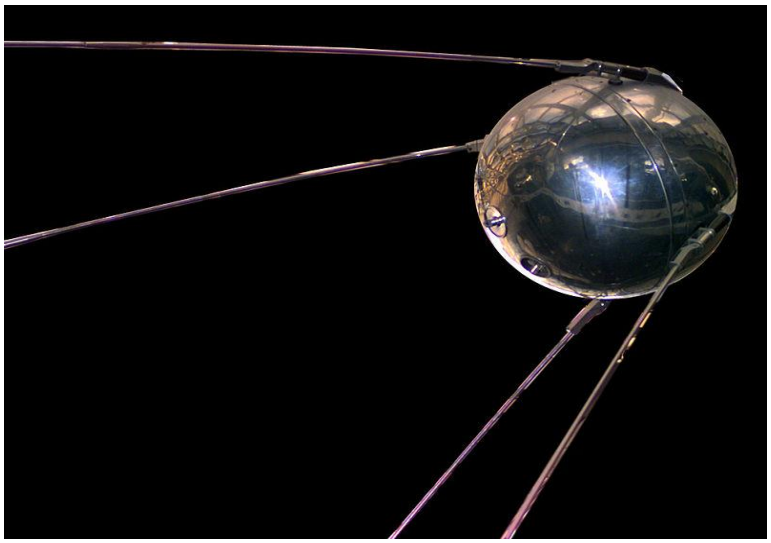
Contexte historique

Au début des années 1960, l'Union soviétique était très en avance sur les États-Unis dans la course à l'espace. En effet, en 1957, les soviétiques lançaient Spoutnik 1, le premier satellite artificiel, et le 12 avril 1961, le Russe Youri Gagarine devenait le premier homme envoyé en orbite autour de la Terre.



Youri Gagarine en 1961.

Le 25 mai 1961, le président John Fitzgerald Kennedy annonça que les États-Unis se donnaient comme objectif d'envoyer un homme sur la Lune avant la fin de la décennie (*« We choose to go to the Moon »*). À cette époque, la seule expérience qu'avaient les États-Unis des vols habités se résumait aux 15 minutes de vol suborbital d'Alan Shepard,

https://www.youtube.com/watch?v=zvYElUimcvc (1)

Le développement de Saturn 5

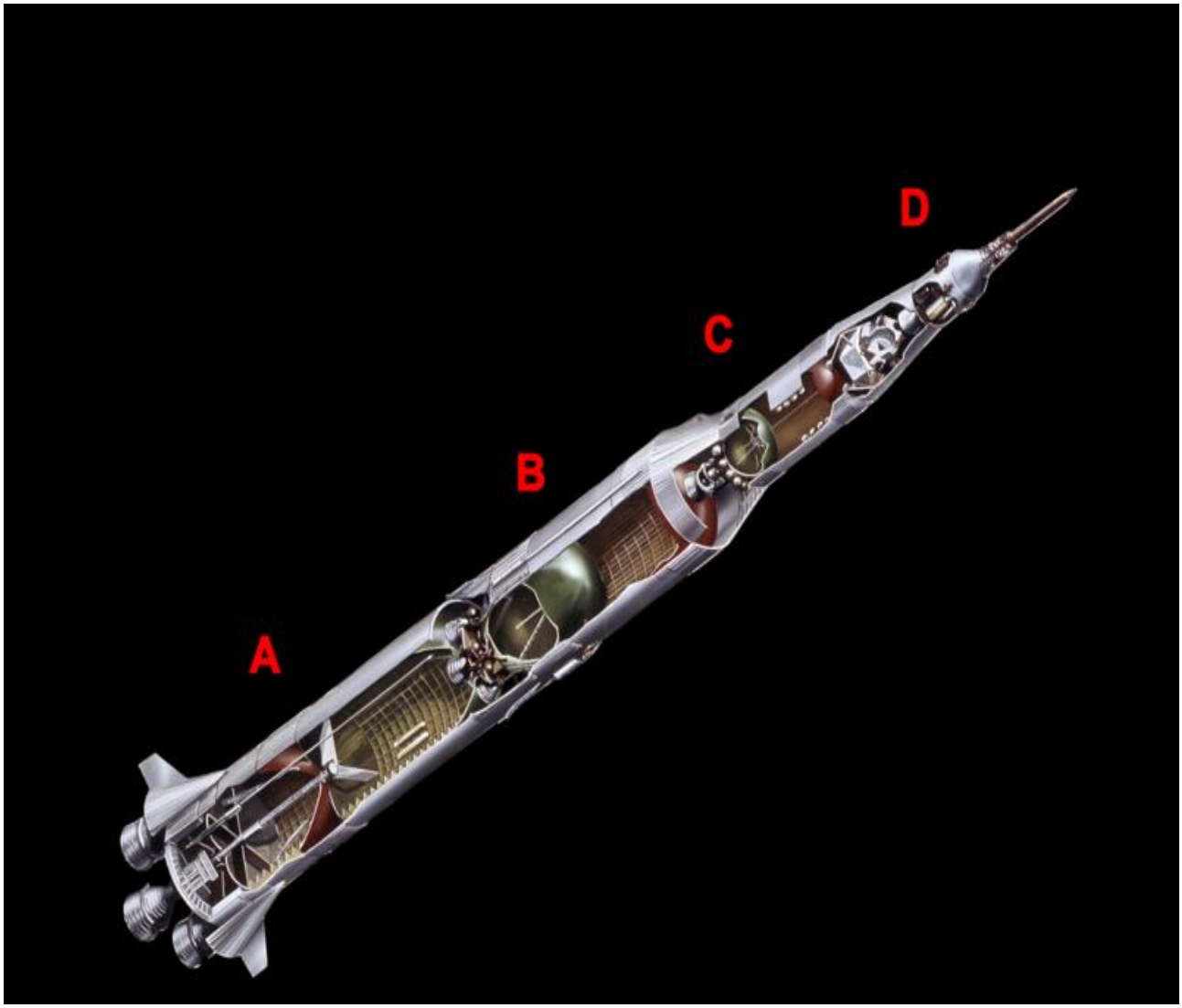
Saturn V est le dernier né de la famille des lanceurs Saturn, développée au début des années 1960 au Centre de vol spatial Marshall (MSFC).

C-1 à C-4

La fusée C-1, ou Saturn I, était issue de travaux démarrés par les équipes de Wernher von Braun dès avril 1957 pour développer des lanceurs en vue de diverses applications, militaires ou civiles. Ces programmes avaient pour nom « Super Jupiter », puis « Juno » avant d'être rebaptisés « Saturn » par Von Braun en février 1959.

Saturn V est, sans aucun doute, une des machines les plus impressionnantes de l'histoire de l'humanité.

Saturn V est haute de 110,6 mètres avec un diamètre de 10 mètres, une masse totale supérieure à 3 000 tonnes au décollage et une capacité de mise en orbite en LEO (*Low Earth Orbit*) de 140 tonnes. Sans carburant mais avec sa charge utile, sa masse à vide est de 209 tonnes, ce qui fait que 93% de sa masse au décollage est due à son carburant (soit 2 829 tonnes de carburant). Elle surpasse toutes les autres fusées ayant précédemment volé.


D
C
B
A

vue en coupe de la fusée Saturn V. **A** : **Premier étage** - **1** : 5 moteurs F-1 - **2** : Réservoir de kérosène - **3** : Réservoir d'oxygène liquide - **B** : **Deuxième étage** - **4** : 5 moteurs J-2 - **5** : Réservoir d'oxygène liquide - **6** : Réservoir d'hydrogène liquide - **C** : **Troisième étage** - **7** : 1 moteur J-2 - **8** : Réservoir d'oxygène liquide - **9** : Réservoir d'hydrogène liquide - **10** : Case à équipements - **D** : **Charge utile** - **11** : Module lunaire - **12** : Vaisseau Apollo - **13** : Tour de sauvetage.

Principales caractéristiques des étages du lanceur

Caractéristique	1er étage	2e étages	3e étages
Désignation	S-IC	S-II	S-IVB
Dimension (longueur × diamètre)	42 × 10 m	24,8 × 10 m	17,9 m × 6,6 m
Masse avec carburant (mission Apollo 11)	2 279 t	481 t	107 t
Masse à vide	130,4 t	36,5 t	11,3 t
Poussée maximale (dans le vide)	33,4 M	5MN	1 MN
Impulsion spécifique *(dans le vide)*			
Durée de fonctionnement	150 s	360 s	140 + 335 s
Moteurs	5 x F-1	5 x J-2	J-2
	Kérosène (RP-1) et	Hydrogène et oxygène	Hydrogène et oxygène

ergols	oxygène liquide	liquide	liquide

Le PREMIER ETAGE. S-1C

L'étage S-IC était construit par la société Boeing au centre d'assemblage Michoud, à la Nouvelle-Orléans, Comme pour la plupart des étages d'une fusée spatiale, la presque totalité de la masse de 2 279 tonnes au décollage du S-IC provenait du comburant RP-1 et de l'oxygène liquide.
Vide = 130 t Comb =2149 t

Cet étage faisait 42 mètres de haut et 10 mètres de diamètre, et fournissait une poussée de 3 500 tonnes propulsant la fusée pendant les 61 premiers kilomètres d'ascension ,avec une vitesse atteignant 9600 km/h au bout de 150 secondes. Il était Propulser par 5 moteurs F 1 Rocketdyn

LES MOTEURS F 1

Les 5 moteurs F1 produisent une poussée de 3 440 310 kg au sol et 3 946 624 dans le vide (consommation: 14000 kg/s). Le moteur F1 pèse 8400 kg, mesure 5,7 m de haut, consomme 2800 kg de propergol à la seconde. Il est équipé de turbopompe de 44700 kW et pesant 1130 kg

Au démarrage, les moteurs sont allumés selon la séquence 1-2-2 avec 300 ms d' écart. Le moteur central est allumé en premier suivit ses deux paires opposées. Quand la poussée est atteinte, le lanceur est libéré de ses mâchoires et commence à s' élever lentement. La tour dépassée, il entame sa manœuvre de roulis pour se caler sur son azimut de monté. A T + 69 s, le lanceur passe la région de pression dynamique maximale.

A T+ 135 s, le moteur central est éteint suivit des quatre autres un moment après. 8 rétro-fusées solides sont mis à feu tirant l' étage 0,6 après l'

extinction des moteurs F1. L' altitude est de 62 km et la vitesse 9600 km/h. L' étage poursuit son chemin dans sa lancée et culmine à 112 km d' altitude avant de retombée dans l' Atlantique à 560 km du KSC.

Le moteur F1 est composé de trois parties essentielles:

_ La chambre de combustion avec son injecteur;
_ La turbopompe à entraînement direct;
_ La générateur de gaz, avec son injecteur;

La chambre de poussée à paroi tubulaire en Inconel, refroidie par régénération se

continue par un prolongement refroidi au gaz, un double dôme d'admission

Le moteur seul mesure 3,3 m de haut pour 3 m de diamètre. Le prolongateur de tuyère porte sa longueur à 6 m pour un diamètre de 4 m. Cette tuyère est constituée de 178 tubes d'acier de 2,25 cm de diamètre convenablement cintrés entre lesquels, dans la partie intérieure, 178 autres tubes sont insérés, tous soudés avec un alliage contenant cuivre, argent et or. Dans ces tubes, le combustible circule avant son introduction dans la chambre.

La flamme noire en sortie du moteur F1, avant qu'elle ne se transforme en flamme vive provient du film de gaz utilisé pour refroidir la tuyère. Le collecteur d'échappement de la turbine), le gros tuyau conique enroulé autour de la tuyère) utilise les gaz d'échappement acheminé de la turbine pour fournir un mince film de kérosène pour le refroidissement de la tuyère basse afin de la protéger de la chaleur des gaz d'échappement du moteur. Le refroidissement n'était pas froid. La température en sortie de tuyère était de 3200°C et le film était à seulement 650°C.

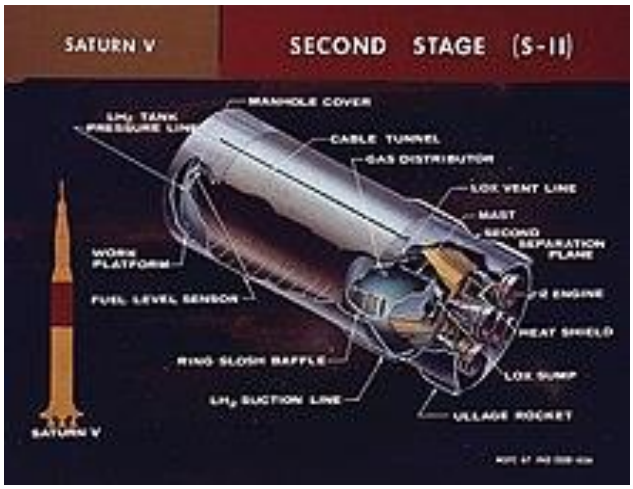
https://www.youtube.com/watch?v=1RHq5qzlZt8 (2)

Le second étage s-II

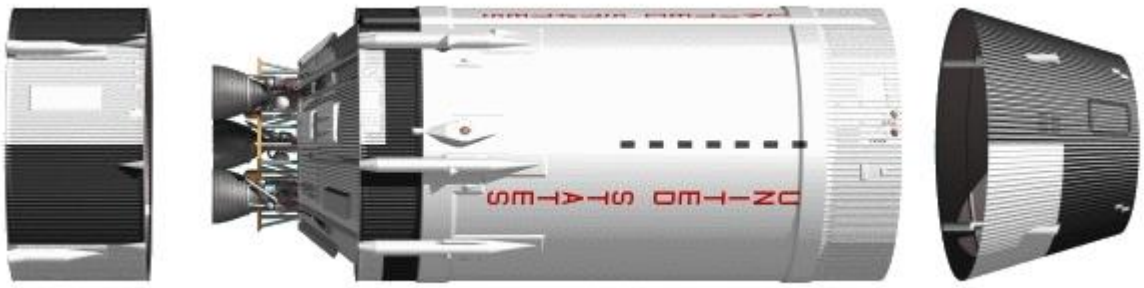
Le S-II était construit par *North American Aviation* à Seal Beach en Californie. Utilisant de l'oxygène et de l'hydrogène liquides, ses cinq moteurs J-2 présentaient une disposition similaire au S-IC. Le deuxième étage accélérait Saturn V à travers les hautes couches de l'atmosphère grâce à une poussée de 5 MN. Avec ses réservoirs remplis, 97 % de la masse de l'étage provenait des ergols

Au lieu d'avoir une structure inter-réservoirs entre ses deux réservoirs d'ergols, comme sur le S-IC, le S-II avait une structure à cloison commune, le fond du réservoir LH2 étant le sommet du réservoir LOX. Cette cloison était constituée de deux feuilles d'aluminium séparées par une structure en nid d'abeilles en phénol. Elle devait assurer une isolation thermique entre les deux réservoirs, ces derniers ayant une différence de

température de 70 °C. L’utilisation de réservoirs à cloison commune permit de réduire la masse de l’étage de 3,6 tonnes



L’étage S-II, qui prend le relais du premier étage, fonctionne durant 6 minutes : il permet au lanceur d'atteindre une altitude de 185 km et une vitesse de 24 600 km/h (6,3 km/s), proche de la vitesse minimale requise pour maintenir en orbite un engin spatial (environ 7,9 km/s).



Hauteur 24,84 Diametre 10 m

Masse a vide 40 tonnes plein 480 t

LES MOTEURS J –2

Le J-2 est un moteur-fusée fabriqué par la société américaine Rocketdyne qui propulse les deuxième et troisième étages de la fusée Saturn V qui sont en particulier chargés de la satellisation des vaisseaux Apollo autour de la terre puis de les lancer sur leur trajectoire en direction de la Lune. Le moteur utilise des ergols liquides (hydrogène et oxygène liquides). Ce couple d'ergols permet une vitesse d'éjection des gaz brûlés de 3 900 m/s et le moteur fournit une poussée dans le vide de 105,5 tonnes. Pour remplir sa mission, le moteur du troisième étage est ré-allumable en vol

Le S IV B

Le troisième étage du lanceur S-IVB est presque identique au second étage de la fusée Saturn IB mis à part l’adaptateur inter-étages. Il est fabriqué par la compagnie Douglas Aircraft dans son établissement de Huntington Beach en Californie. Le S-IVB est le seul étage de la fusée Saturn V suffisamment petit pour pouvoir être transporté par avion .

L'étage est propulsé par un unique moteur J-2 et utilise donc les mêmes ergols que le S-II. Le S-IVB dispose également comme celui-ci d'une structure à cloison commune pour séparer les réservoirs contenant les deux

ergols. Cet étage est utilisé deux fois au cours d'une mission lunaire : d'abord pour la mise en orbite après l'extinction du deuxième étage puis quelques heures plus tard pour l'injection des vaisseaux lunaires sur la trajectoire devant les amener à proximité de la Lune (« *Translunar injection* » - TLI

- Le troisième étage S-IVB ne fonctionne que durant 140 secondes pour la mise en orbite. Entre 165 et 185 km d altitude il s'est écoulé 11 minutes et 30 secondes depuis le décollage. Saturn V se trouve à 1 700 km du site de lancement. Le troisième étage du lanceur ainsi que sa charge utile sont désormais placés sur une orbite de parking

Vitesse 24 600km/H soit (6,3 km s)

Case à équipements

La case à équipements (Instrument Unit ou IU) regroupe les instruments chargés de contrôler et piloter le lanceur Saturn V durant son vol jusqu'au largage du dernier étage. Les instruments sont accrochés aux parois d'un anneau de 91 cm de haut et de 6,6 mètres de diamètre situé au sommet du 3e étage

La case à équipement héberge notamment la centrale à inertie ST-124 développée par Bendix Corporation et l'ordinateur de bord développé par IBM capable d'effectuer 9 600 opérations par seconde et doté d'une

mémoire de 460 kilobit

L'ordinateur de bord déclenche les différentes opérations en vol jusqu’au largage du troisième étage S-IVB : allumage et extinction des moteurs, calcul et correction de la trajectoire, séparation des étages. La case à équipements comprend également les systèmes de guidage et de télémétrie transmettant en temps réel les données collectées en différents points du lanceur (comportement des moteurs, températures, trajectoire...). En mesurant l’accélération et l’altitude du lanceur, l'ordinateur embarqué calcule la position et la vitesse de la fusée et corrige les déviations par rapport à la trajectoire prévue.

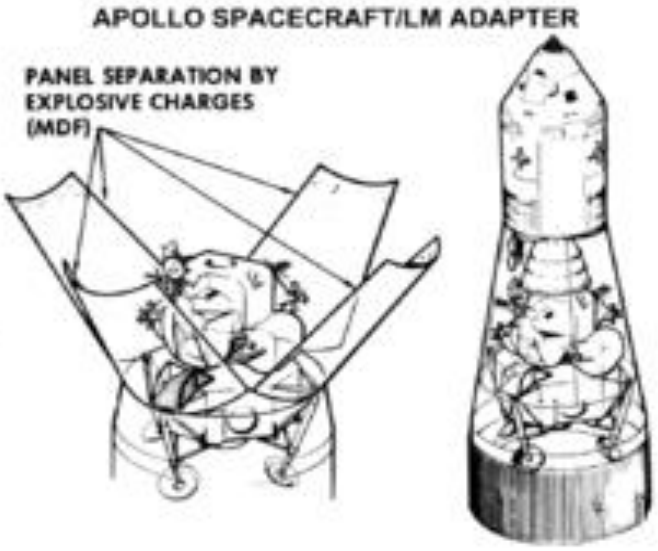
CHARGE UTILE

. Le lanceur est capable de placer 118 000 kg sur orbite terrestre ou 47 000 kg vers la lune.

Coiffe de jonction des modules de service et lunaire (SLA : Spacecraft–Lunar module Adapter)

La coiffe de jonction CSM-LEM ou le SLA, construit par North American Aviation (Rockwell), était une structure conique en aluminium qui reliait le module de service (SM) au troisième étage S-IVB de la fusée Saturne V. Il protégeait également le module lunaire (LEM) et la tuyère du système de propulsion du module de commande et de service (CSM) lors du lancement et de l’ascension dans l’atmosphère.

Le SLA était composé de quatre panneaux fixes de 2,1 m boulonnés à la case à équipements au-dessus du troisième étage (S-IVB), qui étaient reliés par des charnières aux quatre panneaux de 6,4 m de haut et s’ouvraient d'en haut, semblables à des pétales de fleurs.



Le (csm)

La fusée Saturn V est conçue autour d'un unique but : envoyer un équipage à la surface de la Lune. Pour remplir cet objectif, la fusée Saturn V doit

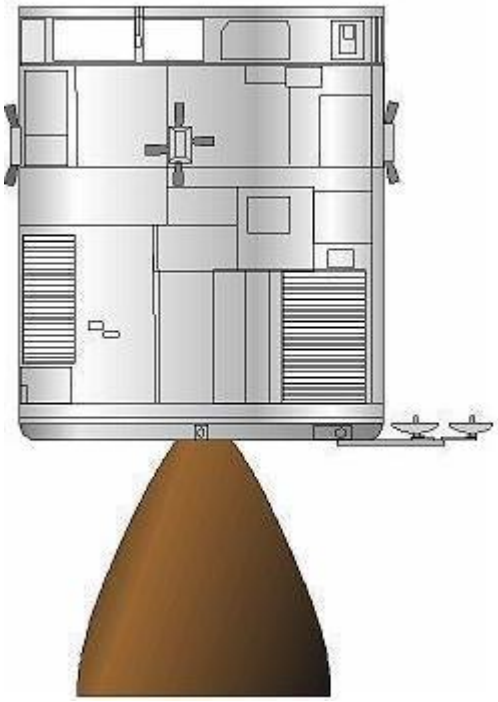
injecter deux véhicules spatiaux sur une trajectoire les menant à la Lune : le Module de commande et de service (CSM), le vaisseau principal, et le module l unaire qui doit faire la navette entre l'orbite lunaire et la surface de notre satellite.

Le module de service

Le module de service (en anglais : *Service Module*, ou SM) est un cylindre d'aluminium non pressurisé de 5 m de long et 3,9 m de diamètre pesant 24,5 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 m.

Bref en résume, ses principales fonctions sont

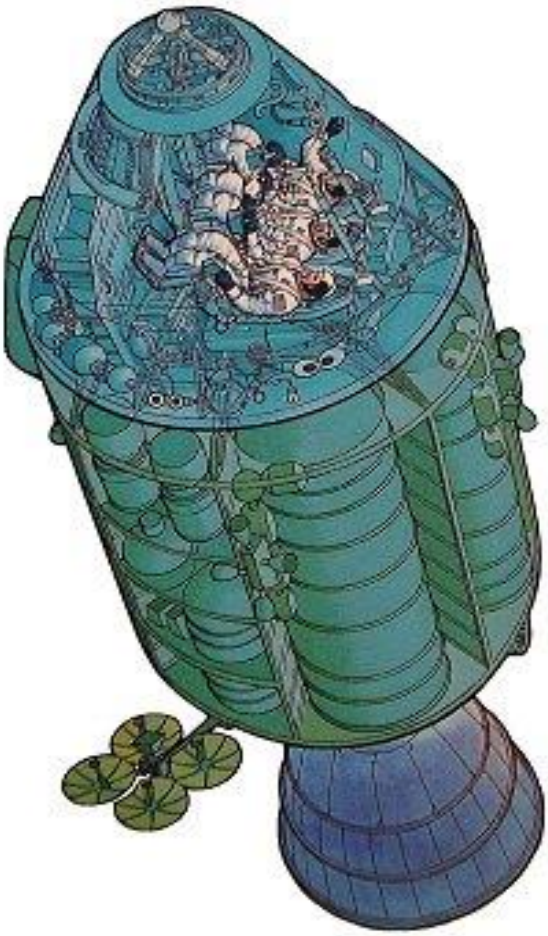
- Stockage.
- Production électrique.
- Contrôle d'environnement.
- Contrôle d'attitude.
- Propulsion principale.
- Télécommunications.
- Logement pour l'équipement scientifique.



Le module de commande

Le module de commande Apollo est la partie du vaisseau dans laquelle les trois astronautes séjournent durant la mission, sauf lorsque deux d'entre eux descendent sur la Lune au moyen du module lunaire. Son fonctionnement est largement dépendant du module de service, qui abrite la plus grande partie des consommables nécessaires pour la survie de

l'équipage (énergie, eau, oxygène). Le module, de forme conique, pèse au lancement environ 5,9 tonnes, est haut de 3,23 mètres pour un diamètre de 3,90 mètres. Volume habitable : 6,17 m 3



la tour de sauvetage

Ejection de la tour de sauvetage

Après l'allumage du deuxième étage, la tour de sauvetage est larguée

Pour les missions Apollo, le système a été développé par la Lockheed Propulsion Company à la suite d'un contrat passé par la NASA le 13 février 1961.

La tour de sauvetage utilisée sur les Saturn V avait les caractéristiques suivantes2 :

- longueur: 10,2 m
- diamètre: 0,66 m
- poids : 4,2 tonnes
- poussée des fusées : 689 kN (environ 68 tonnes)

Sa poussée était plus forte que celle de la fusée Redstone qui avait propulsé Alan Shepard lors de la première mission spatiale américaine3.

https://www.youtube.com/watch?v=Iwn4LVVvAUQ