre. Pourtant elle n'a été notifiée qu'en 1906, par Jules Franz dans *Der Mond*. La vraie nature du bassin a été découverte dans les années 60 où des images rectifiées ont été projetées sur un globe. Elle a été photographiée dans le détail par la sonde Luna 4 en 1967. La face cachée était observée pour la première fois par des sondes Soviétiques, Ceux-ci ont choisi plusieurs noms pour ces formations. Cette action a provoqué une certaine polémique, et l'union astronomique internationale plus tard a assumé

le rôle de nommer les formations lunaires de cet hémisphère. Cependant plusieurs des noms choisis par les Soviétiques sont restés. L'Homme a observé directement, pour la première fois la face cachée pendant la mission d'Apollo 8 en 1968, puis par lors des missions Apollo 11 à Apollo 17. Le vaisseau spatial passant derrière la lune était hors d'atteinte des radiocommunications directe avec la terre, et ont devait attendre jusqu'à ce que l'orbite permette la transmission.

**Limbe Est et la face cachée de la Lune par Apollo 16**



Source NASA

Les deux hémisphères ont un aspect distinctement différent, avec le côté visible couvert de Mers multiples et grandes. La face cachée est criblée de cratères avec peu de Mers. Seulement 2.5% de la surface du côté caché est couverts par les mers, comparé à 31.2% du côté visible. L'explication la plus plausible pour cette différence est que la croûte de la lune est 40 kilomètres plus épaisse du côté caché. Ainsi il était plus difficile que les matériaux fondus pénètrent à la surface. Puisque le côté caché de la lune est protégé des transmissions par radio de la terre, on le considère comme un bon endroit pour placer des radiotélescopes. Les petits cratères, en forme de cuvette fournissent une formation adaptée pour un télescope stationnaire semblable à Arecibo à Porto Rico. Pour beaucoup le cratère Daedalus de 93 kilomètres de diamètre, situé près du centre de la face cachée, avec une muraille haute de 3 Km qui aiderait à bloquer les communications parasites des satellites orbitaux est un bon candidat. Une des missions de la NASA à l'étude serait d'envoyer une sonde prélever un échantillon dans le sud du bassin South Pole-Aitken, une formation de presque 2.400 kilomètres de diamètre. La taille de cet impact a créé une pénétration profonde dans la surface lunaire, et un échantillon de cet emplacement pourrait fournir une importante information au sujet de l'intérieur de la lune.

Nom	Diamètre (Km)
Anderson	109
Apollo	537
Aitken	135
Birkhoff	345
Brouwer	158
Campbell	219
Carnot	126
Chebyshev	178
D'Alembert	248
Daedalus	93
Doppler	110
Fersman	151
Fitzgerald	110
Gagarin	265
Galois	222
Hertzprung	591
Jules Verne	143
Kovalevskaya	115
Keeler	160
Korolev	437
Landau	214
Leibnitz	245
Mach	180
Mandel'shtam	197
Mare Ingenii	318
Mare Moscoviense	227
Mendeleev	313
Oppenheimer	208
Pavlov	148
Poynting	128
Planck	314
Poincare	319
Rowland	171
Tsiolkovkij	185
Van de Graaff	223
Von Karman	180

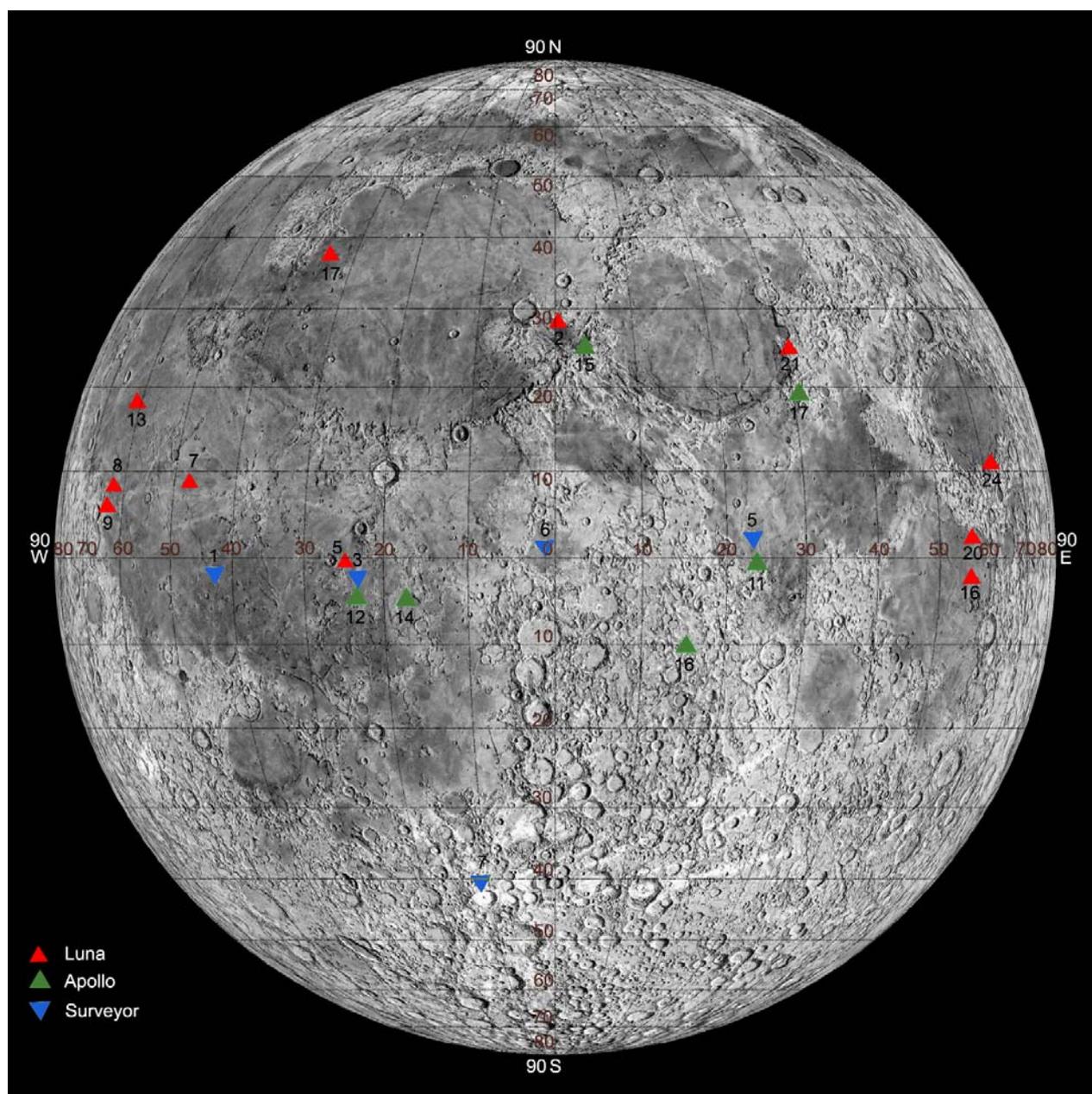
## Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon

[http://www.lpi.usra.edu/reMerrch/lunar\\_orbiter/bin/srch\\_nam.shtml](http://www.lpi.usra.edu/reMerrch/lunar_orbiter/bin/srch_nam.shtml)

La requête par nom permet d'accéder à la photo correspondante prise par les sondes Lunar

# Exploration spatiale lunaire

Les Etats-Unis et l'URSS, suite à la guerre froide se lance dans l'exploration spatiale avec comme objectif d'explorer la Lune et d'y poser un Homme, afin de prouver leur supériorité technique. Plusieurs programmes sont ainsi lancés avec l'URSS qui devance les Etats-Unis au départ. C'est ainsi que le programme Luna (1959-1976) voit le survol de la Lune le 04/01/1959 à 6 400 Km d'altitude avec Luna 1, précurseur de 24 sondes Luna dont beaucoup furent des échecs. Les américains développent pendant ce temps le programme Ranger (1961-1965), constitué de neuf sondes, mais n'ont leur premier succès qu'avec Ranger 7 qui aluni le 31/07/1964 et retransmet 4308 photographies montrant des détails de l'ordre du mètre. Les sondes Ranger avaient pour objectif d'acquies des images à haute résolution, afin de préparer les futures missions de vols habités. Avant le programme final Apollo, deux autres programmes furent développés, Surveyor (1966-1968) avec pour objectif de faire alunir des sondes automatiques et d'obtenir des images des sites d'alunissages possibles. Le deuxième programme Lunar Orbiter (1965-1967) avait pour objectif de cartographier la Lune en haute résolution. Après ces préparatifs et cette somme de connaissance amassé sur notre satellite le programme habité Apollo (1968-1972) pu être lancé avec le premier pas sur la Lune le 20 juillet 1969, dans la mer de la tranquillité. L'équipage était composé de Neil A. Armstrong et Edwin E. Aldrin Jr., qui sont descendus sur la surface lunaire.



Liste des Sondes ayant atteint la surface lunaire, soit après crash ou après alunissage.

Sonde	Nationalité	Date	Masse (kg)	Localisation
Luna 2	URSS	1959	390.2	29.1° N - 0° W
Ranger 4	USA	1962	331	12.9° S - 129.1° W
Ranger 6	USA	1964	381	9.4° N - 21.5° E
Ranger 7	USA	1964	365.7	10.6° S - 20.61° W
Luna 5	URSS	1965	1474	1.6° S - 25° W
Luna 7	URSS	1965	1504	9.8° N - 47.8° W
Luna 8	URSS	1965	1550	9.6° N - 62° W
Ranger 8	USA	1965	367	2.64° N - 24.77° E
Ranger 9	USA	1965	367	12.79° S - 2.36° W
Luna 9	URSS	1966	1580	7.13° N - 64.37° W
Luna 10 (1)	URSS	1966	1600	?
Luna 11 (1)	URSS	1966	1640	?
Luna 12 (1)	URSS	1966	1670	?
Luna 13	URSS	1966	1700	18.87° N - 63.05° W
Surveyor 1	USA	1966	270	2.45° S - 43.22° W
Lunar Orbiter 1	USA	1966	386	6.35° N - 160.72° E
Surveyor 2	USA	1966	292	4.0° N - 11.0° W
Lunar Orbiter 2	USA	1966	385	2.9° N - 119.1° E
Lunar Orbiter 3	USA	1966	386	14.6° N - 97.7° W
Surveyor 3	USA	1967	281	2.99° S - 23.34° W
Lunar Orbiter 4	USA	1967	386	?
Surveyor 4	USA	1967	283	0.45° N - 1.39° W
Explorer 35 (IMP-E) (1)	USA	1967	104.3	?
Lunar Orbiter 5	USA	1967	386	2.8° S - 83.1° W
Surveyor 5	USA	1967	281	1.42° N - 23.2° E
Surveyor 6	USA	1967	282	0.53° N - 1.4° W
Surveyor 7	USA	1967	290	40.86° S - 11.47° W
Luna 14 (1)	URSS	1968	1670	?
Luna 15	URSS	1969	2718	?
Apollo 11 LM (2)	USA	1969	2184	?
Apollo 11 LM	USA	1969	2034	0° 40' 26.69" N — 23° 28' 22.69" E
Apollo 12 LM (2)	USA	1969	2164	3.94° S - 21.2° W
Apollo 12 LM	USA	1969	2211	2.99° S - 23.34° W
Luna 16 (3)	URSS	1970	< 5727	0.68° S - 56.3° E
Luna 17 & Lunokhod 1	URSS	1970	5600	38.28° N - 35.0° W
Apollo 13 SIVB (S- IVB-508)	USA	1970	13454	2.75° S - 27.86° W
Luna 18	URSS	1971	5600	3.57° N - 56.5° E
Luna 19 (1)	URSS	1971	5600	?
Apollo 14 SIVB (S- IVB-509)	USA	1971	14016	8.09° S - 26.02° W
Apollo 14 LM (2)	USA	1971	2132	3.42° S - 29.67° W
Apollo 14 LM	USA	1971	2144	3° 38' 43.08" S - 17° 28' 16.90" W
Apollo 15 SIVB (S- IVB-510)	USA	1971	14036	1.51° S - 17.48° W
Apollo 15 LM (2)	USA	1971	2132	26.36° N - 0.25° E
Apollo 15 LM	USA	1971	2809	26° 7' 55.99" N - 3° 38' 1.90" E
Apollo 15 Lunar Rover	USA	1971	462	26.08° N - 3.66° E
Luna 20 (3)	URSS	1972	< 5727	3.53° N - 56.55° E
Apollo 16 SIVB (S- IVB-511)	USA	1972	14002	1.3° N - 23.9° W
Apollo 16 LM (2)	USA	1972	2138	?
Apollo 16 LM	USA	1972	2765	8° 58' 22.84" S - 15° 30' 0.68" E
Apollo	USA	1972	36	?
Apollo 16	USA	1972	462	8.97° S - 15.51° W
Apollo 17 SIVB (S- IVB-512)	USA	1972	13960	4.21° S - 22.31° W
Apollo 17 LM (2)	USA	1972	2150	19.96° N - 30.50° E
Apollo 17 LM	USA	1972	2798	20° 11' 26.88" N - 30° 46' 18.05" E
Apollo 17	USA	1972	462	20.17° N - 30.77° W
Luna 21 & Lunokhod 2	URSS	1973	4850	25.85° N - 30.45° E
Explorer 49 (RAE-B)	USA	1973	328	?
Luna 22	URSS	1974	4000	?

Luna 23	URSS	1974	5600	~12° N - ~62° E
Luna 24	URSS	1976	< 5800	12.75° N - 62.2° E
Hiten Orbiter (Hagornoro)	Japan	1990	12	?
Hiten	Japan	1993	143	34.3° S - 55.6° E
Lunar Prospector	USA	1998	126	87.7° S - 42.1° E
<b>Masse totale estimée</b>			170653	

## Les échantillons lunaires Ramenés sur la Terre (382 kg)

Echantillons ramenés par les missions soviétiques en vol automatique (321 g)	date	Site : Mer des Crises
Luna 16	12 - 09 - 70	surface
Luna 20	14 - 02 - 72	surface
Luna 24	09 - 08 - 76	2 m de profondeur,
Le programme Apollo était destiné à l'exploration humaine de la Lune. A partir de 1969, six missions ont permis à 12 astronautes d'explorer le sol lunaire, d'y déposer des appareils scientifiques, et d'y récolter 381 kg d'échantillons de roches rapportés sur Terre pour être analysés		
Apollo 11 : 21,6 kg	16 - 07 - 69	Mer de la Tranquillité
Apollo 12 : 34,3 kg	14 - 11 - 69	Océan des Tempêtes
Apollo 14 : 42,3 kg	31 - 01 - 71	Faille Hadley
Apollo 15 : 77,3 kg	26 - 07 - 71	Faille Hadley
Apollo 16 : 95,7 kg	16 - 04 - 72	Plateau Descartes
Apollo 17: 110,5 kg	07 - 12 - 72	Taurus-Littrow

USA : Le Programme Pioneer (US) : Missions ayant pour but d'atteindre l'orbite lunaire. Pioneer 1 atteint une distance de 114 000 Km avant d'échouer. Pioneer 3 atteint 102 000 km. Pioneer 4 passe à 60 000 Km de la Lune en mars 1959. Les autres sondes Pioneer atteindront la Lune sans réussir à se satelliser.

Le Programme Ranger (de 1961 à 1965) : Ce programme comprend 9 engins dont 3 qui atteindront la Lune en prenant des photos. Coût total de 267,4 millions de \$.

Le Programme Lunar Orbiter (1966-1967) : 5 engins placés en orbite lunaire avec succès avant de s'écraser délibérément sur le sol. Coût total : 209,3 millions de \$.

Le Programme Surveyor (de 1966-1968) : 7 engins dont un formidable succès pour Surveyor 1 qui se pose en douceur sur la Lune le 30 mai 1966 et retransmet des photos. Coût total : 297,6 millions de \$. Notons que Surveyor 3 a été visité par les astronautes de la mission Apollo 12 directement sur la Lune.

Union Soviétique :

Le Programme Luna (1959-1976) : 24 engins dont Luna 1 qui passe à seulement 7 500 Km de la Lune le 2 janvier 1959 et devient le premier objet artificiel humain à se satelliser autour de la Lune. Luna 2 s'écrase sur la Lune à une vitesse de 10 810 Km/h le 14 septembre 1959. Luna 9 est le premier engin dans l'histoire à se poser en douceur. Luna 16 se pose sur la Lune le 12 septembre 1970 puis ramène sur Terre 105 Kg d'échantillons. Luna 21 retransmet en 1973 80 000 photos du sol lunaire et 86 vues panoramiques. Luna 24 est une autre mission de retour d'échantillons.

Le Programme Zond : 8 stations interplanétaires lancées de 1964 à 1970 de 5,2 à 5,5 t contournant la Lune.

Japon :

Muses-A (Hiten) : Lancée le 24 janvier 1990, la sonde se scinde en 2 à seulement 16 472 Km de la Lune. Elle s'écrase sur la Lune en 1993.

### Mesure de la distance Terre-Lune à l'aide d'un laser et de réflecteur posés par les sondes sur la Lune.

L'expérience de mesure laser de la distance Terre-Lune a été rendue possible la première fois le 21 juillet 1969, grâce à des réflecteurs déposés sur la Lune par Apollo 11. Depuis lors, la distance entre la terre et la lune a été mesurée à plusieurs reprises pendant plus de 35 ans. Trois rangées supplémentaires de réflecteurs, laissées par les missions d'Apollo 14 et d'Apollo 15 et par la sonde soviétique Lunokhod 2, ont contribué à l'expérience. La plus grande taille des réflecteurs laissés par Apollo 15 ont permis de réaliser trois quarts des mesures prises lors des 25 premières années de l'expérience. Les améliorations technologique ont eu comme conséquence une plus grande utilisation des plus petits réflecteurs, à partir de l'observatoire McDonald et de la station de télémétrie Laser-Lune de l'observatoire de Côte d'Azur. Lunokhod 1 a également laissé une rangée de réflecteurs, mais ils ont été mal placés. La mesure de la distance Terre-lune fournit également des données utiles pour d'autres expériences, y compris des essais sur la relativité générale. Actuellement l'exactitude des mesures de la distance Terre-Lune est proche du millimètre. Un projet Apollo (Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation) est en court de réalisation avec pour but d'augmenter la taille du télescope récepteur afin de récupérer cinq fois plus de photons et ainsi augmenter l'exactitude des mesures.

## Glossaire :

(la plupart des termes ont pour source l'encyclopédie libre [Wikipédia](#))

**Albédo** : L'albédo est l'intensité de la lumière réfléchi. On utilise une échelle graduée de 0 à 1, avec 0 correspondant au noir, pour un corps avec aucune réflexion, et 1 au blanc, pour un corps qui diffuse dans toutes les directions et sans absorption de tout le rayonnement électromagnétique visible qu'il reçoit.

Dans la pratique, un corps est perçu comme blanc dès qu'il réfléchit au moins 80% de la lumière d'une source lumineuse blanche. À l'inverse tout corps réfléchissant moins de 3% de la lumière incidente paraît noir.

Certaines matières ont un albédo très variable, comme les nuages par exemple. En revanche, les corps solides ont bien souvent des albédos fixes, qui caractérisent leur composition chimique. Par exemple, la lave a un albédo de 4 %, le sable entre 25 et 30 %, la glace entre 30 et 50 %, la neige (épaisse et fraîche) jusqu'à 90 %.

L'albédo est utilisé en astronomie pour avoir une idée de la composition d'un corps trop froid pour émettre sa propre lumière, en mesurant la réflexion d'une source lumineuse externe, comme le Soleil par exemple. On peut différencier ainsi facilement les planètes gazeuses, qui ont un fort albédo, des planètes telluriques qui ont elles, un albédo faible.

**Anorthosite** : Roche magmatique grenue, blanchâtre à grise, se rapprochant de gabbros mais formée à 80-90 % de plagioclases (andésine, labrador dominant, bytownite) et de cristaux isolés et rares : pyroxène (augite, hypersthène) hornblende et biotite, parfois grenat, spinelle, corindon

**Apogée** : L'apoapse, apoapside, apside supérieure ou apocentre est le point de l'orbite d'un objet céleste où la distance est maximale par rapport au foyer de l'orbite.

Son antonyme est périapse, périapside ou péricentre.

La distance du centre de masse à l'apoapse peut se calculer de la façon suivante :  $d = a(1 + e)$

où  $a$  est la longueur du demi-grand axe et  $e$  est l'excentricité.

Dans le cas d'une étoile ou des principaux objets du système solaire, on utilise un terme spécialisé apparenté (seuls aphélie, apogée et apastre sont couramment utilisés)

**Capteur CCD** : Capteur photosensible convertissant la lumière en valeur numérique directement exploitable par l'ordinateur, qui, dans un appareil photo numérique, capture l'image point par point

**Cratère** : Dépression due soit au souffle de l'éruption (cratère de sommet, de cône, de scories) soit à une explosion, soit à un effondrement d'origine volcanique, soit à un impact de météorite (cratère d'impact ou de météorite). Dépression circulaire ou elliptique limitée par un bord abrupt.

### Colongitude :

C'est l'angle de phase au terminateur.

Cette notion est surtout utilisée à propos de la Lune. La colongitude avance de 360° au cours de la lunaison avec une progression d'environ 12.9° sélénographiques par jour ou 0.508° par heure. L'avance du terminateur peut donc s'observer en l'espace d'un quart d'heure dans un petit instrument à fort grossissement (environ 100x).

La colongitude est déterminée par deux nombres selon que l'illumination provient de l'Est (phase ascendante) ou de l'Ouest (phase descendante). Ainsi le cratère Tycho se trouve à la colongitude de 9° en phase ascendante de la Lune et à 179° lors de la phase descendante.

Au premier quartier, la Lune est âgée de 7.1 j et la colongitude  $J = 0^\circ$ . Tous les reliefs situés sur la même ligne du terminateur, donc éclairés sous le même angle par le Soleil, présentent la même colongitude. Cette valeur est mentionnée dans les almanachs d'astronomie et les atlas lunaires.

La colongitude lunaire permet de mesurer la hauteur des reliefs grâce à la formule suivante :

$$H (m) = L \operatorname{tg} J$$

J est la colongitude lunaire H la hauteur du relief recherché L la longueur apparente de l'ombre projetée

Par facilité on peut utiliser un facteur de conversion radian-sec d'arc  $k=4,8 \times 10^{-6}$ . Connaissant le rayon de la Lune valant 1738 Km, dans ce cas la formule s'écrit :

$$H \text{ (en km)} = (L \times 1728 \times k) / \cos J$$

**Daguerréotype** : Image produite par un ancien procédé permettant d'enregistrer une image sur une plaque d'argent ioduré superficiellement. Le daguerréotype est un type de photographie, mais, à la différence des photographies modernes, il n'a aucun négatif. Au lieu de cela, c'est une image exposée directement sur une surface en argent polie comme un miroir.

Le daguerréotype n'était pas le premier procédé photographique, mais les images des procédés antérieurs avaient la fâcheuse tendance à disparaître rapidement une fois exposées à la lumière. Le procédé photographique des daguerréotypes était un des premiers à enregistrer et afficher une image de façon permanente et est devenu le premier procédé photographique utilisé commercialement.

Le nom *daguerréotype* provient du nom de son inventeur, l'artiste et décorateur français Daguerre, qui découvrit ce procédé en 1835 et après des années de perfectionnement, présenta sa découverte le 9 janvier 1839 à l'Académie française des sciences

**Diamètre apparent** : Angle sous lequel, d'un point d'observation, on voit l'image d'un astre. S'oppose à diamètre réel. Pour la Lune il en moyenne équivalent à celui du Soleil soit 30' d'angle.

**Ecliptique** : L'écliptique est le plan géométrique qui contient l'orbite de la Terre. Les orbites de la plupart des planètes du système solaire se trouvent très près de lui.

Vu de la terre, l'écliptique est un grand cercle, superposé sur la sphère céleste, et qui contient la trajectoire annuelle du Soleil, relativement aux étoiles. Le zodiaque se trouve également le long du plan de l'écliptique.

L'écliptique est incliné d'environ 23,5° par rapport à l'équateur céleste, résultant de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite. Le plan orbital de la Lune est incliné d'environ 5° relativement à l'écliptique.

Puisqu'il y a environ 365,25 jours dans une année et 360 degrés dans un cercle, le Soleil semble se déplacer le long de l'écliptique à vitesse approximative de 1° par jour. Ce mouvement d'ouest en est, est bien sûr contraire au mouvement apparent d'est en ouest de la sphère céleste.

L'écliptique et l'équateur céleste se croisent en deux points, directement en vis-à-vis l'un de l'autre. On appelle *équinoxes* les moments où le Soleil apparaît à ces points. À ces moments, jour et nuit ont chacun environ 12 heures de long, et ceci à tous les endroits du globe terrestre. Le point sur l'écliptique qui est le plus au nord de l'équateur céleste s'appelle *solstice d'été* dans l'hémisphère nord et *solstice d'hiver* dans l'hémisphère austral. Ces dénominations sont inversées lorsque le Soleil est le plus au sud de l'équateur céleste.

Si, pendant la nouvelle lune ou la pleine lune, la Lune croise l'écliptique (de tels points de croisement sont appelés *nœuds*) ; une éclipse se produira.

**Excentricité** : Rapport de la distance entre foyers au grand axe d'une ellipse qui en caractérise l'aplatissement. L'excentricité de l'orbite terrestre est très faible (environ 0,017)

**Gamma** : Unité d'intensité de champ magnétique égale à  $10^5$  gauss

**Laccolithe** : Massif de roches magmatiques plutonique en grosse lentille de plusieurs kilomètres, à surface inférieure plane et surface supérieure convexe vers le haut

**Libration** : Oscillation d'un objet spatial (astre ou engin spatial) autour d'une position moyenne

**Lunaison** : Le temps nécessaire pour que le soleil et la lune se retrouvent dans la même position relative par rapport à la terre. Sa valeur est de 29 jours 12 heures 44 minutes 9 secondes. Appelé aussi révolution synodique

**Magma** : Liquide à haute température (au moins 600 °C) qui donne des roches par solidification, soit à une certaine profondeur au cours d'un refroidissement lent (roches plutoniques), soit en surface par refroidissement rapide de laves (roches volcaniques). Le magma est de la roche fondue. Il se forme à haute température et sous haute pression par fusion partielle de la croûte ou du manteau. Le magma est plus léger que la roche qui l'entoure, ce qui, par la poussée d'Archimède, l'entraîne vers le haut

**Périgée** : Le périapse, périapside, péricentre ou apside inférieure est le point de l'orbite d'un objet céleste où la distance est minimale par rapport au foyer de cette orbite.

Son antonyme est apoapside, apoapse ou apocentre.

La distance du centre de masse au périapse peut se calculer de la façon suivante :  $q = a(1 - e)$

où  $a$  est la longueur du demi-grand axe et  $e$  est l'excentricité.

Dans le cas d'une étoile ou des principaux objets du système solaire, on utilise un terme spécialisé apparenté (seuls périhélie, périgée et périastre sont couramment utilisés)

**Pouvoir séparateur** : Notion qui caractérise un instrument par la distance en angströms existant entre deux raies juste séparables. Aptitude d'un appareil ou d'un système optique à séparer les détails d'une image.

**Régolithe** : Couche de poussière produite par l'impact des météorites (grosses et petites) à la surface d'une planète

**Termineur** : Le termineur est une notion que l'on retrouve en astronomie et en particulier à propos de la Lune. Il s'agit de la zone séparant l'hémisphère plongé dans l'obscurité de celle éclairée (en général par le Soleil).

Le termineur lunaire représente la zone la plus intéressante à observer. En raison de la faible élévation du Soleil, les reliefs situés dans cette région sont éclairés en lumière rasante et voient leurs profils accentués, bien délimités par leurs ombres.

Le facteur de brillance longitudinale qui représente l'angle idéal d'élévation du Soleil au-dessus des reliefs se situe entre 5° et 15° environ, ce qui procure le maximum de contraste en raison des ombres portées.

Ce fort contraste entre les régions claires et obscures s'étend vers l'est (Lune croissante) ou vers l'ouest (Lune descendante) sur une distance d'environ 600 Km soit 12° de colongitude. Au-delà de ces valeurs le Soleil est à plus de 20° au-dessus de l'horizon et la formation perd tout son relief, exceptés les cratères très récents aux remparts élevés dont le fond n'est visible qu'une fois le Soleil assez haut sur l'horizon.

**Turbulence** : Agitation se superposant au mouvement moyen de l'air et constituée par des mouvements désordonnés, en continuelle transformation. La turbulence se rencontre à l'intérieur ou au voisinage des nuages (par exemple, dans les nuages orageux où coexistent des courants verticaux de sens contraire); il existe aussi de la turbulence en ciel clair T.A.C., (Clear air turbulence : C.A.T.), soit près du sol, soit surtout à très haute altitude à proximité des courants jets.

**Webcam** : Une Webcam est une caméra qui se connecte à l'ordinateur, via le port USB ou bien plus rarement par le port parallèle mais encore via une carte d'acquisition vidéo interne ou externe au PC. Dans ce cas la caméra est de standard PAL vidéo-composite de type filaire habituel ou caméra sans fil utilisant la bande des 2.4 GHz.

Ses utilisations peuvent être les suivantes : capture de vidéo, capture d'images, détection de mouvements dans une pièce, diffusion de vidéo, diffusion d'images à intervalles réguliers, vidéo-surveillance diverses, caméra de trafic routier, capitainerie, piste de ski, contrôle d'accès, contrôle machinerie, météo-cam, astrocam, visioconférences, etc...

La première webcam fut branchée au département des sciences informatiques de l'université de Cambridge en 1991 puis connectée à Internet en 1993. Elle fut coupée le 22 août 2001.

**Liens Internet intéressants :**

-  **Apollo** (Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation) Nouvelle initiative pour mesurer la distance Lune – Terre au moyen de lasers. <http://physics.ucsd.edu/%7Etmurphy/apollo/apollo.html>
-  **Apollo Image Atlas** des images lunaire en haute résolution <http://www.lpi.usra.edu/research/apollo/>
-  **Apollo Lunar Surface Journal** (site de la NASA donnant des photos, des transcriptions des conversations, et beaucoup d'autres sujets relié à toutes les missions lunaires d'Apollo) <http://www.hq.nasa.gov/alsj/frame.html>
-  **Atlas Virtuel de la Lune** un atlas freeware à partir d'image des sondes lunaires [http://astrosurf.com/avl/FR\\_index.html](http://astrosurf.com/avl/FR_index.html)
-  **Clementine** : Atlas lunaire réalisé par la sonde Clémentine <http://clementine.cnes.fr/see/see.html>
-  **CONSOLIDATED LUNAR ATLAS** un atlas de la Lune avec de larges régions <http://www.lpi.usra.edu/research/cla/>
-  **Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon** Atlas des sondes lunar. [http://www.lpi.usra.edu/research/lunar\\_orbiter/](http://www.lpi.usra.edu/research/lunar_orbiter/)
-  **Exploring the Moon** site de la Nasa qui regroupe toutes les missions lunaires et surtout les futures [http://www.lpi.usra.edu/expmoon/lunar\\_missions.html](http://www.lpi.usra.edu/expmoon/lunar_missions.html)
-  **Geologic History of the Moon, Don Wilhelms** Une analyse scientifique de la géologie lunaire <http://cps.earth.northwestern.edu/GHM/>
-  **Image lunaire du jour** LPOD <http://iluj.lpod.org/ILUJ-Archive.htm>
-  **Iris** Logiciel freeware de traitement d'images (niveau expert) <http://www.astrosurf.com/buil/iris/iris.htm>
-  **Ludiver** et ses merveilleuses images lunaires prises avec un télescope de 600 mm. [http://www.ludiver.com/conquerir\\_espace\\_scientifique\\_lune.php](http://www.ludiver.com/conquerir_espace_scientifique_lune.php)
-  **Lunar Map Catalog** une série de carte lunaire en très haute résolution <http://www.lpi.usra.edu/research/mapcatalog/>
-  **Lunar Photo of the Day** Chaque jour une nouvelle image lunaire commentée <http://www.lpod.org/LPOD-Archive.htm>
-  **Lunar Prospector** la mission Lunar prospector et sa découverte de glace sur la Lune en 1999 <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunarprosp.html>
-  **LUXORION** Beaucoup de dossier astronomique bien documentés <http://www.astrosurf.com/lombry/index.htm>
-  **Moon Nomenclature Table Of Contents** Nomenclature officielle de la Lune <http://planetarynames.wr.usgs.gov/moon/moonTOC.html>
-  **Missions lunaires soviétiques** [http://www.russianspaceweb.com/spacecraft\\_planetary\\_lunar.html](http://www.russianspaceweb.com/spacecraft_planetary_lunar.html)
-  **Nox Oculis** La découverte et l'exploration de la Lune : des origines à nos jours <http://pages.infinit.net/noxoculi/lune.html>
-  **Registax** Logiciel freeware de traitement d'images (niveau débutant) <http://aberrator.astronomy.net/registax/>
-  **The Project Apollo Archive** phototèque sur les missions Apollo <http://www.apolloarchive.com/>
-  **Ebay** (site d'enchère qui permet de trouver des caméras Vesta pro pvc680) <http://www.ebay.fr/>

**Livres:**

 A la découverte de la Lune aux éditions Flammarion

 Atlas de la Lune d'Antonin Rükl aux éditions Gründ

 Atlas Guide Photographique de la Lune de Georges Viscardy

 La Lune de Michael T.Kitt aux éditions Broquet

 Lunar Sourcebook Cambridge University Press

 Observing the Moon, the modern astronomer's guide de Gerald North chez Cambridge University Press