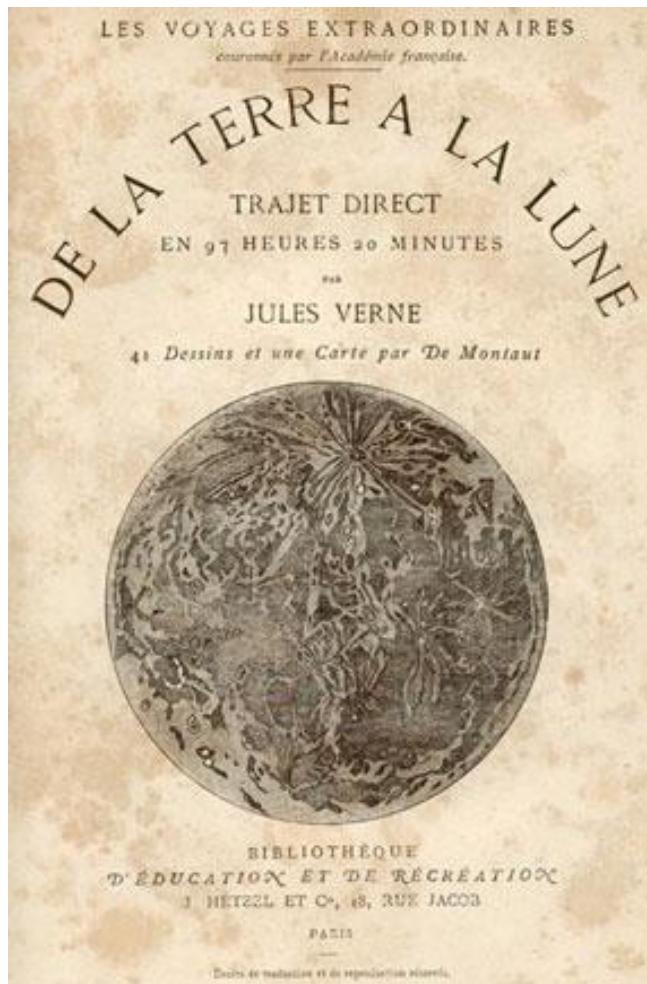


On a marché sur la Lune

Jean-Pierre MARATREY - avril 2019

La Lune et l'Homme

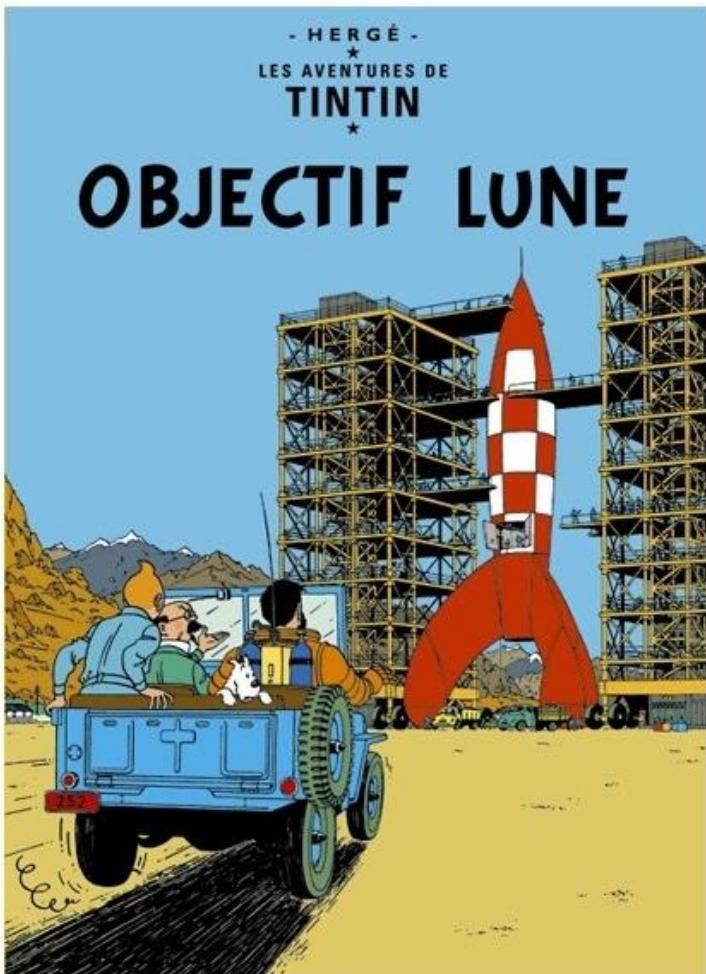


Jules Verne
1865

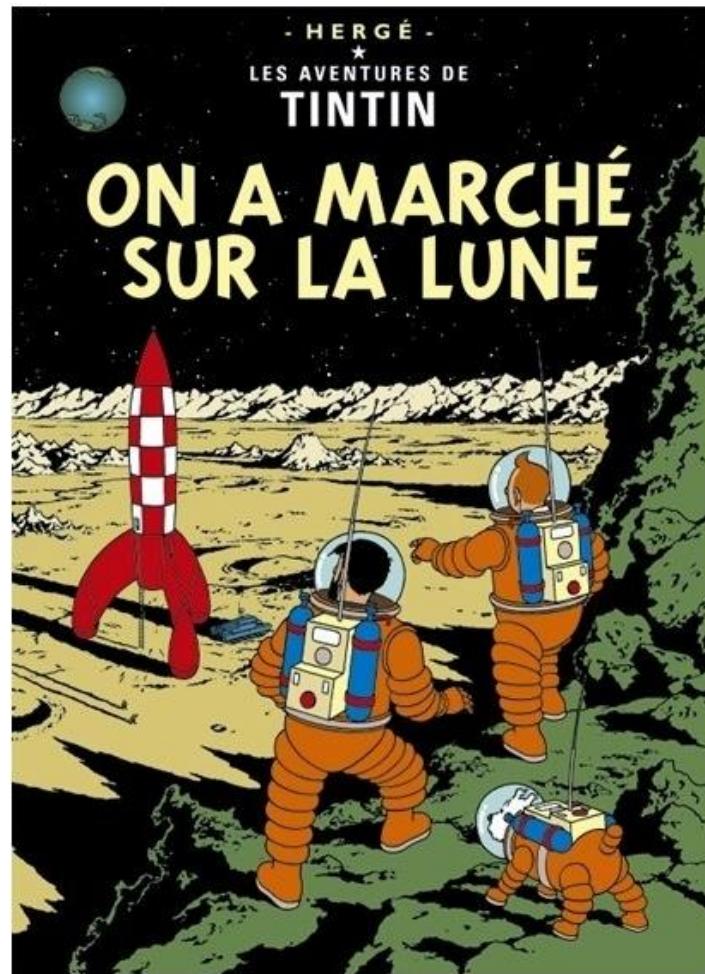


Méliès
1902

La Lune et l'Homme



Hergé
1953



Hergé
1954

La conquête de la Lune

Petit historique soviétique :

04-10-1957	Lancement de Spoutnik 1 (Korolev)
03-11-1957	Spoutnik 2 et la chienne Laïka
15-05-1958 15-03-1961	Spoutnik 3 à 10 : programme Vostok. 6 chiens (4 en sont revenus), des souris, des rats, des reptiles (revenus)
12-04-1961	Youri Gagarine est mis en orbite autour de la Terre (1 orbite) Fusée Vostok 1.

La conquête de la Lune

Petit historique américain :

29-07-1958	Création de la NASA par Eisenhower
12-04-1961	Youri Gagarine est mis en orbite autour de la Terre (1 orbite) Fusée Vostok 1.
05-05-1961	Alan Shepard pilote un vol balistique. Premier américain dans l'espace.
25-05-1961	Discours de Kennedy
1962	Création de 3 centres pour le programme Apollo : <ul style="list-style-type: none">• Houston : qualification des vaisseaux, entraînement des astronautes, suivi des missions.• Centre de vol Marshall : conception des lanceurs Saturn.• Centre spatial Kennedy : base de lancement.
07-11-1962	Choix de la méthode (3 scénarios à l'étude depuis 1959).

La conquête de la Lune

La méthode choisie :

1. Mise en orbite basse terrestre à l'aide de la fusée Saturn V.
2. Donner une impulsion au bon moment pour s'extraire de l'attraction terrestre et filer vers la Lune.
3. Se mettre en orbite autour de la Lune.
4. Larguer le module lunaire pour alunir grâce à des rétrofusées, pendant que le reste du vaisseau reste en orbite lunaire.

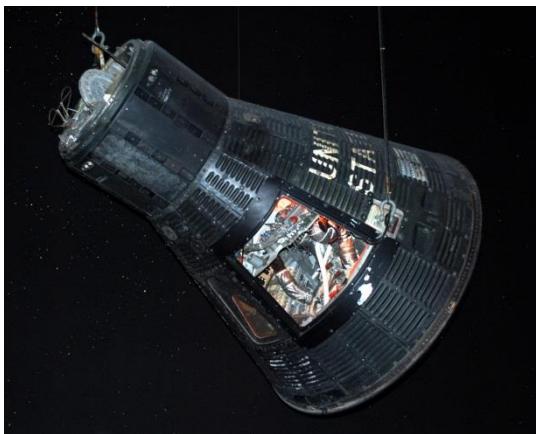
Retour sur Terre :

1. Faire décoller le module lunaire pour rejoindre le vaisseau en orbite.
2. Donner une impulsion au bon moment pour s'extraire de l'attraction lunaire et filer vers la Terre.
3. Se mettre en orbite autour de la Terre.
4. Ralentir pour redescendre sur Terre.

*Mode d'emploi gracieusement offert par Caroline H,
d'après des données de la NASA.*

La conquête de la Lune

3 programmes :



Mercury



Gemini



Apollo

Programme Mercury (1958 à 1963)



Les astronautes du programme *Mercury*. De gauche à droite, à l'arrière : Alan Shepard, Virgil Grissom et Gordon Cooper.
À l'avant, Walter M. Schirra, Donald Kent Slayton, John Glenn et Scott Carpenter

Programme Mercury (1958 à 1963)

Buts :

- Satelliser un homme.
- Étudier les effets de l'impesanteur.
- Mise au point de la récupération.

Lanceur : Atlas

Vaisseau monoplace.

Aucun échec.

05-05-1961	Vol balistique d'Alan Shepard. Atteint l'altitude de 186 km.
20-02-1962	Vol orbital de John Glenn. 3 orbites.
15-05-1963	Vol orbital de Gordon Cooper. 22 orbites.

Programme Gemini (1963 à 1966)

Second recrutement d'astronautes.

Sens des aiguilles d'une montre à partir du haut à droite :

- Frank Borman
- John Young
- Thomas Stafford
- Pete Conrad
- James Mc Divitt
- James Lowell
- Elliot See
- Edward White
- Neil Armstrong

Quelques autres rejoindront le programme.

Certains continueront sur Apollo.



See se tuera en février 1966 au cours d'un vol d'essai d'un avion de chasse T-38.

Programme Gemini (1963 à 1966)

Buts :

- Sorties extra-véhiculaires
- Étudier les effets de l'apesanteur à long terme
- Rendez-vous spatial

Lanceur Titan – 2 étages

Vaisseau biplace

Aucun échec. Quelques missions raccourcies.

Programme Gemini (1963 à 1966)

Lancement	N° de vol	Équipage	
08-04-1964	Gemini 1	Sans	64 orbites
23-03-1965	Gemini 3	Grissom Young	Manœuvres en orbite (retournement) 3 orbites
03-06-1965	Gemini 4	Mc Divitt White	62 orbites et première sortie extravéhiculaire d'un américain (1 mois après Leonov)
15-12-1965	Gemini 6	Schirra Stafford	16 orbites
04-12-1965	Gemini 7	Borman Lovell	206 orbites. Record de durée de vol. Vol en formation avec Gemini 6
16-03-1966	Gemini 8	Armstrong Scott	7 orbites. Mission écourtée Arrimage avec la fusée agena
12-09-1966	Gemini 11	Conrad Gordon	44 orbites. Arrimage avec la fusée agena – Sortie de Gordon
11-11-1966	Gemini 12	Lowell Aldrin	59 orbites. 3 sorties d'Aldrin pour un total de plus de 5 heures

Programme Apollo (1961 à 1975)



Buzz Aldrin, Williams Anders, Charles Bassett, Alan Bean, Eugène Cernan, Roger Chaffee, Michael Collins, Walter Cunningham, Donn Eisele, Theodore Freeman, Richard Gordon, Russel Schweickart, David Scott, Clinton Williams.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Buts :

- Développer la fusée Saturn V

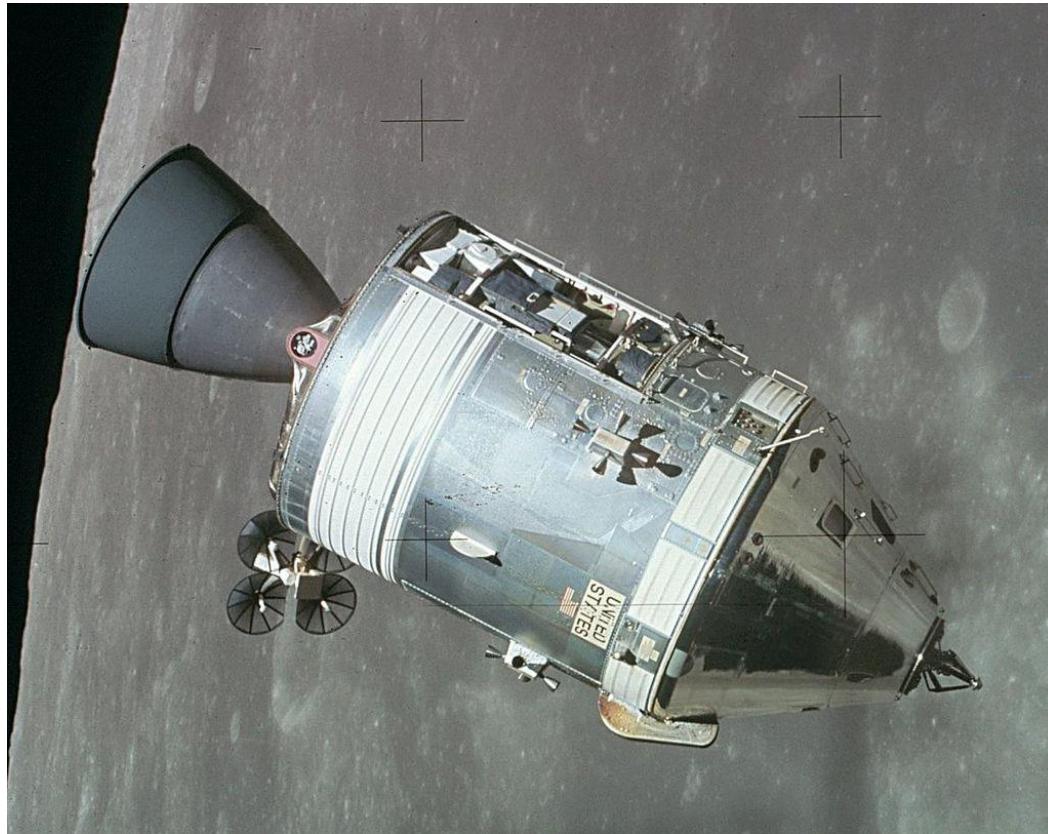


Lanceur Saturn V – 3 étages
Vaisseau triplace

Programme Apollo (1961 à 1975)

Buts :

- Développer le module de service et le module de commande
- Développer le module lunaire



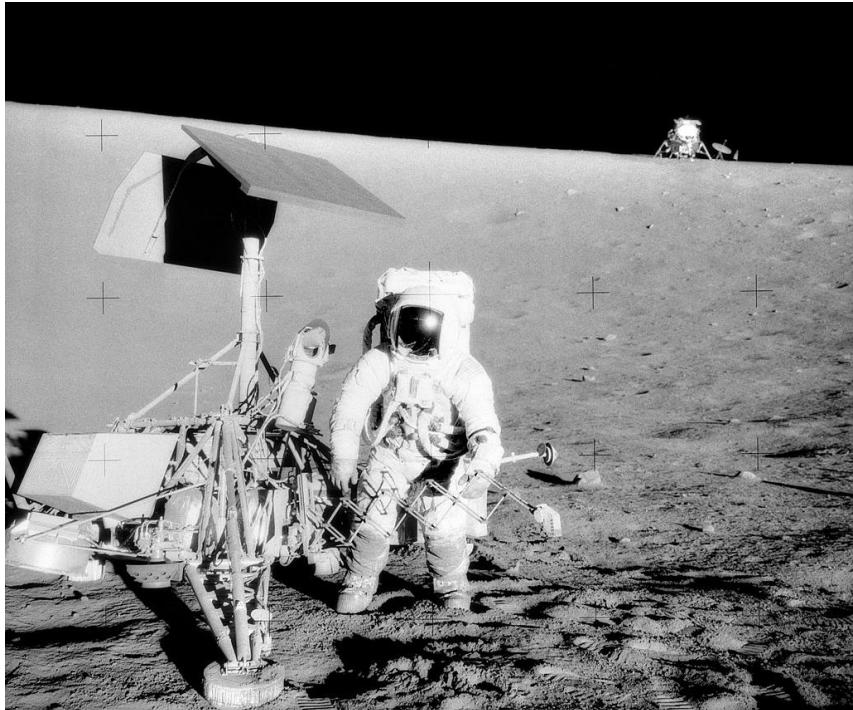
CMS :

Transporter 3 astronautes sur la Lune et les ramener sur Terre.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Buts :

- Poser un américain sur la Lune.
- Le ramener vivant !
- Redorer le blason américain.



Programme Apollo (1961 à 1975)

Apollo 1

Le 27 janvier 1967, une répétition dans les conditions du lancement prévu fin février, a lieu.

Un incendie se déclare dans le module de commande et les trois astronautes périssent d'une intoxication au monoxyde de carbone : Virgil Grissom, Edward White et Roger Chaffee.

Origine : court-circuit dû à un fil électrique dénudé.

Causes :

- Planning serré (objectif Kennedy).
- Compétition avec les soviétiques.
- Présence de composants inflammables (scratch velcro).
- Négligences dans le câblage et la plomberie.
- Procédure d'évacuation trop longue (>2mn).
- Risques peu pris au sérieux.



Programme Apollo (1961 à 1975)

Apollo 1

Mesures draconiennes prises :

- Remplacement des responsables du développement du vaisseau Apollo.
- Qualité des sous-traitants revue.
- O₂ dilué à 40%.
- Combinaisons non inflammables.
- Câbles mieux isolés.
- Écoutille modifiée : ouverture en moins de 10 secondes.
- Etc.

Déclaration du chef des équipes d'astronautes, Donald Slayton :

« Je suis persuadé que nous aurions fini par nous casser la figure à plusieurs reprises avant d'arriver sur la Lune, peut-être même n'y serions-nous jamais arrivés s'il n'y avait pas eu Apollo 1. Nous sommes tombés sur un nid de vipères qui nous aurait donné bien du fil à retordre par la suite. Les problèmes auraient été traités petit à petit, sur plusieurs vols, en zigouillant plusieurs personnes au passage. L'incendie nous a obligés à arrêter tout le programme et à faire le grand nettoyage. »

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions sans équipage

Lancement	N° de vol	Équipage	
09-11-1967	Apollo 4	Sans	Essai du lanceur Saturn V. Test de rentrée atmosphérique du vaisseau Apollo.
22-01-1968	Apollo 5	Sans	Essai du lanceur Saturn IB. Tests du module lunaire.
04-04-1968	Apollo 6	Sans	Derniers tests de Saturn V et des moteurs de mise en orbite lunaire. Tests peu satisfaisants mais suffisants pour continuer.

Saturn IB permet de mettre la capsule Apollo en orbite terrestre et de la tester. Cette fusée fut utilisée plus tard pour les missions habitées de Skylab.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Vols habités

Lancement	N° de vol	Équipage	
11-10-1968	Apollo 7	Donn Eisele Walter Schirra Walter Cunningham	Valider les modifications suite à Apollo 1. Lanceur Saturn IB.
21-12-1968	Apollo 8	William Anders James Lowell Franck Borman	Premier vol à quitter l'orbite terrestre. 10 révolutions lunaires. Première observation de la face cachée.
03-03-1969	Apollo 9	James Mc Divitt David Scott Russell Schweickart	Premier vol de l'ensemble : Saturn V, vaisseau Apollo et module lunaire. RV module lunaire et vaisseau Apollo. Simulation du transfert de l'équipage vers le module lunaire par l'extérieur.
18-05-1969	Apollo 10	Gene Cernan Thomas Stafford John Young	Dernière mission de simulation. Module lunaire (avec Stafford et Cernan) largué, arrêté à 15,6 km du sol, puis récupéré.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires

Apollo 11



De gauche à droite :

- Neil Armstrong
- Michael Collins
- Buzz Aldrin

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11

Choix du site d'alunissage :

- Face visible de la Lune (transmissions radio).
- Latitude du site faible (économie de carburant).
- Relief le plus plat possible.
- Le soleil doit être assez bas pour permettre de reconnaître les cratères des environs du site. Ce qui impose une fenêtre de lancement de 16 heures par lunaison.
- ...

30 sites ont été repérés par les télescopes terrestres.

Chacun d'eux a été photographié précisément par la sonde *Lunar Orbiter*.
Un seul répond à toutes les conditions.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires

Apollo 11

Lancement par la fusée Saturn V le 16 juillet 1969 à 13h32 TU.

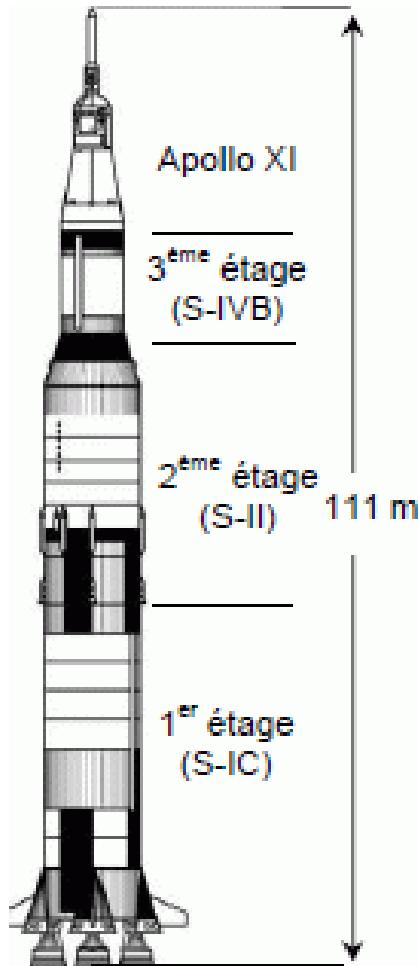


Programme Apollo (1961 à 1975)

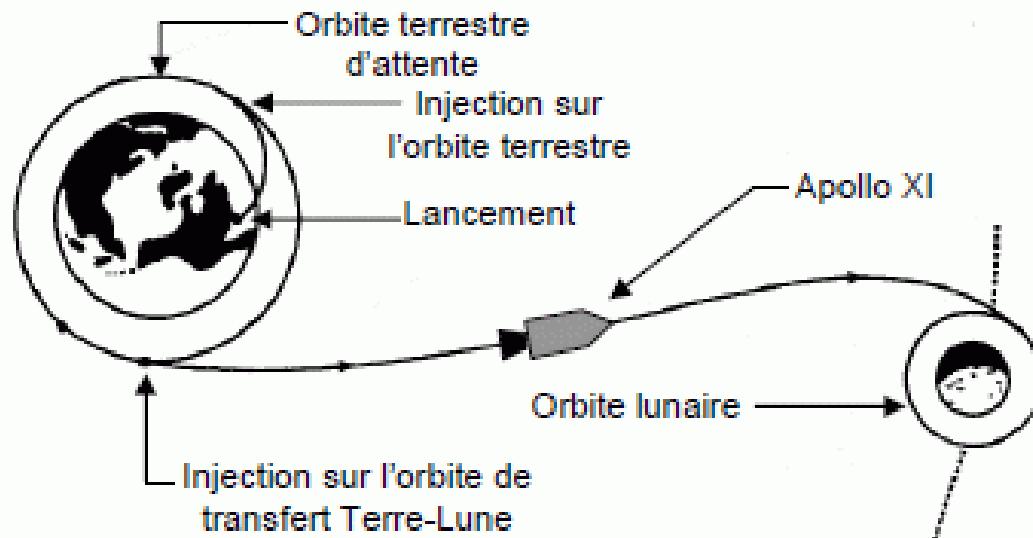


Missions lunaires

Apollo 11



Après un tour et demi autour de la Terre, le troisième étage est rallumé pour sortir de l'attraction terrestre. Direction la Lune.



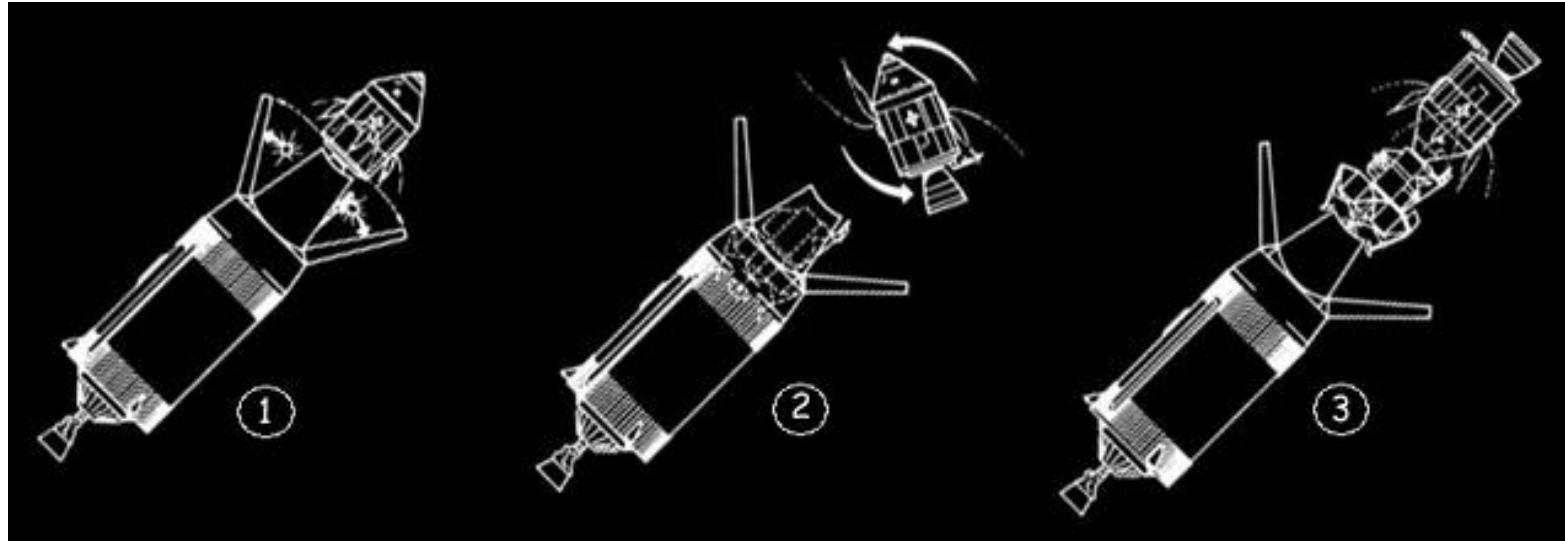
Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11

Au tout début du voyage vers la Lune, le module de commande contenu dans la coiffe du troisième étage est libéré et retourné.

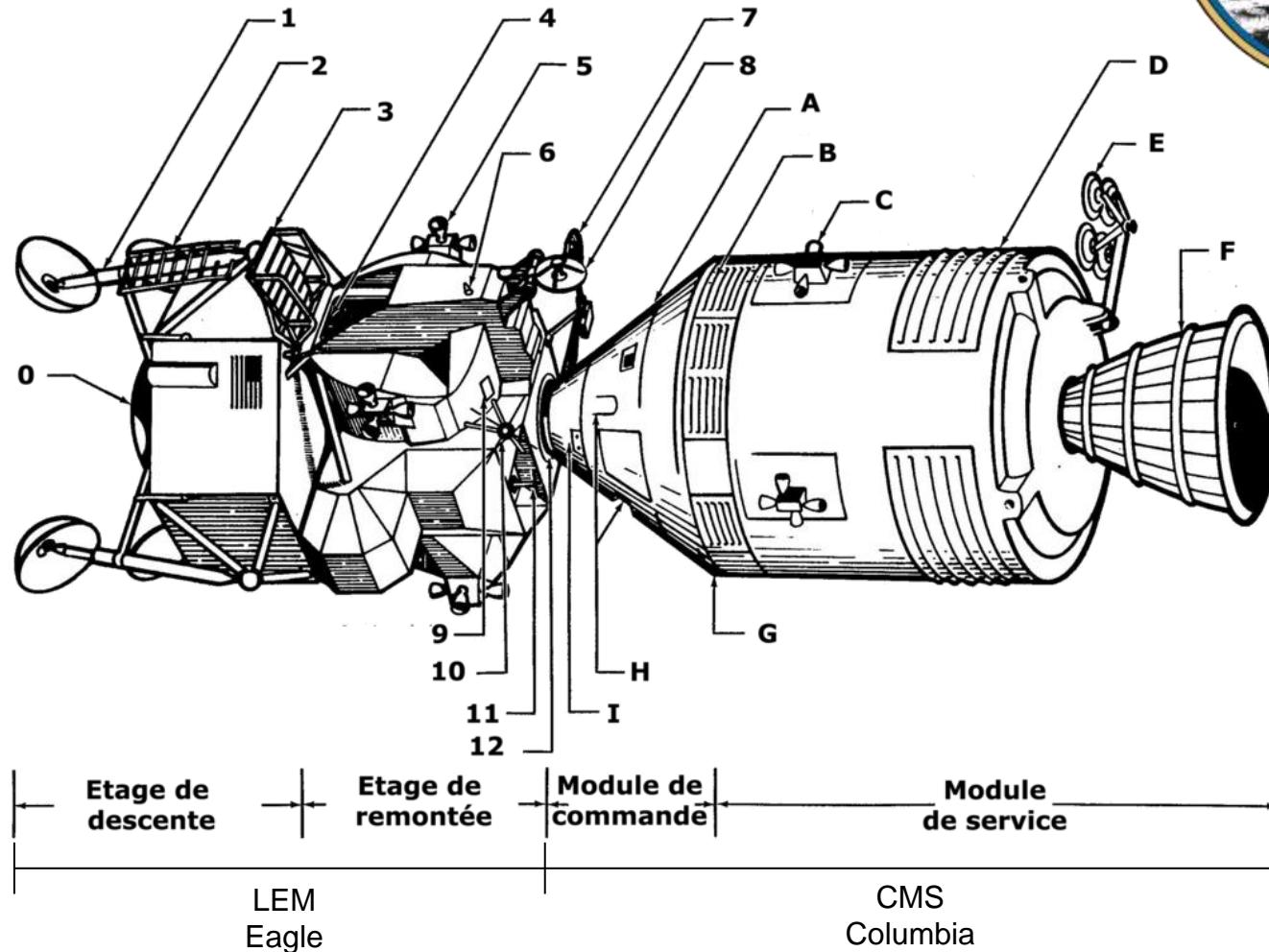


Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11



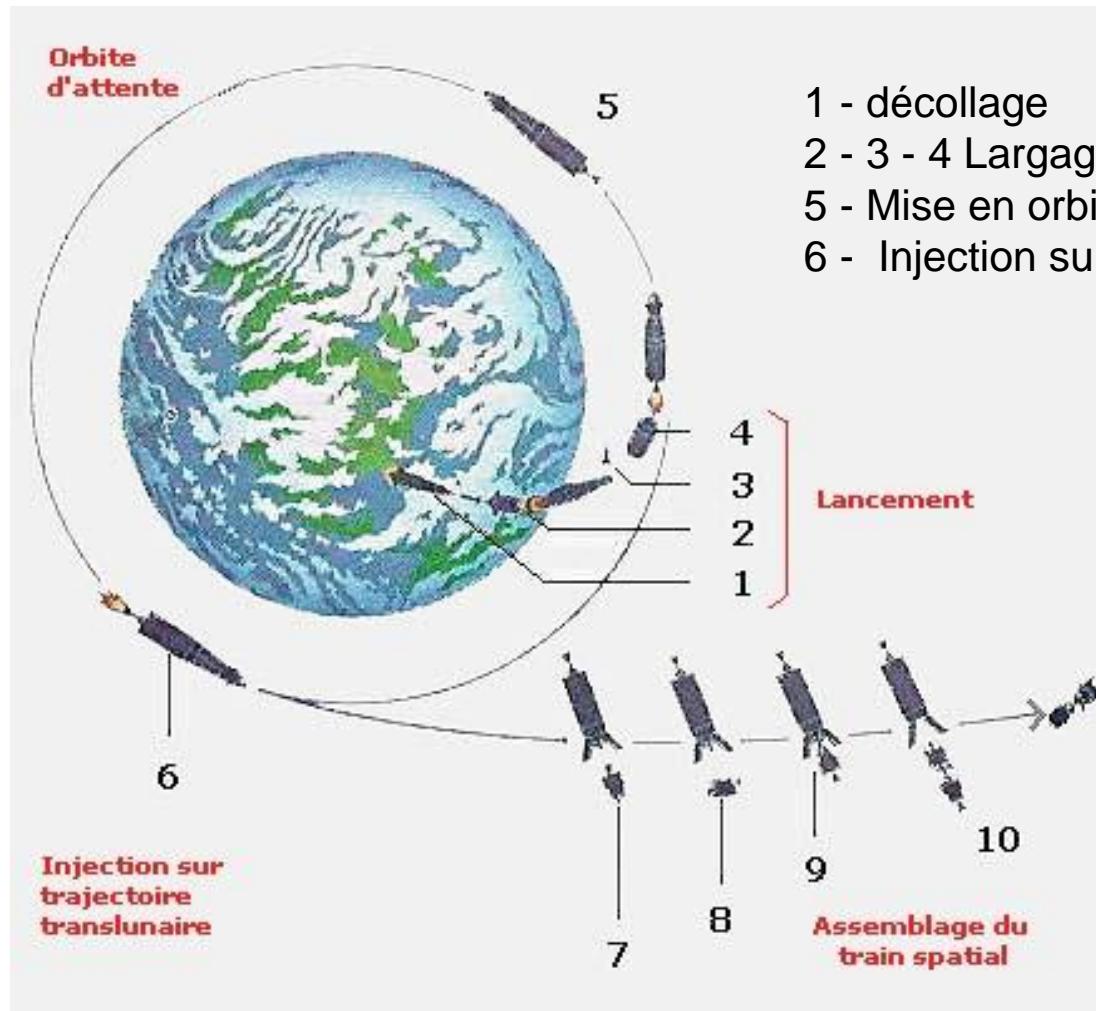
Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11

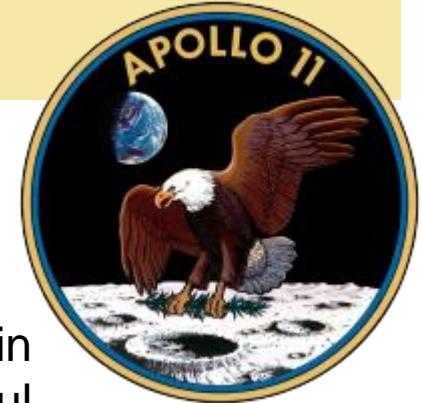
Résumé :



- 1 - décollage
- 2 - 3 - 4 Largage des 2 premiers étages
- 5 - Mise en orbite basse
- 6 - Injection sur l'orbite de transfert vers la Lune

- 7 - Sortie du CMS
- 8 - Retournement du CMS
- 9 - Amarrage du CMS au LEM
- 10 - Séparation de l'ensemble

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – la descente

Après 13 révolutions autour de la Lune, Armstrong et Aldrin rejoignent le LEM, qui se sépare du CMS. Collins reste seul dans le CMS.

Dans un premier temps, une impulsion est donnée pour transférer le LEM sur une orbite elliptique. Le périastre est à 15 km du sol.

A partir de là, la descente commence réellement à l'aide des rétrofusées en continu. La zone de freinage s'étend sur 480 km.

A 10 km de l'arrivée, la vitesse horizontale est de 150 m/s, et celle de descente de 45 m/s.

A 3 km du sol, des alarmes retentissent que l'ordinateur ne sait pas gérer. La correction de trajectoire automatique ne peut plus se faire. Armstrong prend le contrôle manuel.

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – la descente

Le LEM se rapproche dangereusement de gros rochers qu'Armstrong juge dangereux.

Il décale le LEM horizontalement pour trouver un terrain plus favorable.

Cette manœuvre grignote dangereusement la réserve de carburant servant à alunir.

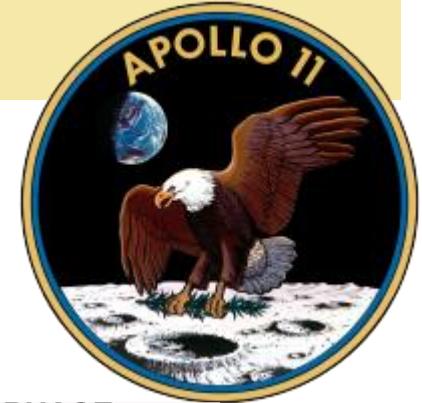
L'alunissage a lieu à 7 km du point initialement prévu, à la vitesse de 1 m/s (3,6 km/h). Il ne reste que 15 secondes de carburant.

Une période de 6 heures 30 minutes de contrôles et de préparatifs suit l'alunissage.

Armstrong descend l'échelle métallique et pose le pied sur le sol sélène.

Il est 2h56 TU le 21 juillet 1969 (3h56 heure française le 21 juillet 1969, 21h56 heure de Houston le 20 juillet 1969).

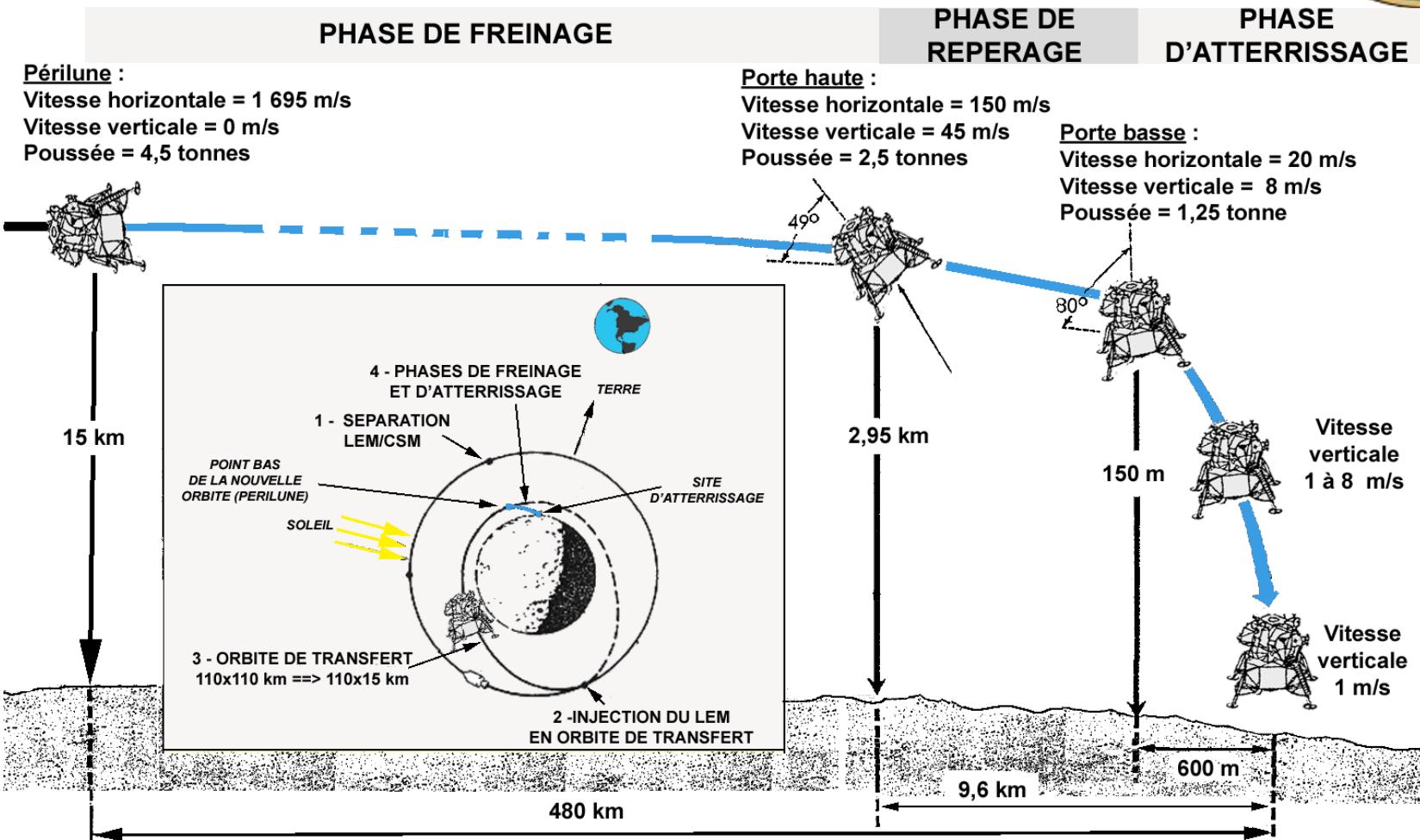
Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – la descente

Résumé



Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – sur la Lune

Traduction de la déclaration de Neil Armstrong :

« Je vais faire un pas sur le sol maintenant. C'est un tout petit pas pour un homme, un grand pas pour l'humanité. La surface est fine et poudreuse. Je peux la soulever sans peine avec mes orteils. Elle colle au sol et à mes bottes comme une fine couche de charbon de bois. Je vais marcher une petite fraction de pouce, peut-être un huitième de pouce. Mais je peux voir les empreintes que laissent mes bottes, mes pas, dans ces fines particules sableuses. »

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – sur la Lune

Armstrong constate que le sol est poudreux. Son emprunte de pied est bien moulée au sol.



Il collecte cette régolithe et quelques petites roches avec une pelle. Le sol est dur à partir d'une quinzaine de centimètres.

15 mn après son coéquipier, Aldrin sort à son tour.

- Attention de ne pas claquer le verrou en sortant !
- C'est une très bonne idée !

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – sur la Lune

Aldrin : - *Belle vue ! Magnifique désolation.* Et donne un coup de pied dans la poussière.

Armstrong dévoile la plaque commémorative qui doit rester sur le module de descente, et la lit :

« *Ici des hommes de la planète Terre ont pris pied pour la première fois sur la Lune, juillet 1969 apr. J.-C. Nous sommes venus dans un esprit pacifique au nom de toute l'humanité.* »

Il installe ensuite une caméra à 20 m du LEM.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires

Apollo 11 – sur la Lune



Ensemble ils déplient les instruments qui resteront sur la Lune : un sismomètre et un réflecteur laser.

Ils déplient également un capteur de particules de vent solaire qu'ils ramèneront sur Terre.

Ils ramassent 21,55 kg d'échantillons de sol lunaire, plantent le drapeau américain, discutent avec Nixon, et doivent rentrer dans le LEM après avoir passé 2h31mn à l'extérieur et parcouru environ 1 km.

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11 – sur la Lune

En remontant dans le module de retour, Aldrin casse le bouton qui permet l'armement de la mise à feu du moteur de remontée...

Un stylo résout le problème.

Ils larguent par l'écoutille tout le matériel inutile, les déchets, etc. Houston déclare avoir enregistré l'impact au sol avec le sismographe.

Cette phase de préparation dure 3 heures. Puis ils passent une nuit à bord.
Leur sommeil est de mauvaise qualité : exiguité de la « chambre », le bruit des pompes, la lumière du Soleil, le froid (16°C).

A quoi rêvent-ils ?

Ils sont réveillés 6h30 plus tard par Houston, et poursuivent la préparation du retour.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires

Apollo 11 – retour sur Terre



Des boulons explosifs désolidarisent le module de rentrée du module de descente et le moteur est allumé.

Le drapeau américain planté trop près est couché et le LEM décolle. Armstrong déclare : « *L'aigle a déployé ses ailes* ».

Au total, les astronautes sont restés 21 h 36 mn sur le sol lunaire.

Le rendez-vous avec le CMS est réussi. Les deux premiers hommes à avoir marché sur la Lune abandonnent l'étage de remontée qui sera renvoyé sur la Lune.

Les moteurs du CMS les dirigent vers la Terre. Un voyage de plus de 2 jours.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires

Apollo 11 – retour sur Terre

Le module de service est largué 15 mn avant la rentrée dans l'atmosphère. Sa vitesse est alors de 11 km/s (40 000 km/h).



La capsule Apollo bien orientée et protégée par les tuiles réfractaires, traverse l'atmosphère.

Les parachutes s'ouvrent et la capsule tombe dans l'océan pacifique 15 mn plus tard, à 3 km du point prévu.

La mission a duré au total 8 jours, 3h et 25 mn.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires

Apollo 11 – retour sur Terre



Suit une quarantaine de 21 jours pour les astronautes et les roches.

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11

Résultats scientifiques : étude des roches

Des échantillons des 21,55 kg de roches lunaires ont été analysés par 150 spécialistes de toutes nationalités.

Ce sont des basaltes riches en fer et en magnésium datant de 3,6 à 3,8 milliards d'années, et très proches des roches terrestres.

Leur plus grande richesse en titane leur donne cette teinte foncée caractéristique des mers lunaires.

Aucune roche hydratée n'a été détectée.

Ces roches contiennent très peu de sodium, ce qui entraîne une grande fluidité des laves primitives.

Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11

Résultats scientifiques : sismologie

Le sismomètre a fonctionné un peu plus d'un mois. Il est tombé en panne le 27 août 1969.

Il a envoyé des données pendant 21 jours, et a montré que l'activité sismique de la Lune est très faible. Cet instrument n'a donné aucune information sur l'intérieur de notre satellite.

Pour les missions suivantes, il a été décidé d'augmenter la sensibilité et la fiabilité des futurs sismomètres, et de larguer le troisième étage de la fusée sur le sol lunaire pour générer des ondes sismiques artificielles.

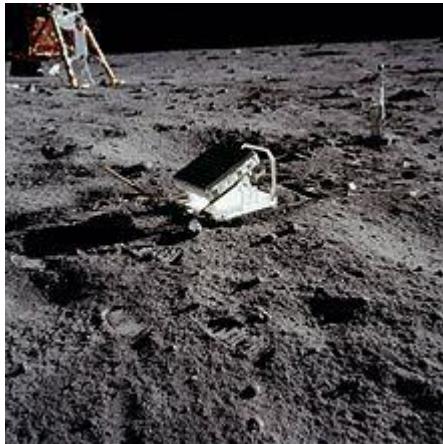
Programme Apollo (1961 à 1975)



Missions lunaires

Apollo 11

Résultats scientifiques : réflecteur laser



Il permet de mesurer précisément la distance entre la Terre et la Lune, et ainsi détecter les variations de la trajectoire lunaire.

La précision des mesures est passée de 500 m à 25 cm avec cet équipement passif. D'autres réflecteurs ont été installés par les missions Apollo suivantes. En 1984, l'évolution de la technique a ramené cette précision à 16 cm, puis à 3 cm en 1990. Aujourd'hui, elle est inférieure au millimètre. On sait ainsi que la Lune s'éloigne de la terre au rythme de 3,8 cm par an.

Programme Apollo (1961 à 1975)

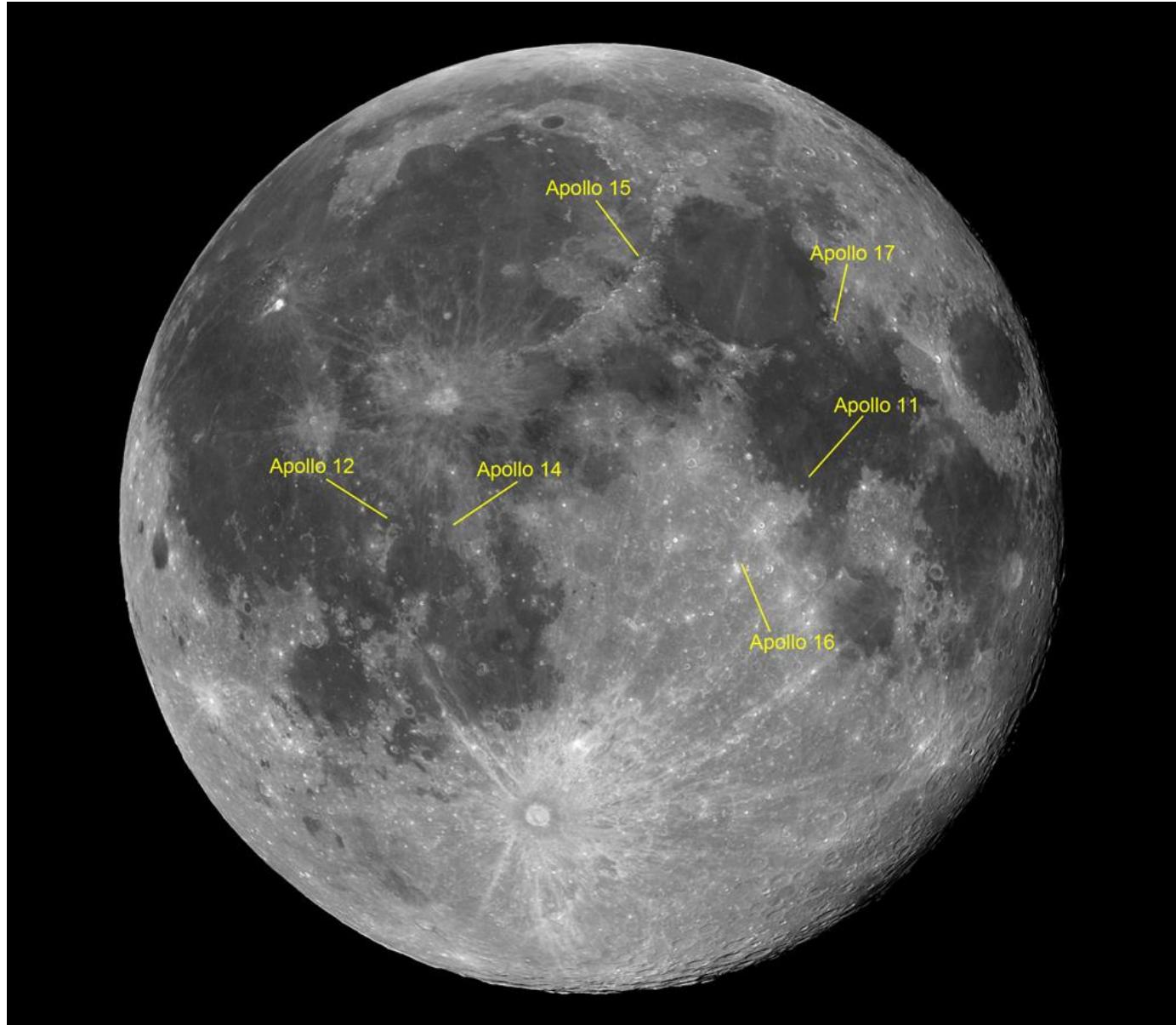
Missions lunaires

Et la suite...

Mission	Lancement	Alunissage	Durées des sorties	Équipage	
Apollo 12	14-11-1969	19-11-1969	7h45	Pete Conrad Alan Bean Richard Gordon	Foudre 32s après le lancement. Alunissage près de Surveyor 3. 2 km à pied – 34,1 kg de roches.
Apollo 13	11-04-1970	–	–	Jim Lowell Jack Swigert Fred Haise	Mission interrompue suite à une explosion d'un réservoir d'O ₂ .
Apollo 14	31-01-1971	05-02-1971	9h20	Alan Shepard Stuart Roosa Edgar Mitchell	Difficultés à amarrer le CMS au LEM (5 tentatives). Shepard lance 2 balles de golf.
Apollo 15	26-07-1971	30-07-1971	19h06	David Scott Alfred Worden James Irwin	Premier rover lunaire. 28,2 km parcourus. 1 des parachutes en torche lors de la descente sur Terre.
Apollo 16	16-04-1972	21-04-1972	20h15	Ken Mattingly John Young Charles Duke	26,7 km avec le rover.
Apollo 17	07-12-1972	11-12-1972	22h06	Harrison Schmitt Gene Cernan Ronald Evans	Schmitt est le seul civil (géologue) du programme. 36 km avec le rover.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires



Programme Apollo (1961 à 1975)

Missions lunaires Et la suite...

L'Amérique a gagné son pari.

Le congrès refuse de voter les crédits des programmes post-Apollo : guerre au Vietnam, plan anti-pauvreté de Johnson.

Les missions Apollo 18, 19 et 20 sont annulées.

La NASA se sépare de 50 000 employés...

3 fusées Saturn V sont inutilisées. L'une servira à lancer Skylab. Les deux autres sont exposés au centre spatial de Houston et au centre de lancement Kennedy.

Mais c'est le triomphe de l'astronautique américaine face aux soviétiques qui accumulent les échecs.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Bilan scientifique

L'enjeu primitif n'était pas scientifique, et n'a été pris en compte que tardivement (vers 1965).

Un seul scientifique (Harrison Schmitt) est allé sur la Lune.

Le bilan est tout de même positif :

- Meilleure connaissance de la Lune : 382 kg de roches rapportées de 6 régions lunaires différentes, photographies rapprochées, instrumentation (sismographes, réflecteurs laser, altimètres, etc).
- Retombées technologiques :
 - Industrie métallurgique et plastique : techniques de soudure, usinage chimique pour les composants électroniques, mise au point de nouveaux alliages, matériaux composites...
 - Instruments de mesure : précision, fiabilité. Instrumentation biomédicale...
 - Techniques de gestion de projet.
 - Techniques de calculs, informatique.
 - Robotique.
 - Etc.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Bilan scientifique

- Impacts sur la société :
 - La réalité dépasse la fiction.
 - La Terre comme jamais vue.
 - Évènements mondialisés.
 - Nombreux reportages et films.
 - La théorie du complot.

Programme Apollo (1961 à 1975)

Bilan financier



Entre 1960 et 1972 :

Budget NASA : 41,6 milliards de \$
Budget Apollo : 19,4 milliards de \$
En valeur 1973.

En valeur 2019 :

Budget NASA : 238,5 milliards de \$
Budget Apollo : 111,2 milliards de \$

Programme Apollo (1961 à 1975)

Que sont devenus les astronautes ?

Astronaute	Naissance	Décès	
Youri Gagarine	1934	1968	Mort dans un accident d'avion
Alan Shepard	1923	1998	Mort d'une leucémie
John Glenn	1921	2016	Est devenu sénateur
Neil Armstrong	1930	2012	Mort d'une crise cardiaque
Buzz Aldrin	1930	-	Ont 89 ans aujourd'hui
Michael Collins	1930	-	



Youri Gagarine



Alan Shepard



John Glenn



Neil Armstrong



Buzz Aldrin



Michael Collins



www.famillesrurales.org/maillet

Onglet Activités, rubrique astronomie