



ASTROPHIL

Association philatélique du CE ArianeGroup LHA
BP 10054 - 33160 St-Médard-en-Jalles
astrophil.espace@gmail.com
<https://www.astrophil-philatelie.fr>
Association affiliée à la FFAP - au GAPS

Bulletin
d'information

n° 36
Juillet/Août 2019

Editorial

Après un été que nous espérons apprécié de tous, nous vous proposons ce numéro sur « la LUNE »

Un reportage sur la manifestation organisée par la cité de l'espace en juillet dernier

Nous en profitons pour continuer le compte rendu des recherches de Alain dont vous trouverez la suite dans nos deux prochains numéros.

Nous vous donnons rendez-vous
à **SENS (89100)**

du 10 au 13 octobre 2019

sur l'espace Astrophilatélie pour notre

Challenge Philespace 2019

dans le cadre du
46ème congrès organisé par le Groupement Philatélique de Champagne-Ardenne (GPCA)

avec l'exposition philatélique
inter régionale CGPA-GAPS.

Et les **13 -14 et 15 Décembre 2019**
à **St Médard en Jalles (33)**
Salle Georges Brassens

**Pour l'anniversaire des
40 ans d'ARIANE**

Sommaire

- Editorial p.1
- Cité de l'espace p. 2 et 12
- Programme Apollo p. 3-11

Directeur de la publication - Evelyne Krummenacker
Rédacteurs - Luc Delmon - Alain Lentin - Jean Luc Rampaud - Evelyne Krummenacker + crédits photos Jean Luc Rampaud et Luc Delmon.

INFORMATIONS Astrophilatéliques

Cité de l'Espace 19-21 Juillet 2019 premier jour du timbre 50 ans de l'Homme sur la Lune

Notre équipe a bien « aluni » à La Poste de Toulouse pour la préparation des documents de ce premier jour et pour les journées des manifestations à la Cité de l'Espace

L'accueil des différents intervenants a été très chaleureux et tout a été mis en place pour un séjour très agréable

Nous vous proposons un petit reportage photo de ces journées (*photos de nos adhérents ou de site internet*)

Nous avons été accueillis par le personnel de la Cité de l'Espace pour la mise en place des stands Astrophil et La Poste. Nous avons eu le plaisir de la visite de Claudie HAIGNERAIE et de Jean-François CLERVOY avant l'ouverture de la Cité aux visiteurs.



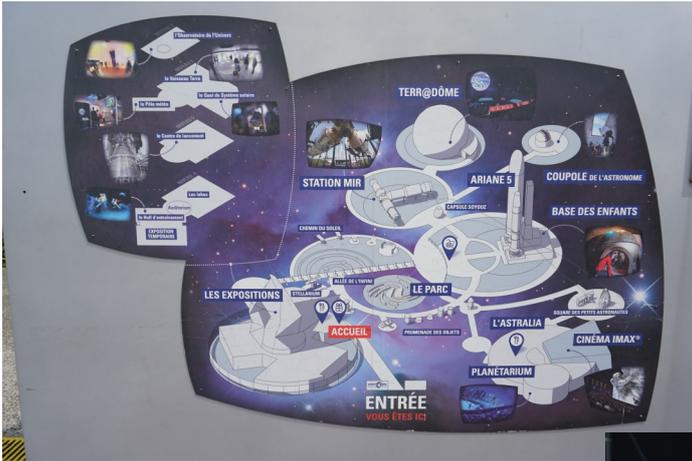
Courrier des Lecteurs



Vous avez des documents à céder ou échanger, des informations à partager. Vous cherchez des documents Espace. Vous avez besoin de renseignements sur des documents. Vous avez un article à proposer : Contactez : astrophil.espace@gmail.com

Cité de l'Espace—TOULOUSE

De nombreuses animations sur tout le site avaient été mises en place. Et pour la plus grande joie des visiteurs, les personnalités se sont prêtées au spectacle autour du LEM (*Lunar Excursion Module*) grandeur nature. Vous reconnaîtrez entre autres, les astronautes français Jean François Clervoy, Philippe Perrin, Claudie Haigneré. Etaient également attendus François de Closets, journaliste lors des missions Apollo et Tim Tawney représentant Europe de la NASA.



Descente du LEM par Claudie Haigneré

La Grande Aventure du Programme APOLLO et du Premier pas de l'homme sur la Lune. (suite du n° 35)

8 - Les composants du programme Apollo (suite)

Le véhicule spatial Apollo (ou module de commande et de service abrégé en CSM) transporte les astronautes à l'aller et au retour. Pesant plus de 30 tonnes, il est pratiquement dix fois plus lourd que le vaisseau Gemini. La masse supplémentaire (21,5 tonnes) est en grande partie représentée par le moteur et les ergols qui fournissent un delta-v de 2 800 m/s permettant au vaisseau de s'insérer en orbite lunaire puis de quitter cette orbite. Le vaisseau Apollo reprend une disposition inaugurée avec le vaisseau Gemini : un module de commande (CM) abrite l'équipage et un module de service (SM) contient le moteur de propulsion principal, l'essentiel des sources d'énergie ainsi que l'équipement nécessaire à la survie des astronautes.



Module de Commande et de Service

Le module de commande Apollo est la partie dans laquelle les trois astronautes séjournent durant la mission, sauf lorsque deux d'entre eux descendent sur la Lune au moyen du module lunaire. Pesant 6,5 tonnes et de forme conique, sa structure externe comporte une double paroi : une enceinte constituée de tôles et nid d'abeilles à base d'aluminium qui renferme la zone pressurisée et un bouclier thermique qui recouvre la première paroi et dont l'épaisseur varie en fonction de l'exposition durant la rentrée atmosphérique. Le bouclier thermique est réalisé avec un matériau composite constitué de fibres de

L'espace pressurisé représente un volume de 6,5 m³. Les astronautes sont installés sur trois couchettes côte à côte parallèles au fond du cône et suspendues à des poutrelles partant du plancher et du plafond (la pointe du cône). En position allongée, les astronautes ont en face d'eux, suspendu au plafond, un panneau de commandes large de deux mètres et haut de un mètre présentant les principaux interrupteurs et voyants de contrôles. Les cadrans sont répartis en fonction du rôle de chaque membre d'équipage. Sur les parois latérales se trouvent des baies réservées à la navigation, d'autres panneaux de commande ainsi que des zones de stockage de nourriture et de déchets. Pour la navigation et le pilotage, les astronautes utilisent un télescope et un ordinateur qui exploite les données fournies par une centrale inertielle.

Le vaisseau dispose de deux écoutilles : l'une située à la pointe du cône comporte un tunnel est utilisée pour passer dans le module lunaire lorsque celui-ci est amarré au vaisseau Apollo. L'autre placée sur la paroi latérale est utilisée à Terre pour pénétrer dans le vaisseau et dans l'espace pour les sorties extra véhiculaires (le vide est alors effectué dans la cabine car il n'y a pas de sas). Les astronautes disposent par ailleurs de cinq hublots pour effectuer des observations et réaliser les manœuvres de rendez-vous avec le module lunaire. Le module de commande dépend pour les principales manœuvres comme pour l'énergie et le support-vie du module de service.

Le module de service (SM ou « Service Module » en anglais) est un cylindre d'aluminium non pressurisé de 5 mètres de long et 3,9 mètres de diamètre pesant 24 tonnes. Il est accouplé à la base du module de commande et la longue tuyère du moteur-fusée principal de 9 tonnes de poussée en dépasse de 2,5 mètres. Le module est organisé autour d'un cylindre central qui contient les réservoirs d'hélium servant à pressuriser les réservoirs d'ergols principaux ainsi que la partie haute du moteur principal. Autour de cette partie centrale, l'espace est découpé en six secteurs en forme de parts de gâteau. Quatre de ces secteurs abritent les réservoirs d'ergols (18,5 tonnes). Un secteur contient trois piles à combustible qui fournissent la puissance électrique et en sous-produit l'eau ainsi que les réservoirs d'hydrogène et d'oxygène qui les alimentent. L'oxygène est également utilisé pour renouveler l'atmosphère de la cabine. Un secteur reçoit des équipements qui ont varié en fonction des missions : appareils scientifiques, petit satellite, caméras, réservoir d'oxygène supplémentaire. Le module de service contient également les radiateurs qui dissipent l'excédent de chaleur du système électrique et qui régulent la température de la cabine. Quatre grappes de petits moteurs de contrôles d'attitude sont disposées sur le pourtour du cylindre. Une antenne comportant cinq petites paraboles, assurant les communications à grande distance, est déployée une fois le vaisseau lancé

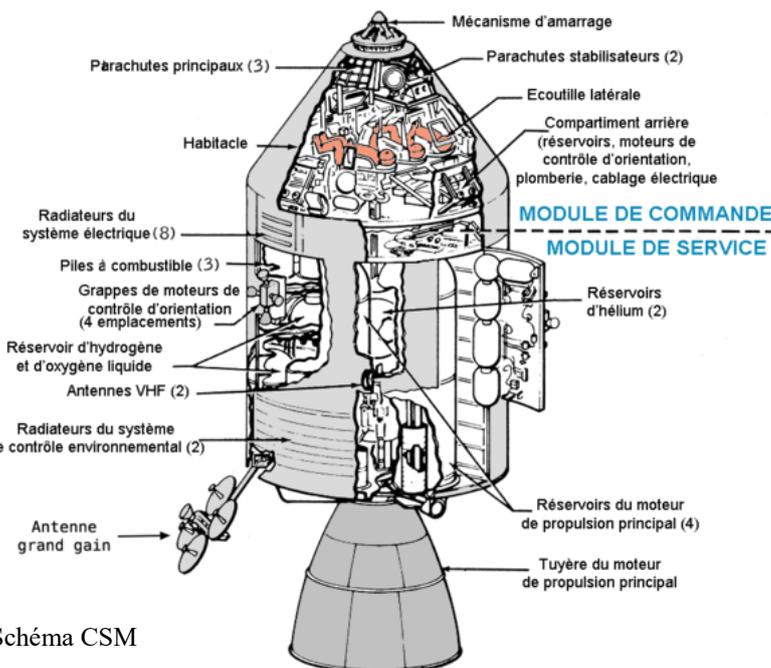


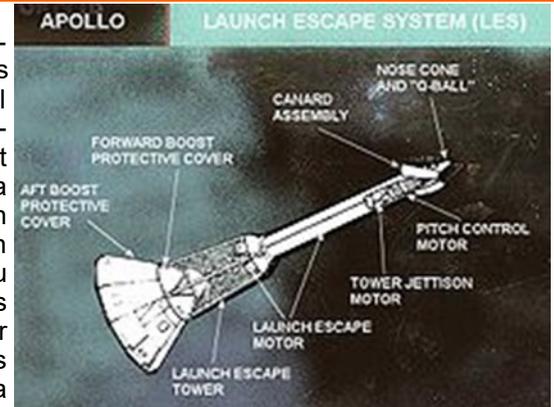
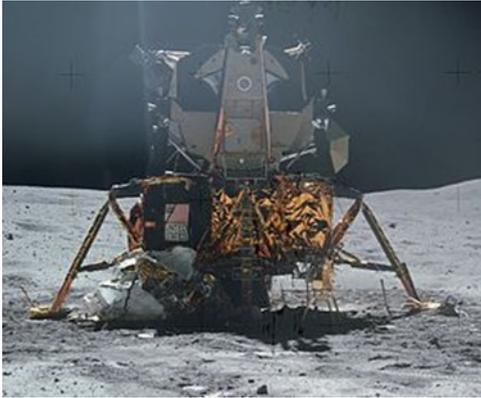
Schéma CSM

Il dispose de quatre grappes de petits moteurs d'orientation permettant les manœuvres lors de la rentrée. Celles-ci s'effectuent en orientant le module en roulis, la capsule ayant une incidence voisine de 25 à 30 degrés par rapport à son axe de symétrie. Cette incidence est obtenue par balourd statique de construction.

Le module de service (SM ou « Service Module » en anglais) est un cylindre d'aluminium non pressurisé de 5 mètres de long et 3,9 mètres de diamètre pesant 24 tonnes. Il est accouplé à la base du module de commande et la longue tuyère du moteur-fusée principal de 9 tonnes de poussée en dépasse de 2,5 mètres. Le module est organisé autour d'un cylindre central qui contient les réservoirs d'hélium servant à pressuriser les réservoirs d'ergols principaux ainsi que la partie haute du moteur principal. Autour de cette partie centrale, l'espace est découpé en six secteurs en forme de parts de gâteau. Quatre de ces secteurs abritent les réservoirs d'ergols (18,5 tonnes). Un secteur contient trois piles à combustible qui fournissent la puissance électrique et en sous-produit l'eau ainsi que les réservoirs d'hydrogène et d'oxygène qui les alimentent. L'oxygène est également utilisé pour renouveler l'atmosphère de la cabine. Un secteur reçoit des équipements qui ont varié en fonction des missions : appareils scientifiques, petit satellite, caméras, réservoir d'oxygène supplémentaire. Le module de service contient également les radiateurs qui dissipent l'excédent de chaleur du système électrique et qui régulent la température de la cabine. Quatre grappes de petits moteurs de contrôles d'attitude sont disposées sur le pourtour du cylindre. Une antenne comportant cinq petites paraboles, assurant les communications à grande distance, est déployée une fois le vaisseau lancé

La Grande Aventure du Programme APOLLO et du Premier pas de l'homme sur la Lune.

La tour de sauvetage est un dispositif destiné à éloigner le vaisseau spatial du lanceur Saturn V si celui-ci subit une défaillance durant les premières phases du vol. Le recours à des sièges éjectables, utilisé sur le vaisseau spatial Gemini, est exclu compte tenu du diamètre de la boule de feu que créerait l'explosion de la fusée Saturn V. La tour de sauvetage est constituée d'un propulseur à poudre situé au bout d'un treillis métallique lui-même perché au sommet du vaisseau Apollo. En cas d'incident, le moteur-fusée de la tour arrache le vaisseau de la fusée tandis qu'un petit propulseur l'écarte de la trajectoire de la fusée. La tour est alors larguée et le vaisseau entame sa descente en suivant une séquence similaire à celle d'un retour sur Terre. Si le lancement se déroule sans problème, la tour est éjectée lorsque le deuxième étage de la fusée Saturn est mis à feu.



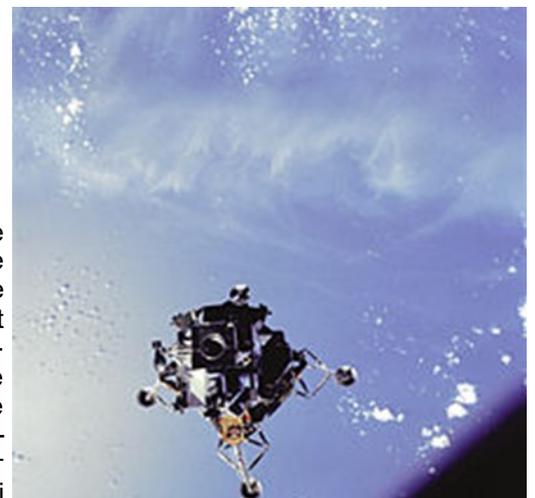
Le module lunaire comporte deux étages : un étage de descente permet d'atterrir sur la Lune et sert par ailleurs de plateforme de lancement au deuxième étage, l'étage de remontée, qui ramène les astronautes au vaisseau Apollo en orbite à la fin de leur séjour sur la Lune. La structure du module lunaire est, pour l'essentiel, réalisée avec un alliage d'aluminium choisi pour sa légèreté. Les pièces sont généralement soudées entre elles mais parfois également rivetées.

Le corps de l'étage de descente, qui pèse plus de 10 tonnes, a la forme d'une boîte octogonale d'un diamètre de 4,12 mètres et d'une hauteur de 1,65 mètre. Sa structure, constituée de deux paires de panneaux parallèles assemblés en croix, délimite cinq compartiments carrés (dont un central) et quatre compartiments triangulaires. La fonction principale de l'étage de descente est d'amener le LEM sur la Lune. À cet effet, l'étage dispose d'un moteur fusée à la fois orientable et à poussée variable. La modulation de la poussée permet d'optimiser la trajectoire de descente mais surtout de poser en douceur le LEM qui s'est fortement allégé en consommant ses ergols. Le comburant, du peroxyde d'azote (5 tonnes), et le carburant, de l'aérozine 50 (3 tonnes), sont stockés dans quatre réservoirs placés dans les compartiments carrés situés aux quatre coins de la structure. Le moteur se trouve dans le compartiment carré central. Le deuxième rôle de l'étage de descente est de transporter tous les équipements et consommables qui peuvent être abandonnés sur la Lune à la fin du séjour, ce qui permet de limiter le poids de l'étage de remontée.

L'étage de remontée pèse environ 4,5 tonnes. Sa forme complexe, qui résulte d'une optimisation de l'espace occupé, lui donne l'allure d'une tête d'insecte. Il est essentiellement composé de la cabine pressurisée qui héberge deux astronautes dans un volume de 4,5 m³ et du moteur de remontée avec ses réservoirs d'ergols. La partie avant de la cabine pressurisée occupe la plus grande partie d'un cylindre de 2,34 mètres de diamètre et de 1,07 mètre de profondeur. C'est là que se tient l'équipage lorsqu'il n'est pas en excursion sur la Lune. Le pilote (à gauche face à l'avant) et le commandant de bord sont debout, tenus par des harnais qui les maintiennent en place en impesanteur et durant les phases d'accélération. Sur la cloison avant, chaque astronaute a devant lui un petit hublot triangulaire (0,18 m²) incliné vers le bas, qui lui permet d'observer le sol lunaire avec un bon angle de vision, ainsi que les principales commandes de vol et cadrans de contrôle regroupés par panneaux généralement dédiés à un sous-système. Les commandes et contrôles communs sont placés entre les deux astronautes (par exemple la console d'accès à l'ordinateur de navigation), certaines commandes sont doublées (commandes pilotant l'orientation et la poussée des moteurs), les autres commandes sont réparties en fonction des tâches assignées à chaque astronaute. Les panneaux de commandes et coupe-circuit se prolongent sur les parois latérales situées de part et d'autre des astronautes.

Le pilote a au-dessus de sa tête un petit hublot (0,07 m²) qui lui permet de contrôler la manœuvre de rendez-vous avec le module de commande. L'arrière de la cabine pressurisée est beaucoup plus exigu (1,37 × 1,42 m pour 1,52 m de haut) : son plancher est plus haut de 48 cm et, de plus, encombré par un capot recouvrant le sommet du moteur de remontée. Les parois latérales sont occupées par les rangements et à gauche, par une partie du système de contrôle environnemental. Au plafond se trouve l'écotille utilisée pour passer dans le Module de Commande derrière laquelle se trouve un tunnel court (80 cm de diamètre pour 46 cm de long) comportant un système de verrouillage utilisé pour solidariser les deux vaisseaux. Les forces en jeu au moment de l'accostage qui pourraient déformer le tunnel sont amorties par des poutres qui les répercutent sur toute la structure.

Le LEM ne dispose pas de sas, qui aurait ajouté trop de poids. Pour descendre sur le sol lunaire, les astronautes font le vide dans la cabine et, à leur retour, ils pressurisent la cabine avec les réserves d'oxygène. Pour descendre, ils se glissent dans l'écotille : celle-ci donne sur une petite plate-forme horizontale qui débouche sur l'échelle dont les barreaux sont situés de part et d'autre d'une des jambes de l'étage de descente.



Mission Apollo 9 – Test du Module Lunaire

Instruments scientifiques, véhicules et équipements :

Pour remplir la mission lunaire, la NASA dut concevoir plusieurs instruments scientifiques, équipements et véhicules destinés à être mis en œuvre sur le sol lunaire. Les principaux développements sont :



- le rover lunaire, utilisé à partir de la mission *Apollo 15*, est un véhicule rustique tout-terrains à propulsion électrique, alimenté par des batteries. Pouvant atteindre la modeste vitesse de 14 km/h, il permet de porter le rayon d'action des astronautes de quelques centaines de mètres à une dizaine de kilomètres et dispose d'une capacité d'emport de 490 kg ;

- l'ALSEP est un ensemble d'instruments scientifiques installé par les astronautes près de chaque site d'atterrissage à partir d'*Apollo 12*. Alimenté en énergie électrique par un générateur thermoélectrique à radioisotope (RTG) il comporte de quatre à sept instruments scientifiques dont la composition a varié selon les missions : sismomètre actif ou passif, spectromètre de masse, réflecteur laser, gravimètre, détecteur de poussière, etc. Ces instruments ont fourni en continu, jus-

qu'à leur arrêt en 1977, des informations sur l'atmosphère, le sol et le sous-sol lunaire : sismicité, vent solaire, température, composition de l'atmosphère, champ magnétique, etc. ;

- les combinaisons spatiales (modèle Apollo A7L) portées par les astronautes, d'une masse de 111 kg avec le système de survie, furent spécialement conçues pour les longues excursions sur le sol lunaire (plus de sept heures pour certaines sorties des équipages d'*Apollo 15*, *16* et *17*) au cours desquelles les astronautes devaient se déplacer dans un environnement particulièrement hostile — températures extrêmes, micrométéorites, poussière lunaire — tout en effectuant de nombreux travaux nécessitant une certaine flexibilité.



9 - Chronologie des vols

La maîtrise du vol spatial : les programmes *Mercury* et *Gemini*



Rendez-vous Spatial, Gemini 6A et Gemini 7

Aucun vol orbital américain n'avait encore eu lieu au lancement du programme *Apollo*. Le seul vol du programme avait débuté en 1959 (Programme *Mercury*), trois semaines avant le discours du président Kennedy et fut un simple vol balistique faute de disposer d'une fusée suffisamment puissante. Il fallut attendre la mission *Mercury-Atlas 6* du 20 février 1962 pour que John Glenn devienne le premier astronaute américain à boucler une orbite autour de la Terre. Trois autres vols habités eurent lieu en 1962 et en 1963.

L'issue du programme *Mercury*, des aspects importants du vol spatial, qui devaient être mis en application pour les vols lunaires, n'étaient toujours pas maîtrisés alors qu'il n'était pas possible de les tester au sol. Les dirigeants de la NASA lancèrent un programme destiné à acquérir ces techniques sans attendre la mise au point du vaisseau très sophistiqué de la mission lunaire : le programme *Gemini* devait remplir trois objectifs :

- maîtriser les techniques de localisation, manœuvre et rendez-vous spatial ;
- mettre au point les techniques permettant de travailler dans l'espace au cours de sorties extravéhiculaires ;
- étudier les conséquences de l'impesanteur sur la physiologie humaine au cours de vols de longue durée.

Le vaisseau spatial *Gemini*, qui devait initialement être une simple version améliorée de la capsule *Mercury*, se transforma au fur et à mesure de sa conception en un vaisseau complètement différent de 3,5 tonnes (contre environ une tonne pour le vaisseau *Mercury*), capable de voler avec deux astronautes durant deux semaines. Le vaisseau était lancé par une fusée *Titan II*, missile de l'armée de l'air américaine reconverti en lanceur. Le programme rencontra des problèmes de mise au point. Le lanceur souffrait d'effet pogo, les piles à combustible utilisées pour la première fois fuyaient et la tentative de mise au point d'une aile volante pour faire atterrir la capsule sur le sol ferme échoua. Tous ces déboires gonflèrent le coût du programme de 350 millions de dollars à un milliard de dollars. Toutefois, fin 1963, tout était rentré dans l'ordre et deux vols sans équipage purent avoir lieu en 1964 et au début de 1965. Le premier vol habité *Gemini 3* emporta les astronautes Virgil Grissom et John Young le 23 mars 1965. Au cours de la mission suivante, l'astronaute Edward White réalisa la première sortie dans l'espace américaine. Huit autres missions, émaillées d'incidents sans conséquence, s'échelonnèrent jusqu'en novembre 1966 : elles permirent de mettre au point les techniques de rendez-vous spatial et d'amarrage, de réaliser des vols de longue durée (*Gemini 7* resta près de 14 jours en orbite) et d'effectuer de nombreuses autres expériences.



Première sortie extravéhiculaire Edward White Gemini 4 (1965)

Les opérations de reconnaissance : les programmes Ranger, Pegasus, Lunar Orbiter et Surveyor



Satellite Pegasus

Parallèlement au programme *Apollo*, la NASA lance plusieurs programmes pour affiner sa connaissance du milieu spatial et du terrain lunaire. Ces informations sont nécessaires pour la conception des engins spatiaux et préparer les atterrissages. En 1965, trois satellites Pegasus sont placés en orbite par une fusée Saturn I pour évaluer le danger représenté par les micrométéorites ; les résultats seront utilisés pour dimensionner la protection des vaisseaux Apollo. Les sondes Ranger (1961–1965), après une longue série d'échecs, ramènent à compter de fin 1964, une série de photos de bonne qualité de la surface lunaire qui permettent d'identifier des sites propices à l'atterrissage.

Le programme Lunar Orbiter, composé de cinq sondes qui sont placées en orbite autour de la Lune en 1966–1967, complète ce travail : une couverture photographique de 99 % du sol lunaire est réalisée, la fréquence des micrométéorites dans la banlieue lunaire est déterminée

et l'intensité du rayonnement cosmique est mesurée. Le programme permet également de valider le fonctionnement du réseau de télémesure. Les mesures effectuées indiquent que le champ gravitationnel lunaire est beaucoup moins homogène que celui de la Terre rendant dangereuses les orbites à basse altitude. Le phénomène, sous-estimé par la suite, réduira à 10 km l'altitude de l'orbite du LEM d'*Apollo 15* dont l'équipage était endormi, alors que la limite de sécurité avait été fixée à 15 km pour disposer d'une marge suffisante par rapport aux reliefs. Le 2 juin 1966, la sonde *Surveyor 1* effectue le premier atterrissage en douceur sur la Lune fournissant des informations précieuses et rassurantes sur la consistance du sol lunaire (le sol est relativement ferme) ce qui permet de dimensionner le train d'atterrissage du module lunaire .



Sonde Lunar orbital

Les vols de la fusée Saturn I

La fusée Saturn I (ou Saturn C-1) avait été conçue alors que le cahier des charges du programme lunaire n'était pas encore figé. Sa capacité d'emport s'avéra finalement trop faible même pour remplir les objectifs des premières phases du programme. Néanmoins, dix des douze fusées commandées furent construites et lancées entre le 27 octobre 1961 et le 30 juillet 1965, dont six avec l'ensemble des étages. Aucun des composants de cette fusée ne fut réutilisé dans la suite du programme. Après cinq vols consacrés à la mise au point de la fusée (missions SA-1, SA-2, SA-3, SA-4, SA-5), Saturn I fut utilisée pour lancer deux maquettes du vaisseau Apollo (missions A-101, A-102) et placer trois satellites Pegasus en orbite (missions A-103, A-104, A-105).

Les vols de la fusée Saturn IB

- Les vols de la fusée Saturn IB permirent la mise au point du troisième étage de la fusée Saturn V (l'étage IVB dont le moteur consommait du dihydrogène liquide) et d'effectuer les premiers tests du vaisseau spatial Apollo :



Etage 3 de Saturn V

- AS-201 (rétrospectivement et officieusement *Apollo 1a*) (26 février 1966), mission non habitée, premier essai du lanceur Saturn IB. C'est un vol purement balistique culminant à 450 km (sans mise en orbite) qui emporte un véritable vaisseau Apollo et non une maquette. Il permet de tester avec succès l'étage IVB qui sera réutilisé sur la fusée Saturn V, le moteur principal du vaisseau Apollo qui est mis à feu pour porter la vitesse à 8 km/s, ainsi que le bouclier thermique de la capsule Apollo durant la phase de rentrée atmosphérique ;

- AS-203 (rétrospectivement et officieusement *Apollo 3*) (5 juillet 1966), est une mission non habitée dont l'objectif est d'étudier le comportement de l'hydrogène et de l'oxygène liquide dans les réservoirs une fois la fusée placée en orbite. La mission est un succès.

- AS-202 (rétrospectivement et officieusement *Apollo 2*) (25 août 1966) est une mission non habitée. La fusée Saturn 1-B, comme dans le premier vol AS-201, lance sa charge utile sur une longue trajectoire balistique qui lui fait parcourir les trois-quarts du tour de la Terre. La mission doit permettre de tester le comportement du vaisseau Apollo et de la tour de sauvetage fournis dans des versions complètement opérationnelles. Le vaisseau Apollo dispose pour la première fois de ses programmes de pilotage et de navigation et de ses piles à combustible. Le moteur du vaisseau Apollo est allumé à quatre reprises. La rentrée dans l'atmosphère à 8 500 m/s permet de tester le comportement du bouclier thermique soumis à un échauffement prolongé.



Lancement AS-203

L'incendie du module de commande et de service d'Apollo 1

Le 27 janvier 1967, alors que l'équipage du premier vol habité *Apollo 1* (initialement AS-204) qui doit décoller un mois plus tard effectue une répétition au sol en conditions réelles, un incendie se déclare dans le vaisseau Apollo (CSM) dans lequel les trois astronautes se trouvent sanglés sur leurs couchettes. Les flammes font rage dans l'atmosphère confinée et composée uniquement d'oxygène. Virgil Grissom, Edward White et Roger Chaffee décèdent asphyxiés sans être parvenus à ouvrir l'écouille dont le mécanisme complexe ne permettait pas une ouverture rapide. Le vaisseau avait rencontré de nombreux problèmes de mise au point avant l'accident. Le déclenchement de l'incendie sera attribué, sans être clairement identifié, à un court-circuit dû à un fil électrique dénudé. L'enquête révèle l'utilisation de nombreux matériaux inflammables dans la cabine et beaucoup de négligences dans le câblage électrique et la plomberie. Le déclenchement et l'extension de l'incendie avait été favorisé par l'atmosphère d'oxygène pur (dépourvue d'azote) donc extrêmement inflammable, une solution qui était déjà celle des vaisseaux Mercury et Gemini.

De nombreuses modifications furent apportées pour que la cabine du vaisseau offre une meilleure résistance au feu. L'écouille fut modifiée pour pouvoir être ouverte en moins de dix secondes. Une atmosphère d'azote et d'oxygène était utilisée durant la première phase du vol. L'ensemble du programme *Apollo* subit une revue qui entraîna la modification de nombreux composants. Les exigences de qualité et les procédures de test furent renforcées. Tout le programme subit un décalage de 21 mois accroissant la pression sur les équipes : la fin de la décennie approchait. Par ailleurs, tout le monde s'inquiétait de l'avancement du programme soviétique, même si aucune information officielle ne filtrait de l'Union soviétique.



V. Grissom



E. White



R. Chaffee



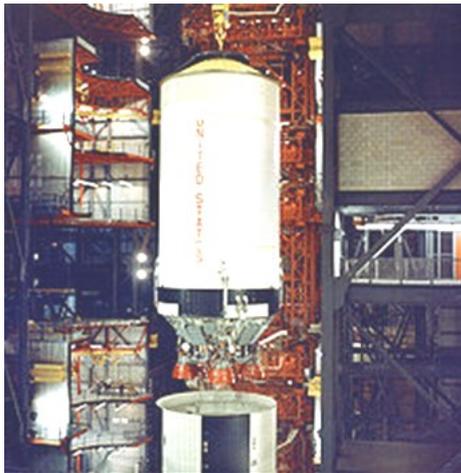
Intérieur du vaisseau d'Apollo dévasté par l'incendie durant lequel son équipage a péri asphyxié.



Démontage de la capsule pour les besoins de l'enquête



Les missions sans équipage de la fusée Saturn V :



L'étage S-II d'Apollo 6

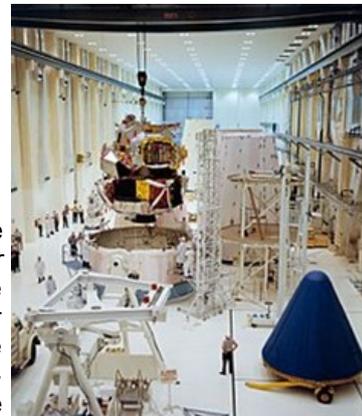
Les déboires du vaisseau spatial Apollo permirent au programme de développement de la fusée géante Saturn V de rattraper son retard. Celle-ci avait en effet rencontré de nombreux problèmes touchant en particulier le deuxième étage (le S-II qui est encore aujourd'hui le plus gros étage à hydrogène jamais conçu) : excès de poids, phénomènes de vibration (effet pogo) etc.

- **Apollo 4** (9 novembre 1967), mission non habitée, premier essai du lanceur Saturn V.

La mission *Apollo 4* est le premier vol du lanceur géant Saturn V. À cette occasion, un vaisseau Apollo effectue pour la première fois une rentrée atmosphérique qui restera la rentrée terrestre la plus rapide jusqu'à Stardust. Afin de recueillir un maximum d'informations sur le comportement de la fusée, 4 098 capteurs sont installés. Le premier lancement des Saturn V est un succès complet.

- **Apollo 5** (22 janvier 1968 – 23 janvier 1968), mission non habitée, essai du lanceur Saturn IB et du module lunaire.

La mission *Apollo 5* doit permettre de tester le module lunaire dans des conditions de vol réelles, c'est-à-dire dans le vide spatial. Il s'agit en particulier de vérifier le fonctionnement de ses moteurs d'ascension et de descente, ainsi que sa capacité à effectuer les manœuvres de séparation prévues. La mission est également destinée à tester une manœuvre d'urgence consistant à mettre à feu les moteurs d'ascension sans avoir largué l'étage de descente (manœuvre d'interruption de la phase d'atterrissage). Malgré quelques caprices de l'électronique du module lunaire, le fonctionnement de celui-ci peut être validé par ce vol.



Le module lunaire est placé dans son carénage pour la mission Apollo 5.



04 avril 1968 : Lancement Apollo 6 / Apollo-SaturnV AS

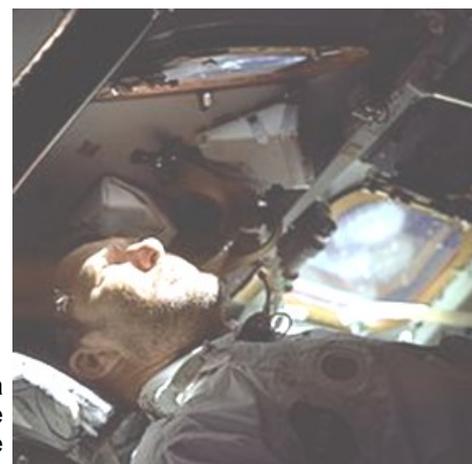


09 Novembre 1967 – Lancement par une Saturn V AS501 de la capsule Apollo 4

- **Apollo 6** (4 avril 1968) mission non habitée, deuxième vol des Saturn V. La mission *Apollo 6* est une répétition plus complète d'*Apollo 4*. Le test est peu satisfaisant : deux des moteurs J-2 du 2^e étage cessent prématurément de fonctionner ce qui ne peut être compensé que par une durée de fonctionnement prolongée des autres moteurs de l'étage. Alors que la fusée est sur son orbite de parking, l'unique moteur J-2 du 3^e étage refuse de se rallumer pour simuler l'injection sur une trajectoire lunaire. En sollicitant le moteur du vaisseau Apollo, les équipes de la NASA parviennent malgré tout à effectuer les tests attendus. Malgré ces péripéties, la NASA estima que désormais la fusée Saturn V et les véhicules Apollo pouvaient embarquer des équipages en toute sécurité.

Les vols habités préparatoires :

Le premier vol habité n'a lieu qu'en octobre 1968 mais les missions destinées à valider le fonctionnement des différents composants du programme et à effectuer une répétition presque complète d'une mission lunaire, se succèdent rapidement. Quatre missions préparatoires se déroulent sans anomalie majeure sur une période de sept mois.



Walter Schirra observe l'extérieur à travers le hublot utilisé pour les manœuvres de rendez-vous - mission Apollo 7.

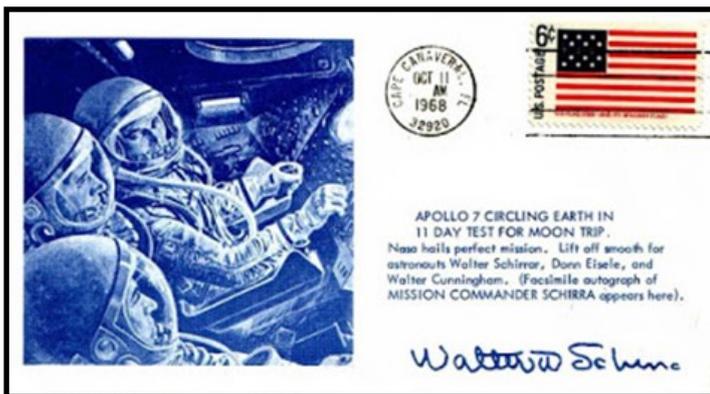
La Grande Aventure du Programme APOLLO.....

- **Apollo 7** (11 octobre 1968 – 22 octobre 1968).

Apollo 7 est la première mission habitée du programme *Apollo*. Son but est de valider les modifications effectuées sur le vaisseau spatial à la suite de l'incendie d'*Apollo 1* (CMS version 2). Une fusée Saturn IB est utilisée car le module lunaire ne fait pas partie de l'expédition. Au cours de son séjour en orbite, l'équipage répète les manœuvres qui seront effectuées lors des missions lunaires. Après avoir quitté l'orbite terrestre et effectué leur rentrée dans l'atmosphère, la capsule et son équipage sont récupérés sans incident dans l'Atlantique. C'était la première mission américaine à envoyer une équipe de trois hommes dans l'espace et à diffuser des images pour la télévision. La fusée Saturn IB ne sera plus utilisée par la suite dans le cadre du programme d'exploration lunaire.

- 1968 – 27 décembre 1968)

La mission *Apollo 8* est le premier vol habité à quitter l'orbite terrestre. À ce stade d'avancement du programme, il s'agit d'une mission risquée car une défaillance du moteur du vaisseau *Apollo* au moment de sa mise en orbite lunaire ou de son injection sur la trajectoire de retour aurait pu être fatale à l'équipage d'autant que le module lunaire a été remplacé par une maquette. Mais les dirigeants de la NASA redoutent un coup d'éclat des Soviétiques pour la fin de l'année et décident de courir le risque. Les astronautes font au total dix révolutions autour de la Lune. Durant ce vol, ils réalisent de nombreux clichés de la Lune dont le premier lever de Terre. *Apollo 8* permet pour la première fois à un homme d'observer directement la « face cachée » de la Lune. L'une des tâches assignées à l'équipage consistait à effectuer une reconnaissance photographique de la surface lunaire, notamment de la mer de la Tranquillité où devait se poser *Apollo 11*.



11 octobre 1968 : Lancement Apollo 7



21 décembre 1968 : Lancement Apollo 8

- **Apollo 9** (3 mars 1969 – 13 mars 1969)

Apollo 9 constitue le premier essai en vol de l'ensemble des équipements prévus pour une mission lunaire : fusées Saturn V, (Gumdrop) et le Lem (Spider), une décision destinée à faciliter les communications avec le sol lorsque les deux vaisseaux ont un équipage. Les astronautes effectuent module lunaire et vaisseau *Apollo*. Pour la première fois, on baptise le vaisseau *Apollo* en toutes les manœuvres de la mission lunaire tout en restant en orbite terrestre. Le module lunaire simule un atterrissage puis réalise le premier rendez-vous réel avec le vaisseau *Apollo*. Les astronautes effectuent également une sortie extravéhiculaire de 56 minutes pour simuler le transfert d'équipage du module lunaire au vaisseau *Apollo* en passant par l'extérieur (manœuvre de secours mise en œuvre en cas d'amarrage infructueux entre les deux vaisseaux).

En outre, ils testent l'utilisation du module lunaire comme « canot de sauvetage » dans la perspective d'une défaillance du vaisseau *Apollo* ; c'est cette procédure qui sera utilisée avec succès par l'équipage d'*Apollo 13*.*



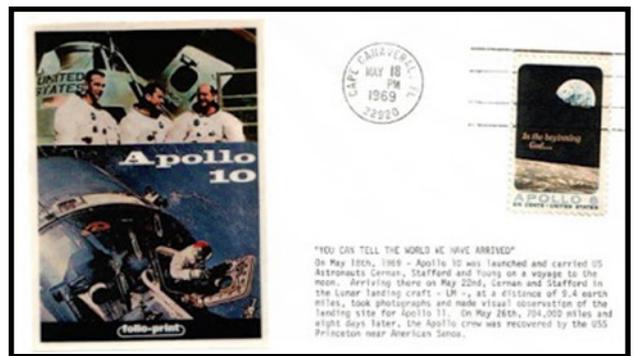
Sortie extravéhiculaire de David Scott, mission Apollo 9

- **Apollo 10** (18 mai 1969 – 26 mai 1969)

Les dirigeants de la NASA envisagèrent que cette mission soit celle du premier atterrissage sur le sol lunaire, car l'ensemble des véhicules et des manœuvres avait été testé sans qu'aucun problème majeur n'ait été détecté. Mais, dans la mesure où les Soviétiques ne semblaient pas préparer de mission d'éclat, ils préférèrent opter pour une dernière répétition au réalisme encore plus poussé. Peu après avoir quitté son orbite terrestre basse, le vaisseau *Apollo*, surnommé « Charlie Brown », exécuta la manœuvre d'amarrage au LEM. Après s'être séparé du troisième étage de Saturn V, il effectua une rotation à 180° puis arrima son nez au sommet du module lunaire avant de l'extraire de son carénage. Une fois le train spatial placé en orbite autour de la Lune, le module lunaire, surnommé « Snoopy », entama la descente vers le sol lunaire qui fut interrompue à 15,6 km de la surface. Après avoir largué l'étage de descente non sans quelques difficultés dues à une erreur de procédure, le LEM réalisa un rendez-vous avec le vaisseau *Apollo*. La mission reproduisit les principales étapes du vol final, à la fois dans l'espace et au sol. Young était aux commandes du vaisseau *Apollo* alors que Stafford et Cernan occupaient le module lunaire.



03 mars 1969 : Lancement Apollo 9 - Vol test habité avec le LEM



18 mai 1969 : Lancement Apollo 10 - Vol de répétition général autour de la Lune

10 - Le déroulement d'une mission lunaire type :

Les fenêtres de lancement et le site d'atterrissage

Les six missions lunaires *Apollo* ont été programmées pour que le module lunaire atterrisse au tout début du jour lunaire (qui dure 28 jours terrestres). Les astronautes bénéficient ainsi d'une lumière rasante pour le repérage du terrain à l'atterrissage (entre 10 et 15° d'élévation au-dessus de l'horizon selon les missions) et de températures relativement modérées : la température au sol passe progressivement de 0 à 130 °C entre le lever du Soleil et le moment où le Soleil culmine au bout de 177 heures terrestres. Compte tenu de ces conditions, pour chaque lieu d'atterrissage, la fenêtre de lancement de la fusée Saturn était réduite à un jour par mois pour un site donné.

Le site retenu est toujours situé sur la face visible de la Terre pour que les communications entre le vaisseau et la Terre ne soient pas interrompues ; il n'est pas trop éloigné de la bande équatoriale de la Lune pour limiter la consommation de carburant que nécessiterait un déport du vaisseau vers des latitudes plus élevées.

La mise en orbite terrestre

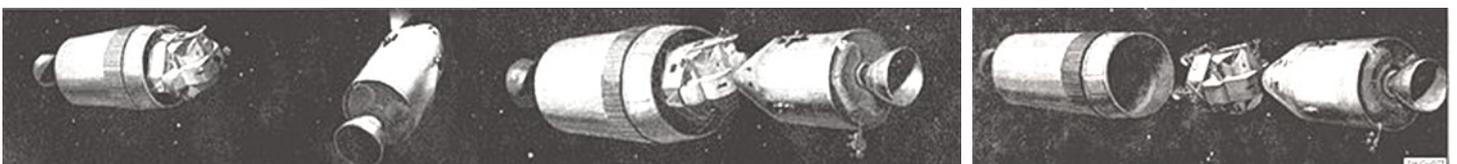
La fusée décolle systématiquement depuis le Pad 39 du centre spatial Kennedy. Le lancement des 3 000 tonnes de la fusée est particulièrement spectaculaire : les cinq moteurs du premier étage sont allumés simultanément consommant 15 tonnes de carburant chaque seconde puis la fusée, qui est retenue par des pinces, est lâchée dès que les ordinateurs ont vérifié que la poussée des moteurs a atteint sa puissance nominale. La fusée s'élève d'abord très lentement, mettant près de dix secondes à se dégager de la tour de lancement. La séparation du premier étage S1-C intervient deux minutes et demie après le lancement à une altitude de 56 km alors que la fusée a atteint une vitesse de Mach 8 (10 000 km/h soit environ 2 800 m/s). Peu après, les moteurs-fusées du deuxième étage S-II s'allument : la jupe inter-étages se détache et la tour de sauvetage est éjectée car le vaisseau spatial est suffisamment haut pour pouvoir retomber sans son aide en cas d'interruption de la mission. Le deuxième étage est à son tour largué alors que la fusée atteint une vitesse de 24 680 km/h (soit environ 6 856 m/s) et une altitude de 185 km. Le troisième étage S-IVB est alors mis à contribution durant 140 secondes pour placer l'ensemble de la fusée restante sur une orbite circulaire de 180 km onze minutes et demie après le décollage.



Cap Canaveral vu du ciel

De l'orbite terrestre à l'orbite lunaire

Une fois placés en orbite basse, les vaisseaux Apollo (LEM et Module de Commande et de Service) ainsi que le troisième étage de la fusée effectuent une orbite et demi autour de la Terre puis le moteur du troisième étage est rallumé pour injecter l'ensemble sur une orbite de transfert vers la Lune (TransLunar Injection - TLI). L'injection se traduit par une augmentation de la vitesse de 3 040 m/s (10 944 km/h). Environ une demi-heure après la fin de la poussée, le Module de Commande et de Service (CSM) se détache du reste du train spatial puis pivote de 180° pour venir repêcher le LEM dans son carénage. Après avoir vérifié l'arrimage des deux vaisseaux et pressurisé le LEM, les astronautes déclenchent par pyrotechnie la détente de ressorts situés dans le carénage du LEM : ceux-ci écartent le LEM et le CSM du troisième étage de la fusée Saturn à une vitesse d'environ 30 cm/s. Le troisième étage va alors entamer une trajectoire divergente qui, selon les missions le place en orbite autour du Soleil ou l'envoie s'écraser sur la Lune.



Manœuvre d'amarrage du CMS et du LEM durant le transit vers la

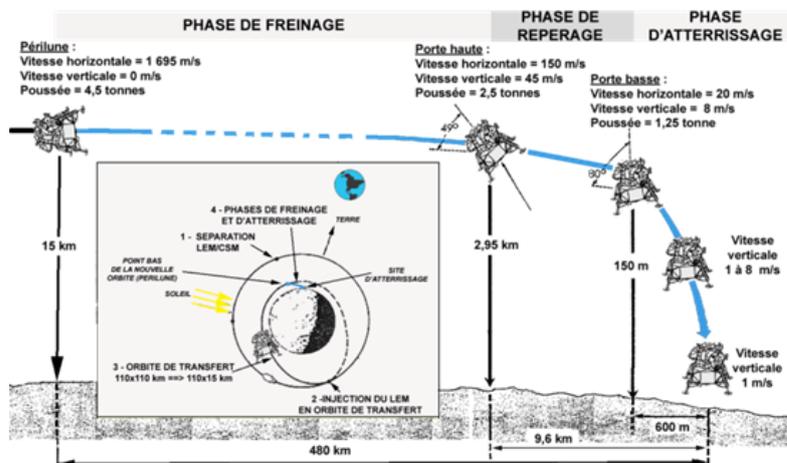
Durant le trajet de 70 heures vers la Lune, des corrections peuvent être apportées à la trajectoire du CSM et du LEM pour optimiser la consommation finale de propergols. Initialement, le déroulement d'une mission *Apollo* prévoyait une quantité relativement importante de carburant pour ces manœuvres. À l'usage, à peine 5 % de cette quantité sera consommée grâce à la précision de la navigation. Le train spatial est mis en rotation lente pour limiter l'échauffement des vaisseaux en réduisant la durée de l'exposition continue au Soleil.

Une fois arrivé à proximité de la Lune, le moteur du CSM est allumé pour placer les vaisseaux en orbite en les freinant. Si ce freinage n'est pas réalisé, la trajectoire permet aux vaisseaux de revenir se placer en orbite terrestre après avoir fait le tour de la Lune sans utiliser leurs moteurs. Cette disposition sauvera d'ailleurs la mission *Apollo 13*. Un peu plus tard, le moteur du CSM est utilisé une deuxième fois pour placer les deux vaisseaux sur une orbite circulaire de 110 km d'altitude.

La descente et l'atterrissage sur la Lune

La descente sur la Lune repose en grande partie sur le système de guidage, navigation et contrôle (PGNCS : *Primary Guidance and Control System*) piloté par l'ordinateur embarqué (LGC). Celui-ci va d'une part, déterminer périodiquement la position et la trajectoire réelle du vaisseau en utilisant d'abord la centrale inertielle puis le radar d'atterrissage (fonction de navigation), et d'autre part, calculer la trajectoire à suivre en utilisant ses programmes et piloter, en fonction de tous ces éléments, la poussée et l'orientation des moteurs (fonction de guidage). Le pilote du LEM peut toutefois corriger l'altitude en cours à tout moment et, dans la dernière phase, reprendre complètement la main sur les commandes des moteurs. Mais seul le système de navigation et de pilotage permet, en optimisant trajectoire et consommation des ressources, de poser le LEM avant d'avoir épuisé tout le carburant.

L'abaissement de l'orbite : Cette phase est désignée par l'acronyme DOI (Descent Orbit Insertion) dans la terminologie de la NASA. L'objectif de cette phase est d'abaisser l'altitude du LEM de 110 km à 15 km au-dessus du sol lunaire. À cet effet, son orbite circulaire est transformée en une orbite elliptique de 15 km par 110 km. Cette phase permet de réduire la distance à parcourir jusqu'au sol lunaire à un faible coût en propergols (elle ne nécessite qu'une brève impulsion du moteur). La limite des 15 km a été retenue pour éviter que la trajectoire finale ne s'approche trop du relief.



Deux des trois astronautes de l'équipage prennent place dans le Module Lunaire pour descendre sur la Lune. Ils initialisent le système de navigation avant d'entamer la descente vers la Lune. Le LEM et le CSM se séparent avant que le moteur ne soit mis en marche (jusqu'à *Apollo 12*). Le changement d'orbite est initié lorsque le vaisseau spatial se situe aux antipodes (à une demi-orbite) du point où démarra la phase suivante. Une fois que la distance entre le LEM et le module de commande est suffisante (une centaine de mètres), une petite accélération est d'abord imprimée par les moteurs contrôlant l'attitude pour plaquer le carburant du moteur de descente contre les vannes de distribution puis le moteur de descente est allumé brièvement pour freiner le LEM d'environ 25 m/s (90 km/h).

À partir d'*Apollo 14*, pour économiser les propergols de l'étage de descente, c'est le moteur du Module de Commande et de Service qui est sollicité pour abaisser l'orbite. Le CSM accompagne donc le LEM dans son orbite elliptique et s'en sépare avant que la descente propulsée ne démarre.

La descente propulsée : Cette phase est caractérisée par une action continue du moteur de descente. Elle démarre lorsque le LEM a atteint le point le plus bas de son orbite elliptique. Elle se décompose elle-même en trois phases : la phase de freinage, la phase d'approche et la phase d'atterrissage.

La phase de freinage : La phase de freinage vise à réduire la vitesse du vaisseau de la manière la plus efficace possible : celle-ci va passer de 1 695 m/s (6 000 km/h) à 150 m/s (550 km/h). Le moteur est allumé à 10 % de sa puissance durant 26 secondes, le temps que le moteur s'aligne grâce à son cardan sur le centre de gravité du vaisseau, puis il est poussé au maximum de sa puissance. Le module lunaire qui au début de la trajectoire est pratiquement parallèle au sol va progressivement s'incliner tandis que sa vitesse de descente nulle au départ augmente jusqu'à 45 m/s en fin de phase. Lorsque le LEM se trouve à une altitude inférieure à 12-13 km, le radar d'atterrissage accroche le sol et se met à fournir des informations (altitude, vitesse de déplacement) qui vont permettre de vérifier que la trajectoire est correcte : jusqu'alors celle-ci était extrapolée uniquement à partir de l'accélération mesurée par la centrale à inertie. Une différence trop importante entre les données fournies par le radar et la trajectoire visée ou le non fonctionnement du radar sont des motifs d'interruption de la mission.



Buzz Aldrin dans le module

Cité de l'Espace—TOULOUSE



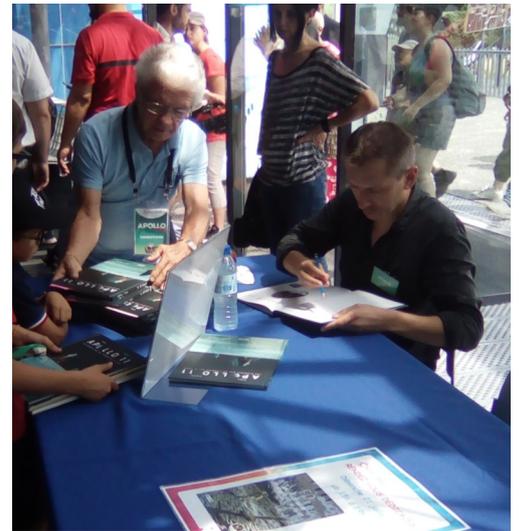
Une idée de la foule de visiteurs



Parmi les animations revivre les sensations sur la lune



Pierre de Lune



Dédicace de la BD «Apollo 11 »

Mais aussi le premier jour du timbre et nous vous rappelons ci-dessous le document restant encore disponible. N'hésitez pas à nous contacter, il est encore temps d'offrir à vos proches un document rappelant un événement de la « course à la lune » déclenchée par différents pays.

