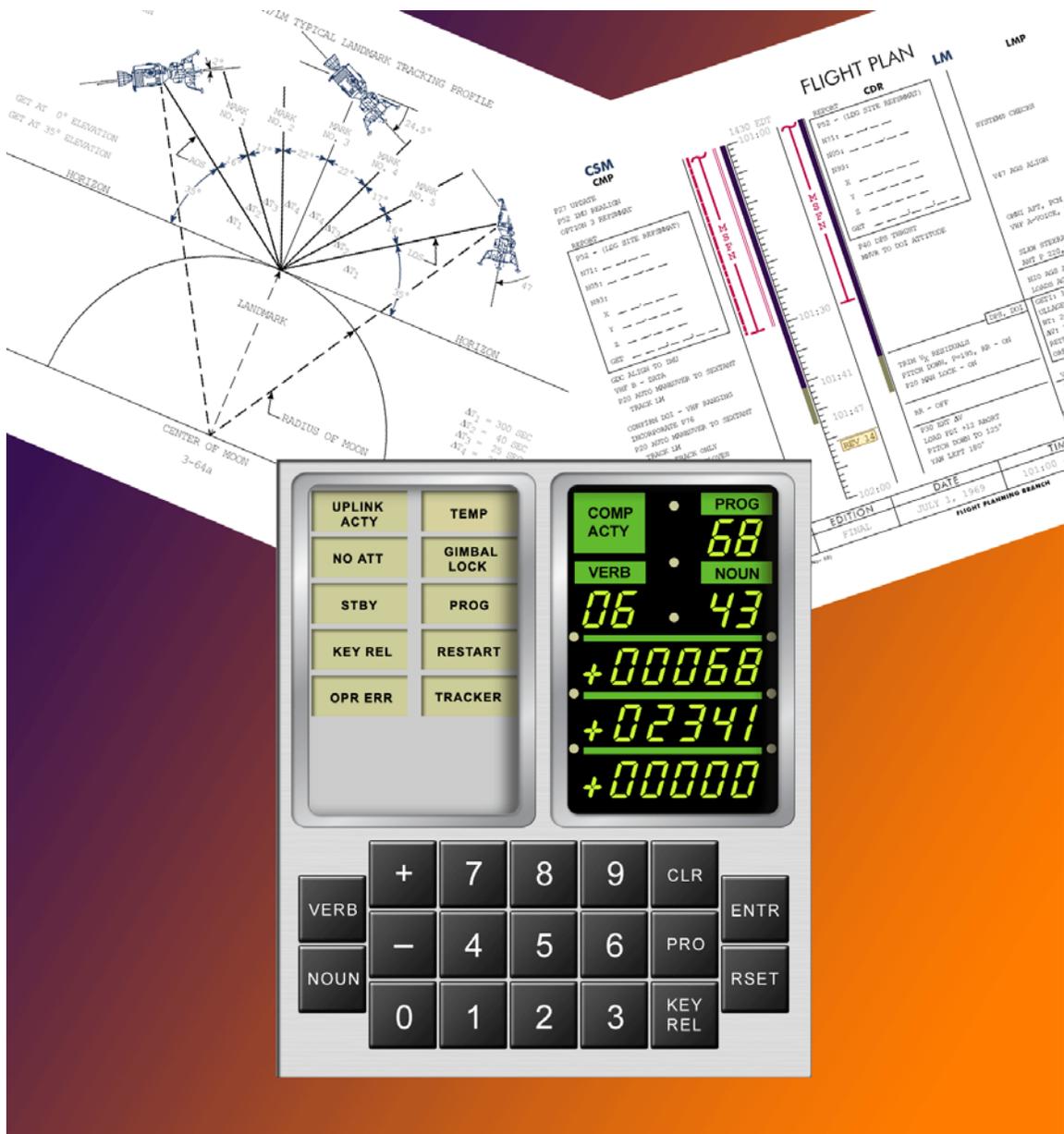


Synthèse des commandes DSKY pour une mission Apollo

(OBJECTIF LUNE POUR APOLLO)

Par COUSSINI

Juin 2006



« J'ai toujours été fasciné par ce qui entourait Apollo. Étant jeune je désirais être astronaute, comme bien des garçons de mon âge. Aujourd'hui, je réalise ce vieux rêve d'une manière virtuelle et je désire le partager avec vous par le biais de ce document »

Remerciement à :

- ❖ **Martin Schweiger**, pour son logiciel Orbiter, permettant à bien des amoureux de l'espace de vivre de merveilleuses aventures.
- ❖ **Daniel Polli**, pour son indispensable module de son (OrbiterSound), pour sa gentillesse et son infatigable dévouement à un site touchant le monde merveilleux d'Orbiter permettant à des francophones de communiquer une même passion, celle de voler, d'apprendre et de fraterniser.
- ❖ **Denis alias LazyD**, pour son soutien moral et sa collaboration à plusieurs programmes de l'interface utilisateur **DSKY** (en particulier ceux du **LM**).
- ❖ **Tschachim**, pour sa collaboration à certains détails techniques du **DSKY**.
- ❖ **Ronald Burkey**, pour sa documentation concernant le **DSKY** en fonction des missions d'Apollo.
- ❖ **Alexandre Schwenck**, pour sa merveilleuse documentation concernant les diverses procédures sur le rendez-vous lunaire et plus encore.
- ❖ **Don Eyles**, pour certaines informations concernant l'interface utilisateur **DSKY**.
- ❖ La **NASA**, pour sa pertinente documentation ne serait-ce que les données relatives aux journaux de vols.
- ❖ **Papyref** et **Mustard** qui m'ont permis d'apprécier Orbiter à sa juste valeur
- ❖ **Tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin.**
- ❖ Sans oublier **ma conjointe** pour sa patience sans borne.

But :

Ce document a pour but de vous familiariser avec le monde merveilleux qu'est l'interface utilisateur **DSKY**. Il est intégré aux versions qui succéderont la version **6.4.2** de **NASSP** et il vous aidera également à bien assimiler les différentes composantes d'une fusée Saturn 5 et des vaisseaux Apollo. Ces versions utiliseront plus de réalismes allant des tableaux de bord complets, utilisant des procédures tel que les astronautes ont effectuées selon un horaire spécifique et des procédures automatisées par le biais de l'interface utilisateur **DSKY**. De plus, il sera possible de construire sa fusée Saturn 5 et de l'acheminer vers le pas de tir.

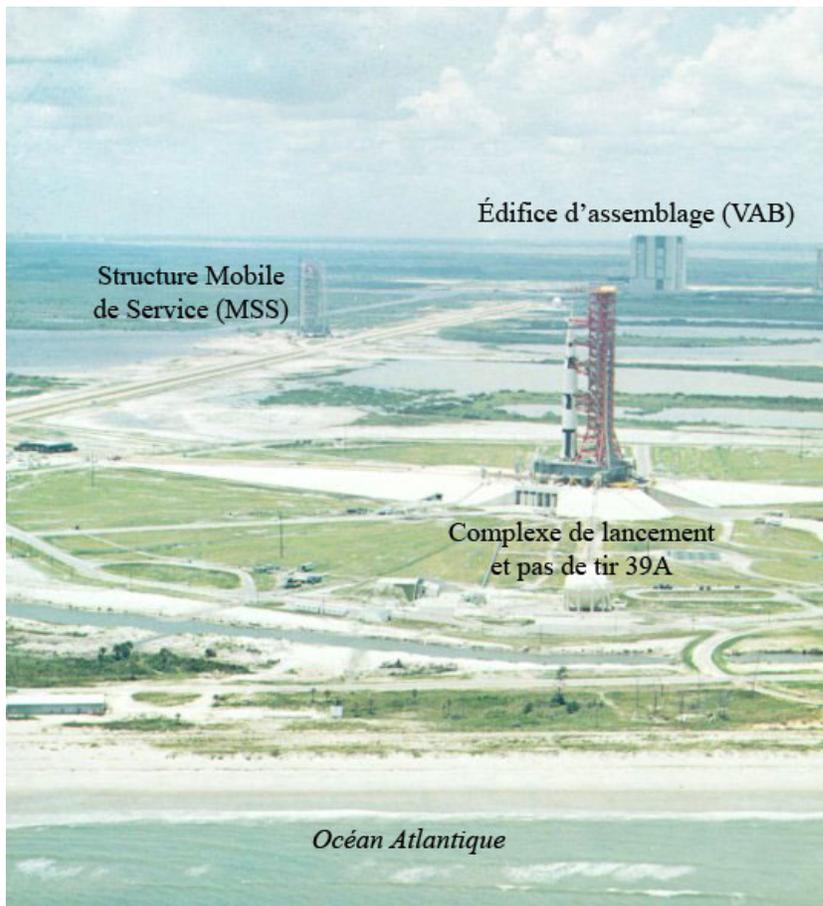
Les principales versions de NASSP se retrouvent sur le site suivant

<http://sourceforge.net/projects/nassp/>

Préambule :

La nation allemande possédait une technologie très innovatrice durant la Deuxième Guerre mondiale. À la fin de cette guerre, les Américains et les Russes s'empressèrent à récupérer sa technologie et ses ingénieurs. Ainsi naquit une rivalité entre ces deux grandes puissances. Le 5 octobre 1957, une fusée partant du pas de tir de Baïkonour mettait sur orbite le premier satellite artificiel. Les Russes avaient réussi le premier pas vers la conquête spatiale. Ils furent également les premiers à mettre en orbite un animal, un homme et une femme. Mais l'ultime objectif était la lune.

Grâce aux efforts des Américains, Neil Armstrong fut le premier humain à poser un pied sur la lune. Mais pour réussir un tel exploit, il leur a fallu construire des installations et concevoir une fusée, capable de transporter trois astronautes et l'équipement nécessaire pour atteindre leur objectif. Voici un aperçu du site de lancement de la fusée Saturn 5.



Pour construire cette fusée de 110.59 mètres de haut, les Américains ont érigé un édifice d'assemblage (**VAB**). Ainsi assemblé sur sa tour de lancement dans l'édifice d'assemblage, la fusée est transportée sur le dos d'une plateforme à chenille (**CRAWLER TRANSPORTER**) sur 5.5 kilomètres jusqu'au pas de tir **39A**. Telle une tortue, elle parcourt ce trajet durant 6 heures.

La conception de Saturn 5 et son environnement :

La fusée Saturn 5 est constituée de millions de pièces construites par des milliers de sociétés à travers les États-Unis et le Canada. C'est au centre des vols spatiaux Marshal à Huntsville (Alabama) que les ingénieurs Wernher Von Braun et Arthur Rudolph conçoivent cette fusée sur le principe d'étages qui sont largués au fur et à mesure de son ascension. La **NASA** choisit le North American Aviation (**NAA**) comme principal constructeur des vaisseaux Apollo (pas le module lunaire), sachant que cette entreprise avait eu du succès dans la construction d'avion durant la Deuxième Guerre mondiale.

Tour de lancement (LUT) :

Haute de 121.54 mètres, la tour de lancement a été construite au centre spatial Kennedy. Elle possède 9 passerelles de services rétractables, permettant d'acheminer du carburant, de l'électricité, de l'air conditionné, ainsi de suite. Parmi celles-ci, nous en dénombrons deux pour l'étage **S-IC**, trois pour l'étage **S-II**, deux pour l'étage **S-IVB** et une pour le module de service (**SM**). La dernière et plus élevée des passerelles, permet aux astronautes d'accéder au module de commande (**CM**). Au prolongement de cette passerelle se trouve la chambre blanche.



L'étage S-IC :

Le premier étage de notre fusée mesure 10.6 mètres de diamètre par 42.06 mètres de hauteur et se nomme **S-IC**. Elle a été conçue par la firme Boeing à la Nouvelle-Orléans au complexe d'assemblage Michoud.

Voici une petite anecdote. Les terres sous-jacentes au complexe furent jadis des terres appartenant au roi de France. En 1763, Gilbert Antoine de St Maxent, un marchand à l'époque, fut le premier à prendre possession de cette terre. Mais ce n'est qu'en 1827 qu'elle fut la possession d'Antoine Michoud (l'origine du nom du complexe), fils d'un administrateur d'un domaine de canne à sucre à la Nouvelle-Orléans sous le régime de Napoléon Bonaparte.

Revenons à nos moutons. Chacun des 5 propulseurs **F-1** de cet étage a une poussée extraordinaire de 680 tonnes métriques. La dimension d'un propulseur est de 3.72 mètres de diamètres (le module de commande a 3.91 mètres de diamètres). Sachant que la fusée Saturn 5 pèse 2903 tonnes métriques, nous avons 3400 tonnes de poussées pour la soulever. C'est largement suffisant. Chacun de ces propulseurs a été conçu par la firme Rocketdyne.

Cet étage permettra à la fusée d'atteindre 68.73 kilomètres d'altitude (Apollo 12). Très gourmande, elle consomme 12.55 tonnes métriques de carburant combiné à la seconde. Le carburant consiste à 30 % de pétrole raffiné (**RP-1**) et 70 % d'oxygène liquide (**LOX**). Ainsi constitué, le premier étage est transporté par la péniche **Poséidon** en passant par le centre de test du Mississippi (**MTF**), puis au golfe du Mexique en longeant les côtes de la Floride, jusqu'au centre spatial Kennedy.



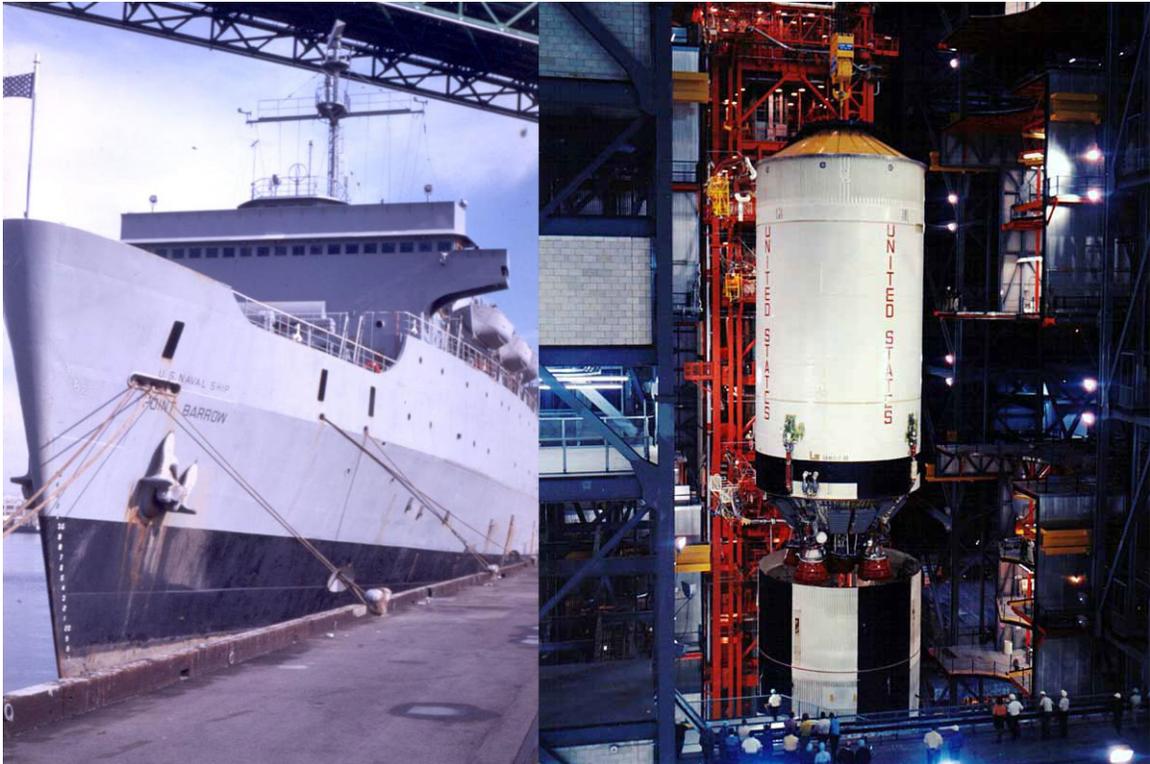
Ainsi, la péniche arrive au port du centre spatial Kennedy (**KSC**) et cet étage est transporté par camion jusqu'à l'édifice d'assemblage. La dernière étape consiste à inspecter l'étage, puis on l'installe sur le socle de la tour de lancement à l'aide d'un puissant treuil.

L'étage S II :

D'une dimension de 10.6 mètres de diamètre par 24.84 mètres de hauteur, le deuxième étage (**S-II**) a été conçu verticalement, par la firme North American Aviation à Seal Beach (Californie). On peut facilement comparer cet étage à un œuf. Sa coquille est tellement mince malgré son poids que sa pression interne et son contenu en carburant permettent d'obtenir un équilibre en fonction de sa solidité.

Chacun des 5 propulseurs **J-2** de cet étage a une poussée de 104 tonnes métriques et a été conçu par la firme Rocketdyne. Cet étage permettra à la fusée d'atteindre 190.42 kilomètres d'altitude (Apollo 12). Également gourmande, elle consomme 1.14 tonne métrique de carburant à la seconde. Le carburant consiste à 16 % d'hydrogène liquide (**LH2**) et 84 % d'oxygène liquide (**LOX**). Le carburant occupe 97 % du poids de cet étage.

Ainsi constitué et testé, le deuxième étage est transporté par le bateau **Point Barrow** sur l'océan Pacifique, en passant par le canal de Panama, par le golfe du Mexique puis jusqu'au centre de test du Mississippi (**MTF**). Ensuite, l'étage est acheminé au centre spatial Kennedy.



Ainsi, le bateau arrive au port du centre spatial Kennedy et l'étage est transporté par camion jusqu'à l'édifice d'assemblage. La dernière étape consiste à inspecter l'étage puis on la dépose sur l'étage **S-IC** à l'aide d'un puissant treuil. Il est important de mentionner, qu'un interétage est intercalé entre le **S-IC** et le **S-II** (on peut l'apercevoir sur la photo de droite ci-dessus, à proximité des propulseurs du **J-2**).

Les interétages :

Les interétages permettent de promulguer une distance sécuritaire d'un mètre aux propulseurs dans le cadre d'une séparation. L'aspect aérodynamique de celles-ci est également considéré.



L'interétage qui sépare le **S-IC** et le **S-II** (à gauche de la photo précédente) mesure 10.6 mètres de diamètre par 5.49 mètres de hauteur et est fabriqué par la firme North American Aviation à Seal Beach (Californie). Il est généralement transporté avec l'étage **S-II** à l'aide du bateau **Point Barrow**.

Fabriqué par la firme McDonnell Douglas Aircraft à Huntington Beach (Californie), l'interétage sous le **S-IVB** (page suivante) a 10.6 mètres de diamètre à sa base par 6.6 mètres de diamètre à l'autre extrémité pour une hauteur de 6.1 mètres de haut et est fusionné au **S-IVB**. Nous pouvons voir sur la photo suivante, l'avion particulier (**Super Guppy**) qui transporte entre autres le **S-IVB**.



L'étage S-IVB :

Le troisième étage de notre fusée mesure 6.6 mètres de diamètre par 17.83 mètres de hauteur et se nomme **S-IVB**. Elle a été conçue par la firme McDonnell Douglas Aircraft à Huntington Beach (Californie).

Son seul propulseur **J-2**, a une poussée de 104 tonnes métriques et a été conçu par la firme Rocketdyne. Cet étage permet de terminer la course de la fusée pour l'insertion en orbite terrestre (**EOI**) à 190.92 kilomètres d'altitude (Apollo 12). Plus tard, elle permet d'effectuer l'injection vers la lune (**TLI**). Son carburant consiste à 25 % d'hydrogène liquide (**LH2**) et 75 % d'oxygène liquide (**LOX**).

Ainsi constitué et testé, cet étage est transporté par le **Super Guppy** (voir photo de la page précédente) et est acheminé au centre spatial Kennedy. Finalement, cet étage est déposé sur l'étage **S-II** à l'aide d'un puissant treuil.

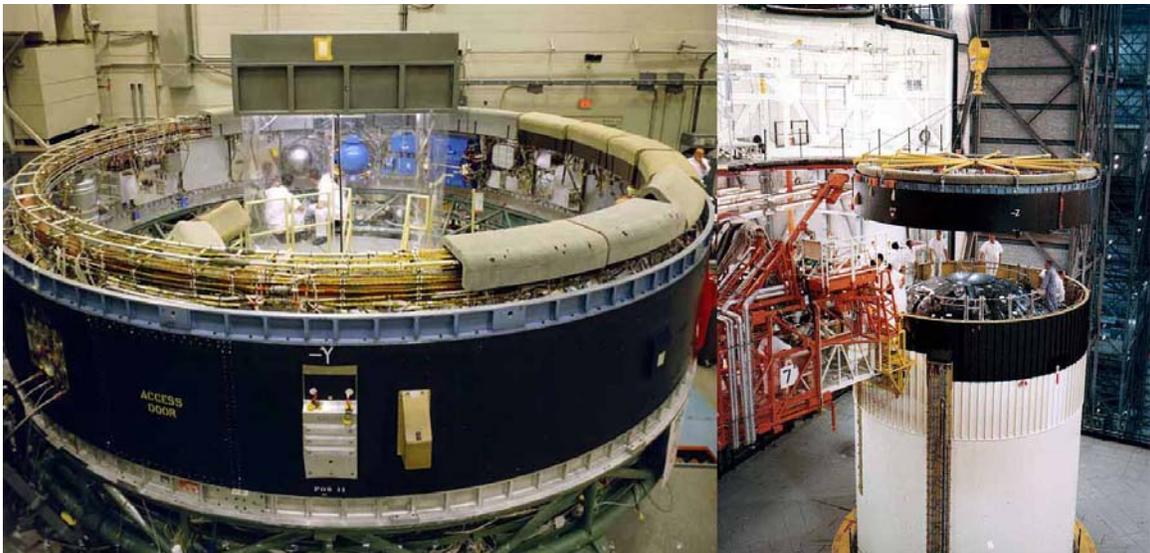


L'étage des instruments de guidage et de mesure (IU) :

Le centre névralgique du contrôle de la fusée Saturn 5 est composé de trois segments en aluminium de 120 degrés recouverts de nid d'abeille protecteur qui lui confère une haute résistance à la chaleur. Assemblés, ces segments forment l'étage des unités de guidage et de mesure, d'une dimension de 6.6 mètres de diamètres par 0.91 mètre de hauteur et d'un poids de 2 tonnes métriques. Elle a été conçue par la firme IBM et a été assemblée à la division des systèmes à Huntsville (Alabama).

Cinq secondes avant le décollage, cet étage est activé et commence à penser de lui-même grâce à son ordinateur **LVDC**. Douze secondes du décollage, ses programmes de roulis et de tangage sont exécutés, permettant d'interagir avec la centrale inertielle (elle procure les données de roulis, tangage et lacet) et les propulseurs latéraux de la fusée, amenant cette dernière à l'azimut approprié puis l'angle d'attaque optimale.

Dès que l'ordinateur reçoit l'information que le réservoir du premier étage est à un niveau déterminé, il exécute le programme concernant l'extinction des propulseurs **F1** puis à la séparation de cet étage. Peu après l'allumage des propulseurs **J-2** du deuxième étage, il exécute un programme qui gère efficacement le carburant selon la situation de vol. Notons qu'à toutes les deux secondes, l'ordinateur compare ses données avec celles provenant des divers instruments (altitude, vitesse, carburant résiduel, etc.) afin d'optimiser sa course. Telle une boîte noire, l'étage conserve ses données de vol pour consultation ultérieure.



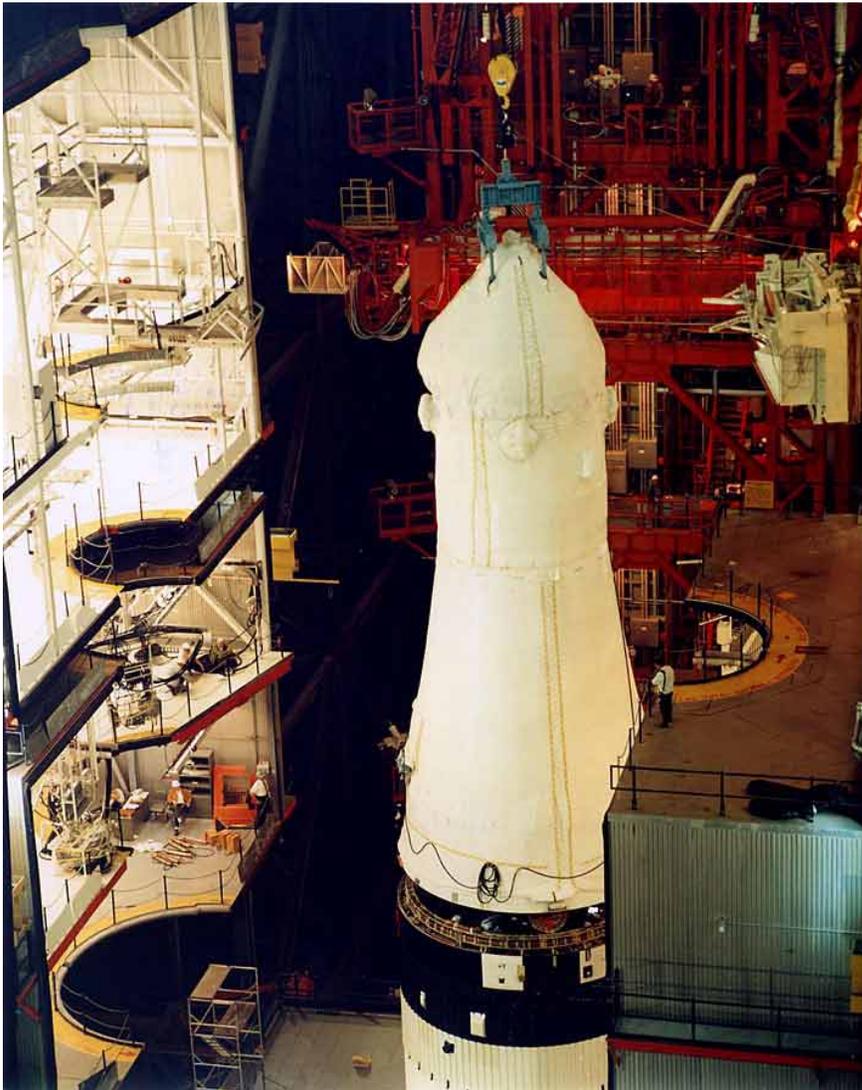
Ainsi constitué et testé, cet étage est transporté par le **Super Guppy** (voir photo de la page précédente) et est acheminé au centre spatial Kennedy. Ainsi, cet étage est déposé sur le **S-IVB** à l'aide d'un puissant treuil.

L'étage des vaisseaux Apollo :

D'une hauteur de 24.95 mètres, l'étage qui succède celui des instruments de guidage et de mesure est sans contredit l'étage le plus complexe et le plus intéressant de la fusée Saturn 5. À la base de cet étage est logé le module lunaire (**LM**), au dessus se trouve le module de service, le module de commande (qui est sous une coquille thermique au décollage) et une tour constituant un système d'éjection d'urgence.

Une fois testé, cet étage est enveloppé dans une salle stérile, afin de le protéger contre toute saleté lors du transport jusqu'au pas de tir **39A**, car des précautions sont de mise pour éviter d'amener des bactéries dans l'espace pouvant mettre en danger les astronautes.

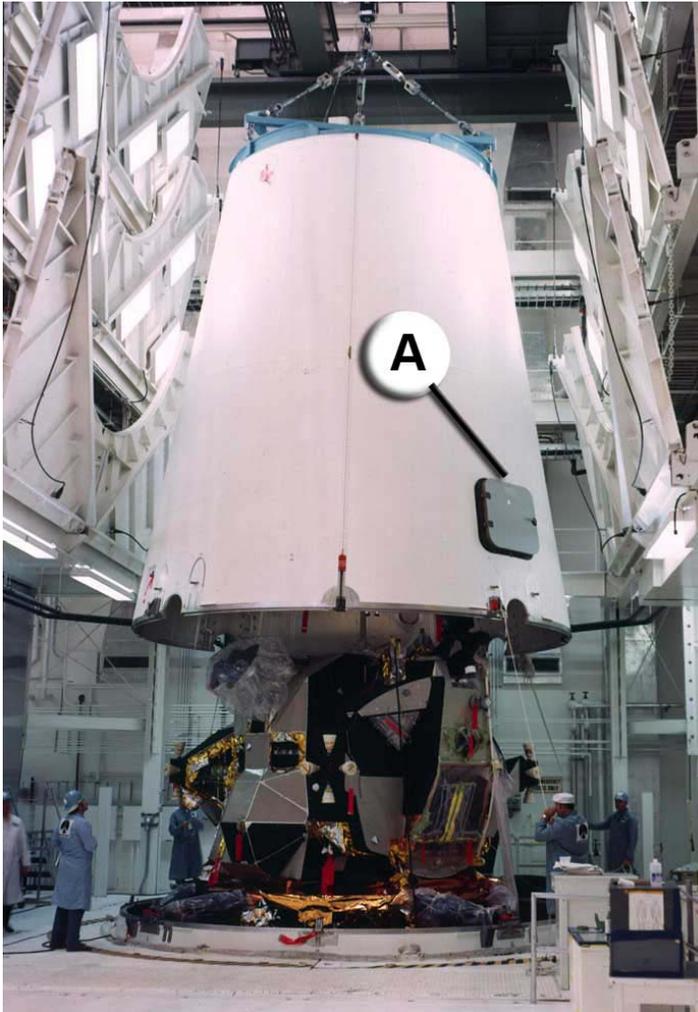
Nous pouvons voir sur la photo suivante, l'étage des vaisseaux Apollo qui est soulevé à l'aide d'un puissant treuil afin d'être déposé sur l'étage des unités de guidage et de mesure.



Le compartiment adaptateur du module lunaire (SLA) :

Fabriqué par la firme North American Aviation à Tulsa (Oklahoma), le compartiment adaptateur du module lunaire de forme conique, mesure 8.53 mètres de haut pour 6.6 mètres de diamètre à sa base par 3.91 mètres de diamètre à l'autre extrémité. Permettant au module lunaire d'être protégé lors du lancement puis de protéger l'antenne et le propulseur du module de service, ce compartiment en aluminium recouvert de nid d'abeille protecteur (lui confère une haute résistance à la chaleur), sert d'adaptateur pour joindre l'étage des vaisseaux Apollo à la fusée Saturn 5. Sa partie supérieure est composée de 4 panneaux de 6.48 mètres de long, incluant 2 portes d'accès pour le personnel au sol (voir **A**). La base de ce compartiment adaptateur, est de 2.36 mètres de long et elle inclus 1 porte d'accès.

Voici les étapes concernant l'extraction du module lunaire :



Une série de 28 charges explosives sous forme de bandelette, permettent de séparer le module de commande à la partie supérieure du compartiment adaptateur, puis à séparer les quatre panneaux supérieurs.

Une fois que la série de détonation atteint la base des panneaux, des pistons à pression sont initiés, permettant d'ouvrir les quatre panneaux à raison de 30 degrés par seconde. Lorsque les panneaux atteignent 45 degrés, les ressorts des charnières propulsent les panneaux vers l'extérieur à raison de 2.46 mètres par seconde. Grâce à cette propulsion, l'angle d'ouverture des panneaux atteint 110 degrés.

Lorsque le module de commande est arrimé au module lunaire, un signal est envoyé à des récepteurs à la base du compartiment adaptateur, permettant de contrôler quatre pistons à pression sur 4 ressorts qui pousse sur le module lunaire afin de l'extraire du compartiment adaptateur.

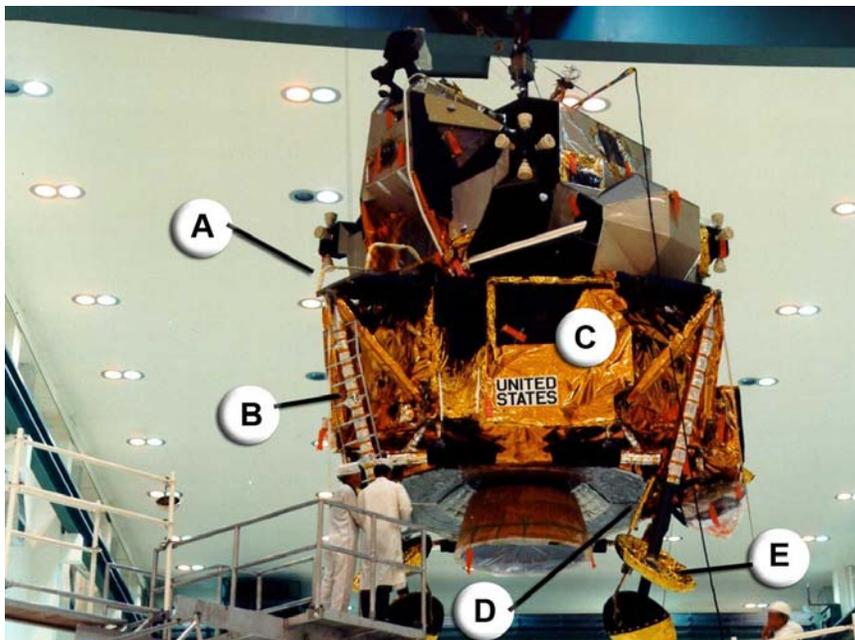
Le module lunaire (LM) :

D'un poids de 15.12 tonnes métriques (Apollo 12) et d'une hauteur totale de 6.985 mètres, le module lunaire (**LM**) est un vaisseau permettant à deux astronautes d'Apollo d'alunir, de transporter des instruments scientifiques utiles aux sorties extravéhiculaires, et de revenir en orbite afin d'effectuer un rendez-vous avec le module de commande. Ce principe de rendez-vous en orbite lunaire (**LOR**) vient originellement de Tom Dolan (ingénieur d'une firme du Texas) qui fût repris par John Houbolt de la **NASA**. Cette méthode fût très contestée à l'époque, mais permis en fin de compte d'aboutir à la solution ultime qu'est l'utilisation d'un petit vaisseau lunaire afin d'atteindre l'objectif lune. Aller sur la lune est une question de poids. Pour chaque kilogramme qui ira sur la surface lunaire, il faudra trois kilogrammes de carburant à la fusée Saturn 5.

Chef de file dans la conception d'avion civil et militaire, la firme Grumman Aircraft Enginering Corporation de Long Island (New York) fût le constructeur officiel du module lunaire. L'ingénieur en chef de cette firme, Tom J. Kelly, devait faire face à la réalité d'économie de poids. En réduisant les hublots, on élimina les sièges des pilotes, permettant à ces derniers d'être près des hublots.

Le module lunaire est recouvert de fines pellicules protectrices à des endroits stratégiques, soit contre les gaz d'échappement (pouvant être à 982,22 degrés Celsius) ou contre les micrométéorites. Les deux tiers du poids du module lunaire (10.34 tonnes métriques selon Apollo 12) est concentré sur l'étage inférieur et le reste sur l'étage supérieur (4.78 tonnes métriques selon d'Apollo 12). L'étage supérieur mesure 3.76 mètres de haut et l'étage inférieur est de 3.23 mètres de haut.

Transporté de la Firme Grumman par le **Super Guppy**, le module lunaire est testé dans une chambre simulant le vide de l'espace, puis on l'installe dans son compartiment adaptateur avant son départ pour la lune.

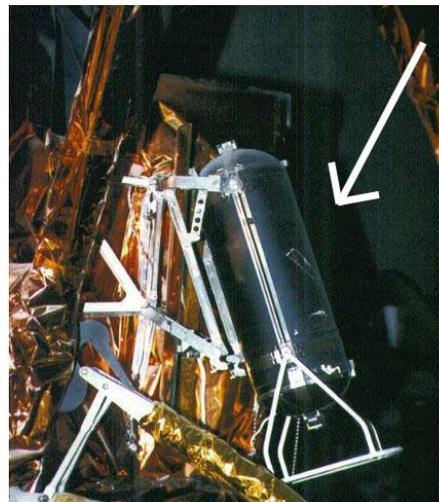
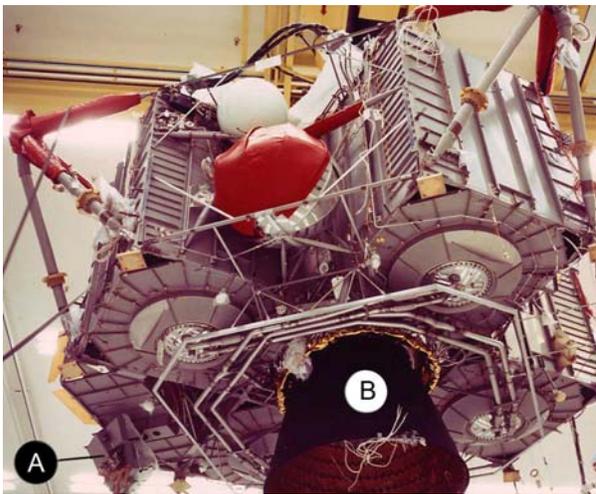


- A) Porche
- B) Échelle
- C) Quadrant 1
- D) Sonde dans sa position repliée
- E) Pied en forme d'assiette

L'étage inférieur du module lunaire (LM) :

Cet étage de 3.22 mètres de haut (incluant les pattes), est une structure en aluminium comportant 5 compartiments pratiquement cubiques regroupés en forme de croix. Afin de créer une forme octogonale, on joint aux compartiments cubiques, 4 compartiments triangulaires nommés **quadrants**. Le compartiment cubique central, contient un propulseur **DPS** orientable à 6 degrés (voir **B** sur la photo du bas) qui est dédié à la manœuvre de descente. Pour nous situer, disons qu'un observateur se tient debout sur le compartiment cubique du centre et regarde en avant de lui, en direction de l'échelle servant aux sorties extravéhiculaires. Le compartiment cubique à gauche et à droite, contient un réservoir à mélanges égaux, d'hydrazine et de diméthylhydrazine dissymétrique (carburant). Le compartiment cubique avant et arrière, contient un réservoir de peroxyde d'azote (autre carburant). Quatre facettes extérieures des compartiments cubiques sont utilisées pour fixer 4 pattes longues de trois mètres servant de support. Au bout de ces pattes se trouvent 4 pieds en forme d'assiette qui permettent d'atténuer l'impact avec le sol lunaire. Sous ces dernières (sauf celle en avant), il y a des sondes d'environ un mètre qui signalent la proximité du sol lunaire. La patte avant est nantie d'une échelle permettant aux marcheurs lunaires d'accéder à la lune. Elle est surmontée d'un porche et d'une rampe d'accès.

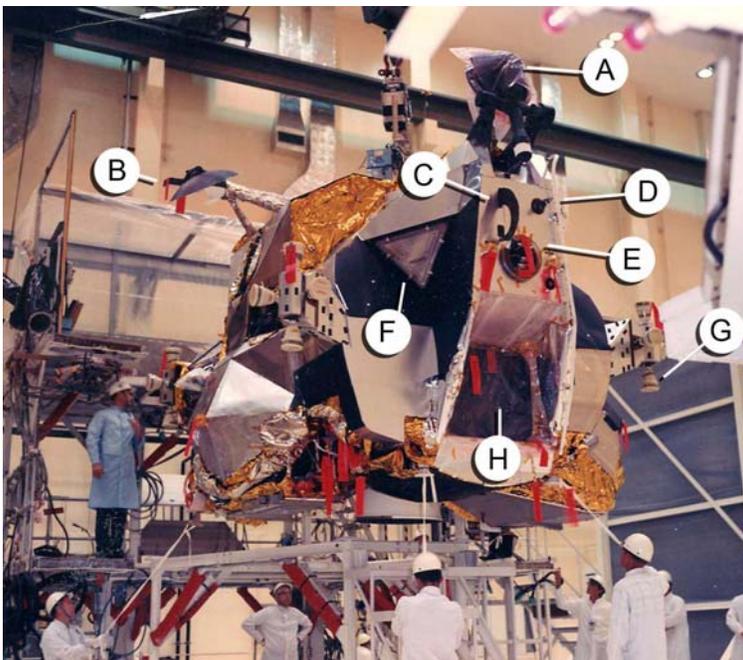
À gauche du compartiment cubique avant, se situe le premier compartiment triangulaire (**quadrant**). Dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, nous pouvons ainsi localiser les trois autres quadrants. Brièvement, le quadrant 1 contient une antenne S-Band. À partir d'Apollo 15, ce cadran contient à l'extérieur le véhicule lunaire (**LRV**). Le quadrant 2 contient les installations scientifiques et sous celui-ci, est fixé le radar d'alunissage (voir **A** sur la photo du bas). À partir d'Apollo 12, le quadrant 2 contiendra en plus, un réservoir à combustible radio-isotope thermoélectrique (voir le **RTG** et la **flèche blanche**). Le troisième quadrant contient un réservoir d'hélium super critique (22 kg) et un réservoir d'oxygène. Ce même quadrant contiendra une caméra UV (Apollo 16) et un appareil pour des tests sismiques (Apollo 17). Le quatrième quadrant, contient des collecteurs pour les échantillons lunaires et la caméra télévision qui est déployée lors d'une première sortie, grâce à une poignée située près du porche. Apollo 14 utilisera ce même quadrant afin d'entreposer le chariot lunaire (**MET**).



L'étage supérieur ou l'habitacle du module lunaire (LM) :

L'étage supérieur de 2.88 mètres de haut, est subdivisé verticalement en trois sections. Les deux premières sections sont considérées comme l'habitacle et consistent en une zone pour le pilotage du module lunaire et une section centrale. La section arrière est la baie d'équipement électrique et n'est pas accessible de l'intérieur. L'habitacle a 6.65 mètres cubes. Sa structure est en aluminium et certaines de ses attaches sont en titane. L'épaisseur de la paroi de l'habitacle est équivalente à trois feuilles d'aluminium superposé. Le poste de pilotage du commandant est à gauche et celui du pilote à droite. Les astronautes sont soutenus à l'aide d'harnais et sous leurs pieds, des bandes velcro favorisent une bonne prise.

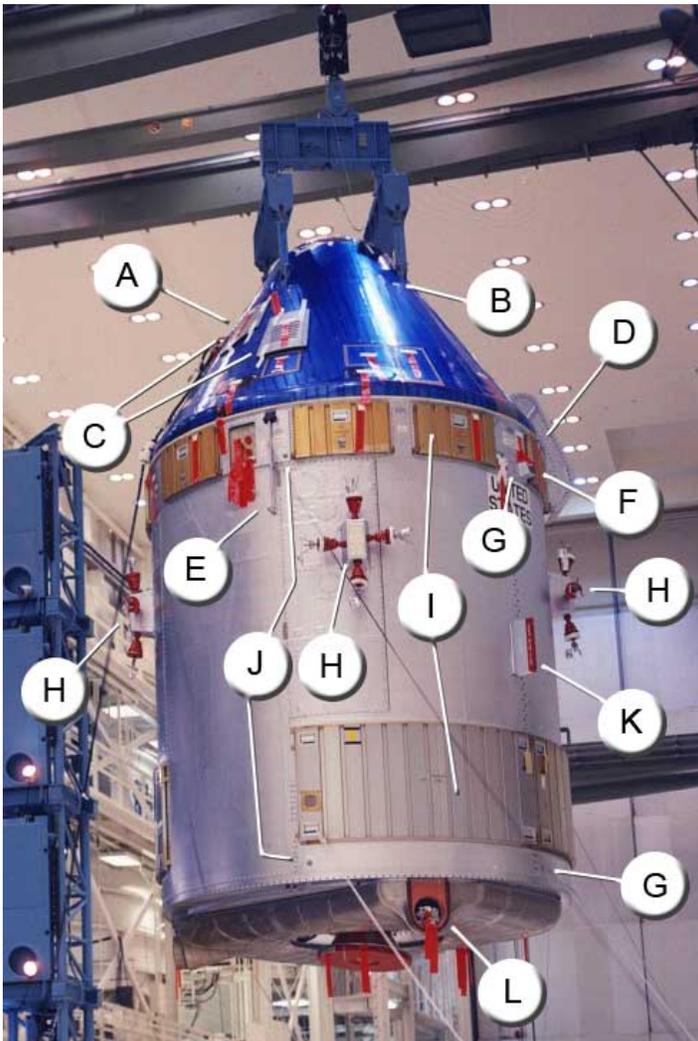
En avant des pilotes se trouvent les instruments de vols et au centre l'interface utilisateur **DSKY**, puis à leurs côtés des panneaux d'interrupteur. Les procédures sont effectuées grâce à des leviers de commande. Un peu plus vers l'arrière et sur les côtés, il y a des compartiments pour la nourriture, des manuels d'instructions, des collecteurs pour échantillons, des effets personnels, des caméras, l'ordinateur du module lunaire (**LMC**) et j'en passe. Au centre de l'habitacle se trouve la partie supérieure du propulseur d'ascension (**APS**) protégé par un couvercle. Le module lunaire possède deux écoutilles qui s'ouvrent vers l'intérieur et sont situées en haut (lors de l'arrimage) et sous le panneau de bord principal (pour les sorties lunaires). Deux hublots font face aux astronautes et un autre se situe au dessus du commandant pour faciliter l'arrimage. À l'extérieur du module lunaire, il y a des antennes pour le radar, les communications et pour les relais (marcheurs par l'intermédiaire du **CSM**). Une cible est fixée au dessus pour favoriser l'arrimage. Lors de la séparation des étages, un système de guillotines coupe les connexions entre les étages et un système de boulon explosif finalise la procédure de séparation. Capable d'une poussée de 1.6 tonne métrique, le propulseur d'ascension mène ainsi nos astronautes vers le rendez-vous. Des propulseurs latéraux d'attitudes sont utilisés lors du pilotage.



- A) Antenne radar
- B) Antenne S-Band orientable
- C) Antenne VHF scimitar
- D) Antenne S-Band
- E) Feu stroboscopique
- F) Hublot du pilote
- G) Propulseurs d'attitude (RCS)
- H) Écoutille avant

Le module de service et de commande (CSM) :

Mesurant à lui seul 3.91 mètres de diamètre par 10.67 mètres de long, pour un poids total de 30.33 tonnes métriques (selon la mission), le module de commande et de service ont été conçus par la firme North American Aviation à Downey (Californie). Intégrée à la fusée Saturn 5, la partie visible de ces modules ne mesure que 7.51 mètres de haut. Je vais me limiter à vous expliquer ce qui concerne la version dite BLOCK II, qui coïncide aux missions lunaires. Il y a entre le module de service et le module de commande un système ombilical permettant d'acheminer de l'électricité, de l'oxygène, de l'eau et d'eau glycol. À lui seul, le module de service occupe 80 % du poids par rapport au module de commande. Ces modules permettent une durée maximale de 14 jours et une vitesse autonome de 2804 mètres par seconde. Transporté de la Firme North American Aviation par le **Super Guppy**, les modules de service et de commande sont testés dans une chambre simulant le vide de l'espace, on assemble ces modules et on les dépose à l'aide d'un treuil, au-dessus du compartiment adaptateur du module lunaire. Le tout est transféré à l'édifice d'assemblage au centre spatial Kennedy.



- A) Écoutille latérale
- B) Fixation du système d'éjection d'urgence
- C) Hublot du pilote du module lunaire
- D) Système ombilical
- E) Projecteur de sortie extravéhiculaire
- F) Antenne de rendez-vous et transpondeur
- G) Feux de couleur ambre
- H) Propulseurs d'attitude (RCS)
- I) Radiateur du système réfrigérant
- J) Feux de couleur verts
- K) Antenne VHF scimitar
- L) Drain pour carburant

Le module de commande (CM) :

Le module de commande est en forme de cône et est un habitacle pour trois astronautes. Il mesure à lui seul, 3.39 mètres de haut par 3.91 mètres de diamètre à sa base, pour un poids de 5.61 tonnes métriques (Apollo 12). Intégré à la fusée Saturn 5, la partie visible de ce module ne mesure que 3.23 mètres de haut. Nous avons à la plus petite extrémité de ce cône, un système de capture d'arrimage et sous ce dernier, un tunnel d'arrimage entouré de 5 parachutes puis de trois ballons de flottaison (pour l'amerrissage). Lors de la rentrée atmosphérique, le cône abritant ces parachutes, est éjecté à 7 kilomètres d'altitude, permettant à ces derniers d'effectuer leur tâche. Au même instant, le système de propulsion est mis hors d'usage automatiquement. Un astronaute appuie sur un interrupteur permettant la vidange des combustibles.

Le compartiment interne (habitable) ressemble à un cône tronqué en aluminium avec le tunnel d'arrimage fixé au sommet. On enveloppe ce compartiment de nid d'abeille protecteur suivi de panneaux d'aluminium et de bandelette de mylar bleue. L'intérieur de cet habitacle offre 6.12 mètres cubes d'espace et est pressurisé à l'oxygène pur. Trois couchettes (celle du centre peut être enlevée) permettent aux astronautes de supporter les accélérations et les contrecoups lors de l'amerrissage. Une fois assis, les astronautes ont un panneau de contrôle principal en avant d'eux (une interface utilisateur **DSKY** s'y trouve) et des leviers de commande (fixé sur leurs couchettes) permettant de contrôler l'attitude du vaisseau. Cinq hublots leur offrent une vue sur l'extérieur, dont un faisant parti de l'écotille latérale, juste au dessus de l'astronaute du centre. Au pied de cet astronaute se trouve l'écotille permettant d'accéder au tunnel d'arrimage. Une fois le vaisseau arrimé, les astronautes passent par ce tunnel pour accéder au module lunaire.

Ce bijou technologique comporte bien des compartiments latéraux, des instruments et des composantes qui ont demandé un effort de miniaturisation. L'ordinateur du module de commande (**CMC**) est un bon exemple de miniaturisation, car il occupe très peu d'espace. Nous trouvons une autre interface utilisateur **DSKY** près du tunnel d'arrimage.

La base du module de commande est un bouclier thermique en nid d'abeille (lors de la rentrée atmosphérique) et abrite des propulseurs, du carburant... et j'en passe.



Le module de service (SM) :

Le module de service est un cylindre non pressurisé qui mesure à lui seul 7.44 mètres de haut par 3.91 mètres de diamètre, pour un poids de 23.18 tonnes métriques (Apollo 12). Intégré à la fusée Saturn 5, la partie visible de ce module ne mesure que 4.28 mètres de haut. Dans ce contexte, la partie non visible correspond à la tuyère du propulseur du module de service (**SPS**) qui mesure 2.95 mètres de haut pour un diamètre de 2.4 mètres à sa base. La structure de base de ce module a été conçue par la firme North American Aviation à Tulsa (Oklahoma)

La partie supérieure du module de service mesure 0.56 mètre de haut par 3.91 mètres de diamètre et est situé juste en dessous du module de commande. Il consiste principalement d'un système réfrigérant par l'utilisation de tuyaux d'eau glycol qui circule en permanence jusqu'à 8 grilles perforées (parois extérieures). Un système de tension en acier inoxydable permettant au module de commande d'être séparé en temps voulu s'y trouve également. Dans cette section, un enchevêtrement de fils électriques parcourt sa surface.

La partie médiane consiste à une section cylindrique au centre et six secteurs partant de cette section centrale (comme des pointes de tartes). Coupez un pamplemousse en deux, c'est à peu près ce qui s'approche le plus de cela. Nous comptons deux secteurs de 50 degrés (1 et 4), deux secteurs de 60 degrés (3 et 6) et deux secteurs de 70 degrés (2 et 5). Le secteur 1 normalement inoccupé, fût spécialement aménagé à partir d'Apollo 15 pour contenir des instruments scientifiques et un mini satellite. Les secteurs 2 et 3 contiennent un réservoir de peroxyde d'azote (N_2O_4). Le secteur 4 contient deux réservoirs d'oxygène, 3 piles à combustible et 2 réservoirs d'hydrogène. Les secteurs 5 et 6 contiennent un réservoir à mélanges égaux, d'hydrazine et de diméthylhydrazine dissymétrique.

Des propulseurs d'attitude (**RCS**) sont fixés sur les parois extérieures des secteurs 6 (quadrant A), 2 (quadrant B), 3 (quadrant C) et 5 (quadrant D) et ont dans leurs secteurs respectifs des réservoirs de carburant.



Sur la photo de gauche, nous voyons le propulseur **SPS** à la base du module de service

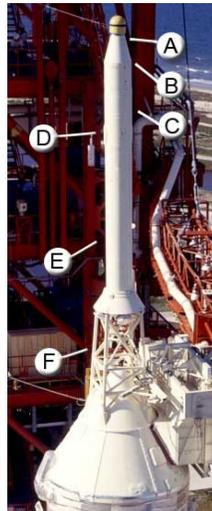
Sur celle de droite, nous voyons l'antenne S-Band fixée à la base du module de service

Le système d'éjection d'urgence (LES) :

D'une dimension de 10.06 mètres de haut et d'un poids de 3.63 tonnes métrique, ce système permet au module de commande d'être éjecté à raison d'un demi-kilomètre à la seconde, et ce hors de tout danger potentiel. Nous avons à la base de ce système d'éjection d'urgence, une coquille thermique de 317.21 kilogrammes, en résine, nid d'abeille protecteur et fibre de verre mesurant 3.35 mètres de haut par 3.96 mètres de diamètre, recouvrant totalement le module de commande afin de le protéger contre les gaz d'échappement du système d'éjection d'urgence et de la chaleur provoquée lors du lancement. Sur cette structure il y a une écrouille dotée d'un hublot de 20.32 centimètres de diamètre (un autre hublot est situé vis-à-vis le hublot de rendez-vous de gauche).

Au sommet de cette coquille thermique est fixé une tour mesurant à elle seule 3.5 mètres de hauteur pour 0.37 mètres cubes à sa base et 0.28 mètres cubes au sommet, constitué de tube en titane de 6.35 à 8.89 centimètres de diamètre, recouvert d'une couche isolante. Un système de boulons explosifs, fixé au sommet du module de commande, permet de libérer le système d'éjection d'urgence en temps normal (soit 30 secondes après l'allumage du deuxième étage de la fusée Saturn 5). À l'opposé, ce système peut être utilisé automatiquement dans les 100 premières secondes de la mise à feu grâce à un système de détection des urgences (il faut qu'un interrupteur soit sur détection automatique des urgences pour cela). Au-delà des 100 premières secondes, une intervention manuelle est possible jusqu'à abandon normal du système.

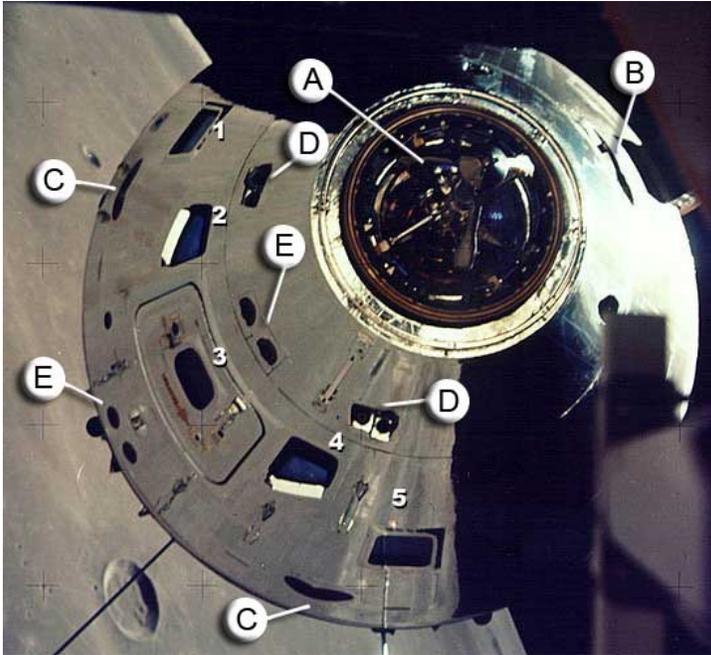
Au-dessus de la tour est fixée une fusée propulsive mesurant 7.17 mètres de hauteur. Elle comporte à sa base, un propulseur d'éjection offrant au moins 66.68 tonnes métriques de poussées. Près du sommet, un propulseur de libération du système d'éjection d'urgence génère 14.29 tonnes métriques de poussées à la seconde. Juste au-dessus, un propulseur de tangage offre 2.17 tonnes métriques de poussées. À titre de carburant, tous ces propulseurs utilisent un composé de polysulfides. Au-dessus du propulseur de tangage sont fixés deux volets de 1.22 mètre de long permettant d'orienter adéquatement le module de commande en situation d'urgence seulement. La pointe contient un dispositif barométrique (**Q-BALL**) qui informe les astronautes des écarts propulsifs ou d'angle d'attaque.



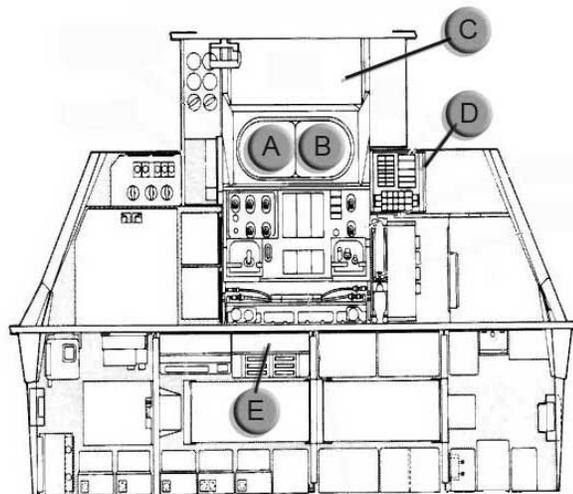
Sur la photo de gauche, nous voyons les panneaux de la coquille thermique et la tour

- A) Dispositif barométrique portant le nom de **Q-BALL**
- B) Volets
- C) Propulseur de tangage
- D) Propulseur de libération du système d'éjection d'urgence
- E) Propulseur d'éjection et ses tuyères à la base de la fusée propulsive
- F) Tour

Diagrammes explicatifs complémentaires - CM :



- 1) Hublot latéral de gauche (CDR)
- 2) Hublot de rendez-vous de gauche (CDR)
- 3) Hublot et écoutille latérale (CMP)
- 4) Hublot de rendez-vous de droite (LMP)
- 5) Hublot latéral de droite (LMP)
- A) Écoutille avant et système de capture d'arrimage
- B) Sextant et télescope
- C) Propulseur de roulis
- D) Fixation du système d'éjection d'urgence
- E) Propulseur de tangage



Vue de coupe du compartiment interne du module de commande (Partie en rouge)

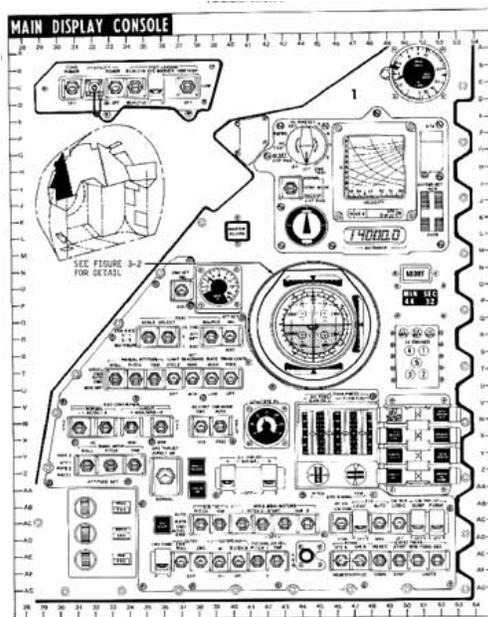
- A) Sextant
- B) Télescope
- C) Tunnel d'arrimage
- D) Interface utilisateur **DSKY** à la droite du sextant et du télescope
- E) Ordinateur du module de commande (**CMC**)

Diagrammes explicatifs complémentaires - CM (suite) :

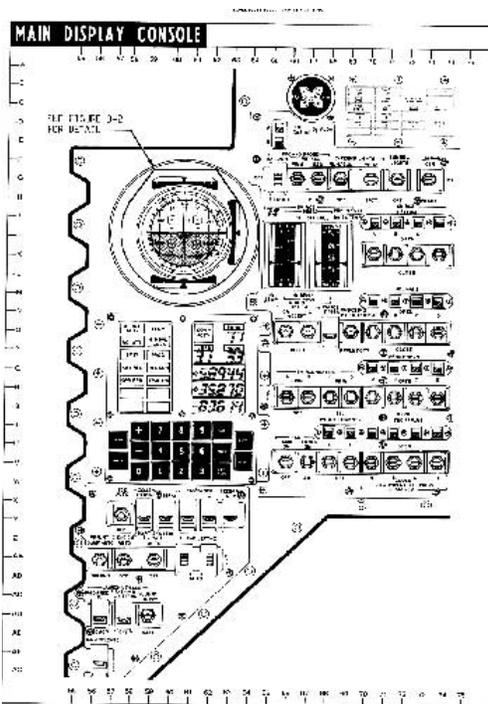


Il y a une interface utilisateur **DSKY** sur le panneau principal (première photo en haut à gauche). Une autre interface se situe à la droite du télescope (voir les deux autres photos).

Diagrammes explicatifs complémentaires - CM (suite) :

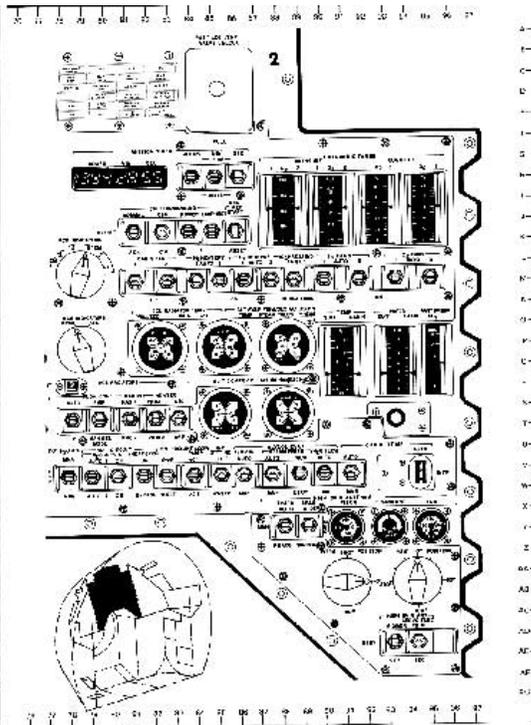


Panneau 1 : fait face au commandant de mission (CDR)

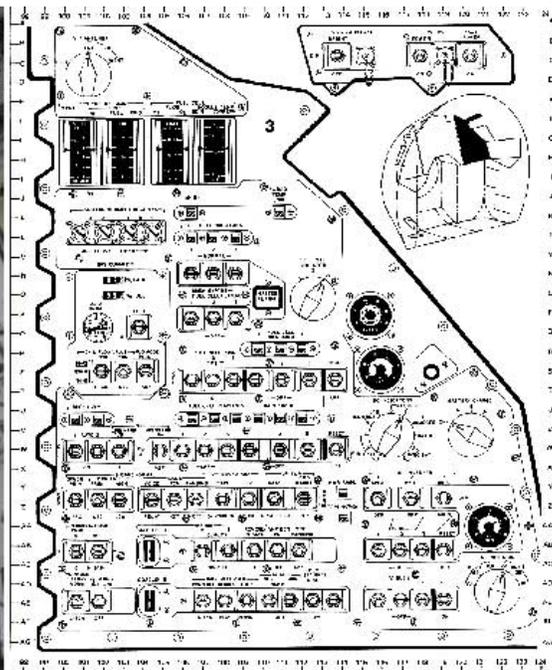


Panneau 2 : est à droite du panneau 1 et en face du commandant du module de commande (CMP). En bas et à droite est situé le tunnel d'arrimage (une des interfaces utilisateur DSKY est représentée ici)

Diagrammes explicatifs complémentaires - CM (suite) :

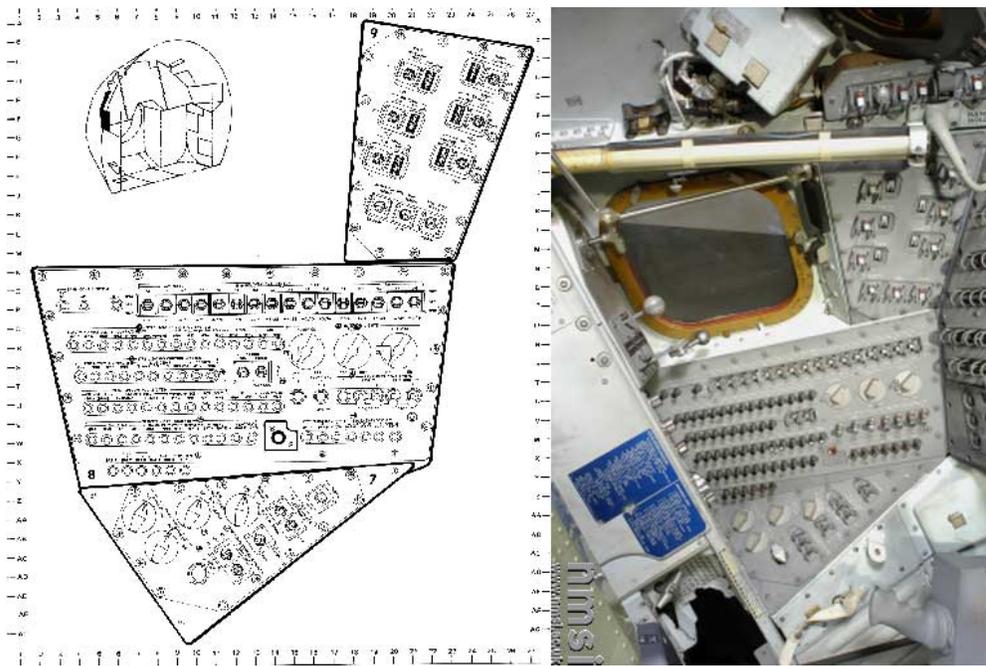


Panneau 2 (suite) : en bas à gauche est situé le tunnel d'arrimage

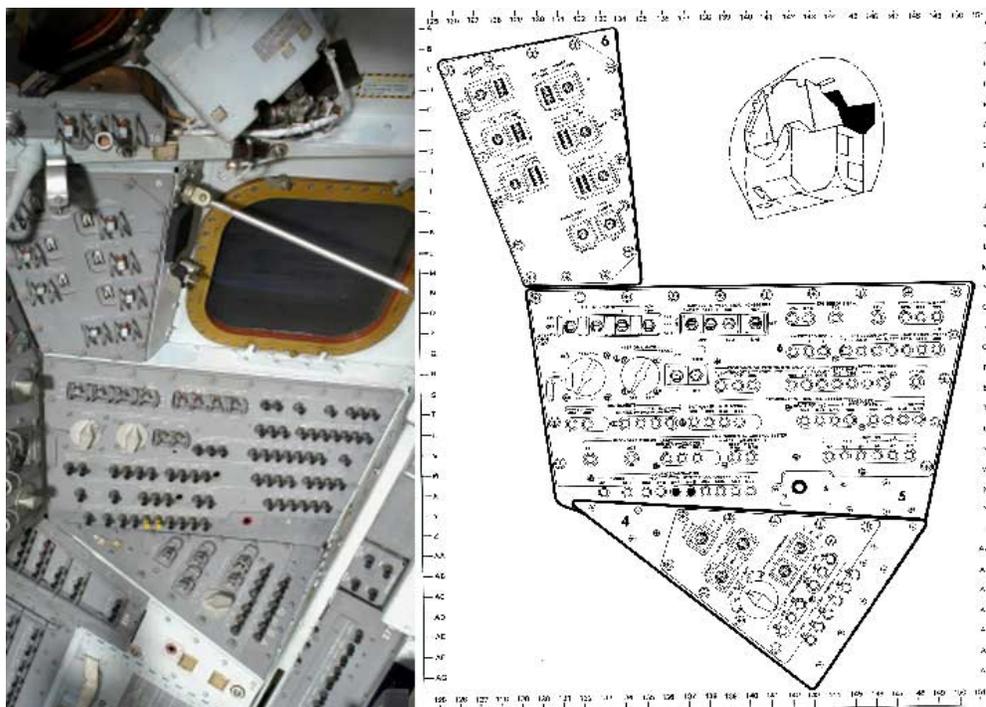


Panneau 3 : est à droite du **panneau 2** et en face du pilote du module lunaire (**LMP**)

Diagrammes explicatifs complémentaires - CM (suite) :

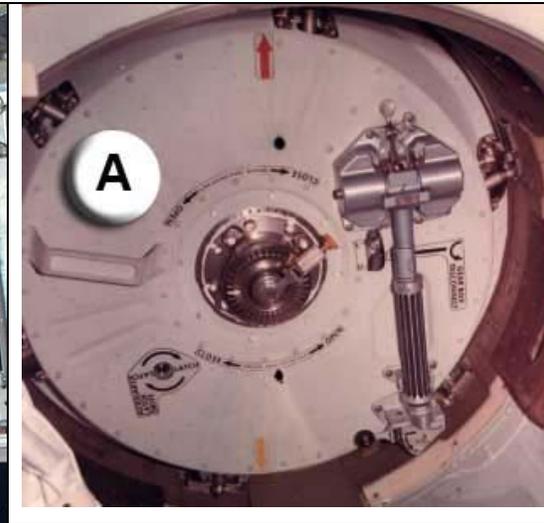
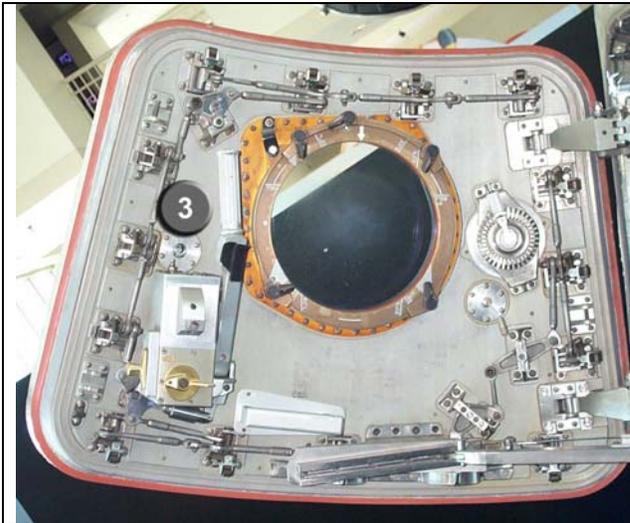
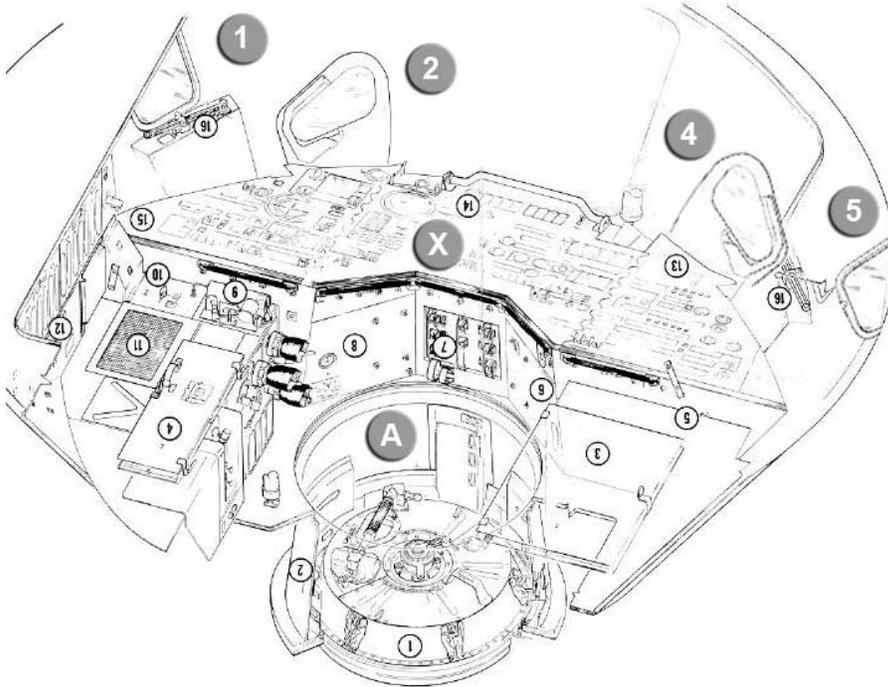


Panneaux 7,8 et 9 : sont à gauche du **panneau 1** et à gauche du commandant de mission (CDR)



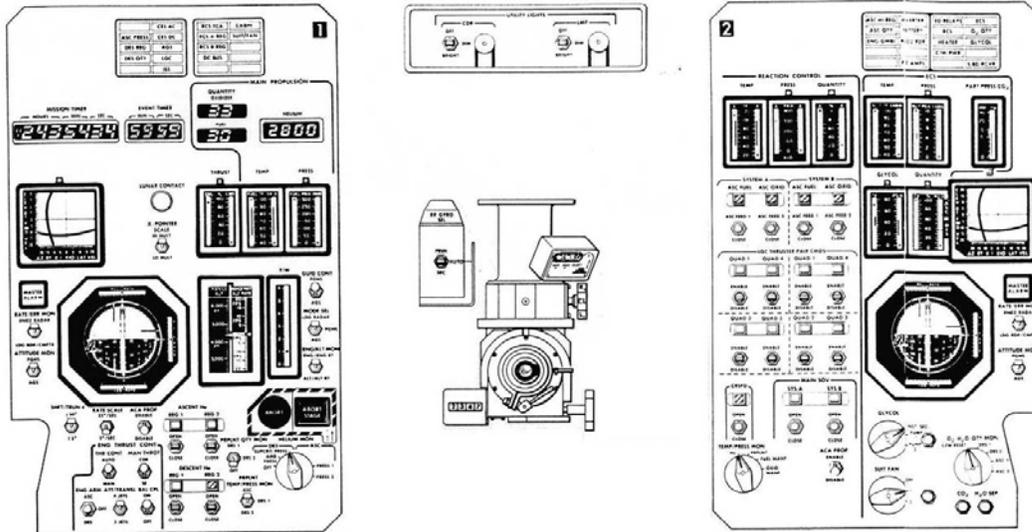
Panneaux 4,5 et 6 : sont à droite du **panneau 3** et à droite du pilote du module lunaire (LMP)

Diagrammes explicatifs complémentaires - CM (suite) :



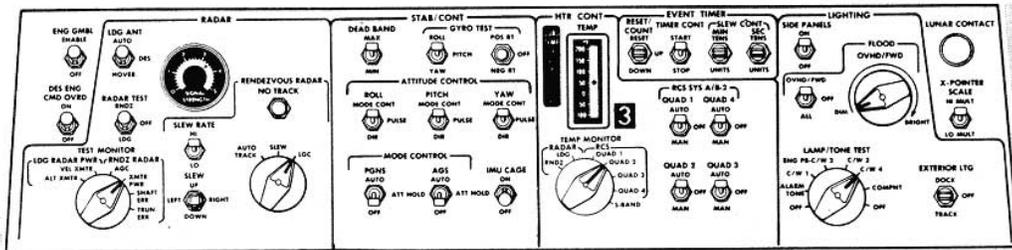
- 1) Hublot latéral de gauche du commandant de mission (**CDR**)
- 2) Hublot de rendez-vous de gauche du commandant de mission (**CDR**)
- 3) Hublot de l'écotille latérale au dessus de la tête du commandant du module de commande (**CMP**)
- 4) Hublot de rendez-vous de droite du pilote du module lunaire (**LMP**)
- 5) Hublot latéral de droite du pilote du module lunaire (**LMP**)
- A) Écotille avant pour donner accès au tunnel d'arrimage
- X) Interface utilisateur **DSKY** sur le panneau principal (à gauche du X)

Diagrammes explicatifs complémentaires - LM :



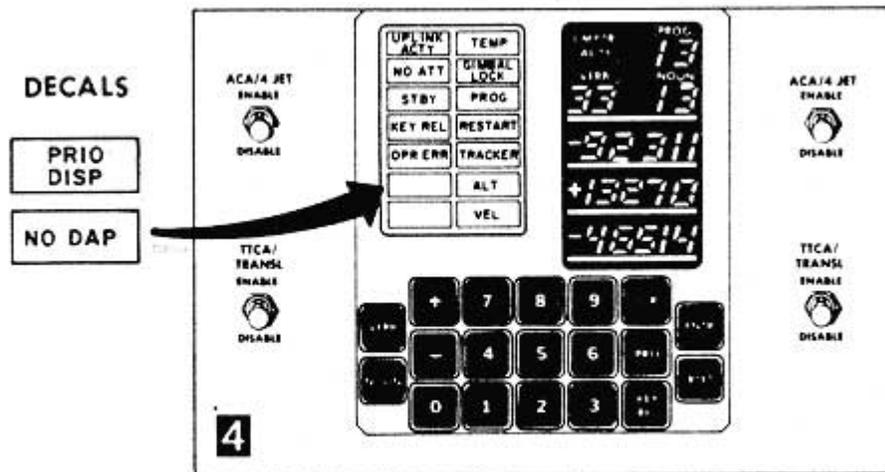
Panneau 1 et 2 : ils sont en avant des marcheurs lunaires et concernent les principaux instruments de navigation du module lunaire (nous voyons une partie du télescope avec sa structure jaune en haut de la photo). Sur le **panneau 1**, nous trouvons les boutons **ABORT** et **ABORT STAGE**, le bouton d'alarme, les contrôles sur les propulseurs d'ascension et de descente et le fameux voyant lumineux de contact. Sur le **panneau 2**, nous trouvons entre autres, les contrôles sur les propulseurs d'attitude.

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :



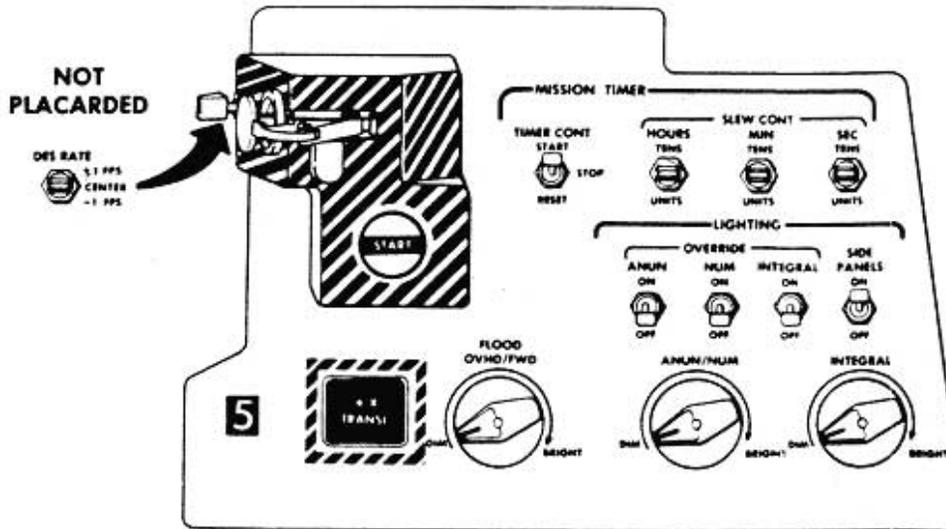
Panneau 3 : il est juste en dessus des **panneaux 1 et 2**, et concerne le radar, les contrôles d'attitude, les moniteurs sur les températures des quadrants de l'étage inférieur, les minuteries d'évènement, le contrôle d'éclairage puis le voyant lumineux de contact. Nous pouvons ainsi situer l'interface utilisateur **DSKY** à la base de ce panneau permettant un accès facile à l'utilisation.

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :



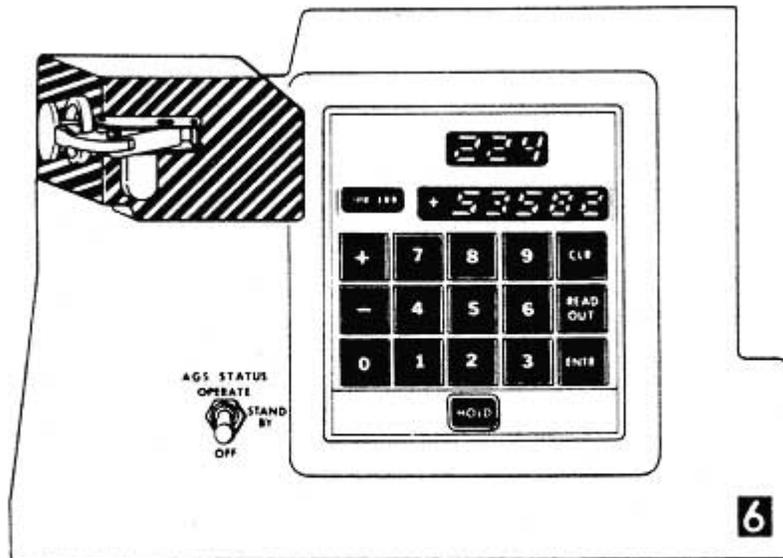
Panneau 4 : voici l'interface utilisateur **DSKY** qui facilite entre autres les procédures d'alunissage.

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :



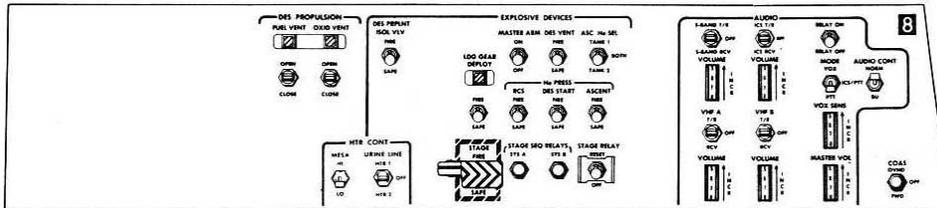
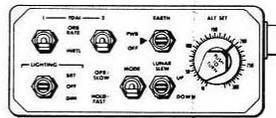
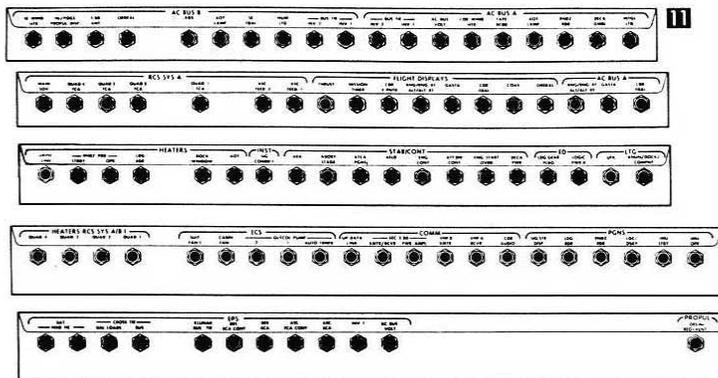
Panneau 5 : il est juste en face du commandant de mission et concerne les minuteries d'évènement, le contrôle d'éclairage, un bouton de démarrage et d'arrêt puis d'un bouton (-X TRANS) concernant le lacet en mode translation.

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :



Panneau 6 : il est juste en face du pilote du module lunaire, et concerne une interface permettant d'afficher les **statuts de l'ordinateur** du module lunaire (**CMC**) et de saisir certains nombres affectant les registres de données de l'ordinateur.

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :

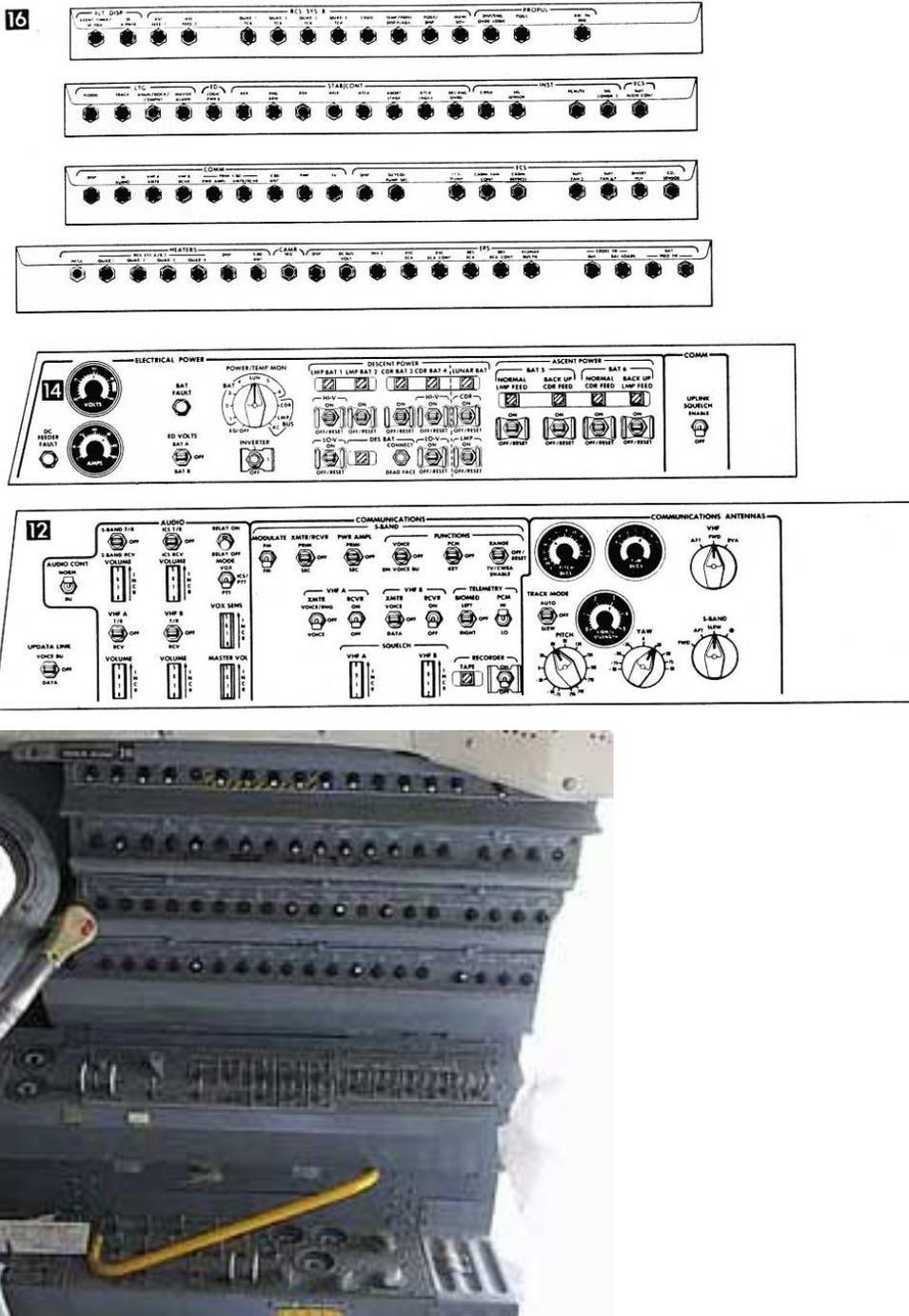


Panneau 11 : consiste à des disjoncteurs (à la gauche du commandant de mission (CDR))

Panneau des Ratios orbitaux : un peu plus bas et vers la gauche

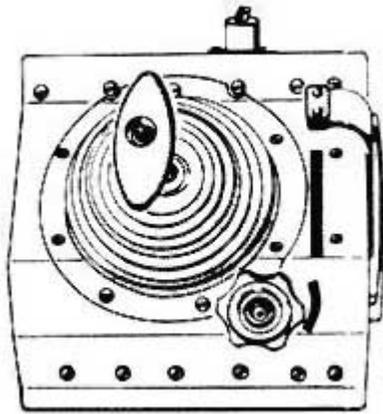
Panneau 8 : il concerne la propulsion, le contrôle des charges explosives (séparation des étages) et les communications radio

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :



Panneaux 16 (en haut), 14 (centre) et 12 (bas) : ils sont à la droite du pilote du module lunaire et sont dédiés respectivement aux disjoncteurs, aux contrôles des sources électriques (ascension, descente...), et finalement aux communications (audio, radar, télémétrie, contrôle des antennes de transmissions)

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :

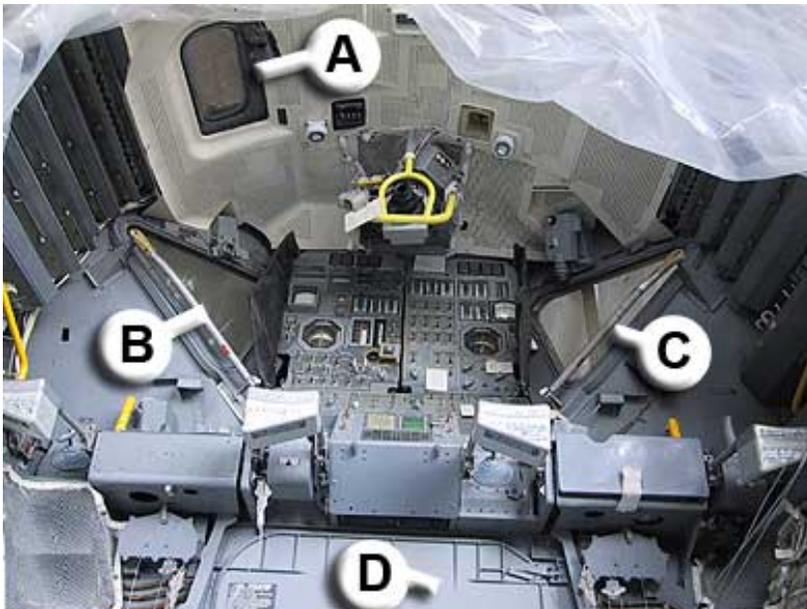


Chacun des astronautes, a accès à une manette à leur gauche qui est un contrôle des attitudes en translation et contrôle les propulseurs principaux d'ascension ou de descente (photo de gauche). La photo du centre représente une fixation pour les harnais qui permet de soutenir les astronautes qui se tiennent debout lors de la navigation. La première photo est la manette de contrôle d'attitude en rotation qui est à la droite de chacun des astronautes.

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :

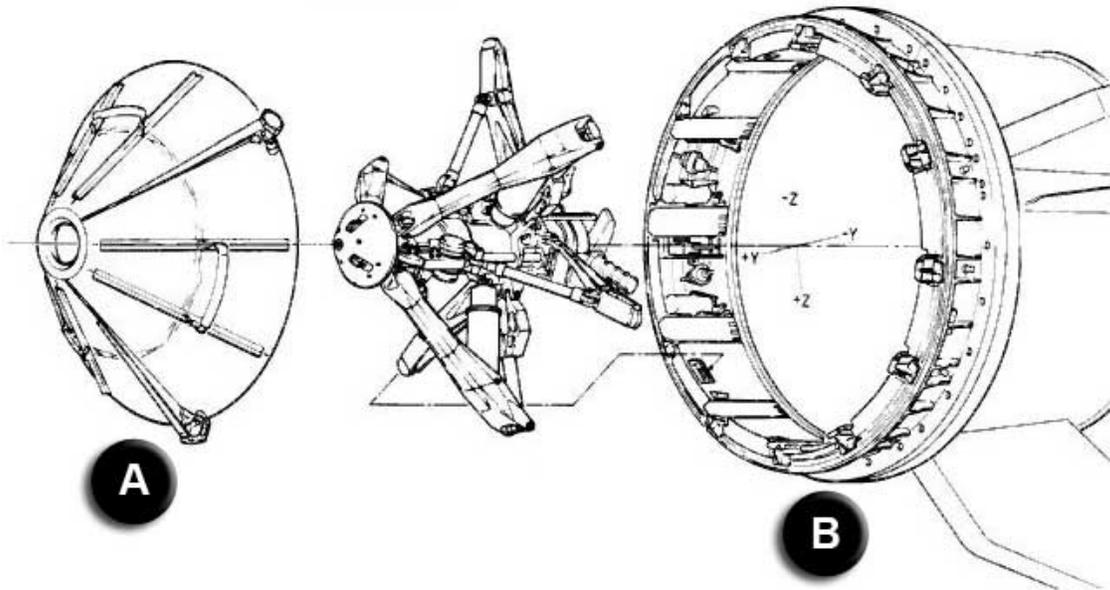


L'écotille permettant aux marcheurs lunaires d'accéder à la lune, se situe en dessous de l'interface utilisateur **DSKY**. Elle s'ouvre vers l'intérieur et vers la droite, pour des raisons de sécurité, car la pression interne de l'habitacle exerce une pression sur cette dernière. Au haut de l'habitacle et vers son centre se trouve l'écotille d'arrimage qui s'ouvre vers l'intérieur également (pour les mêmes raisons de sécurité).

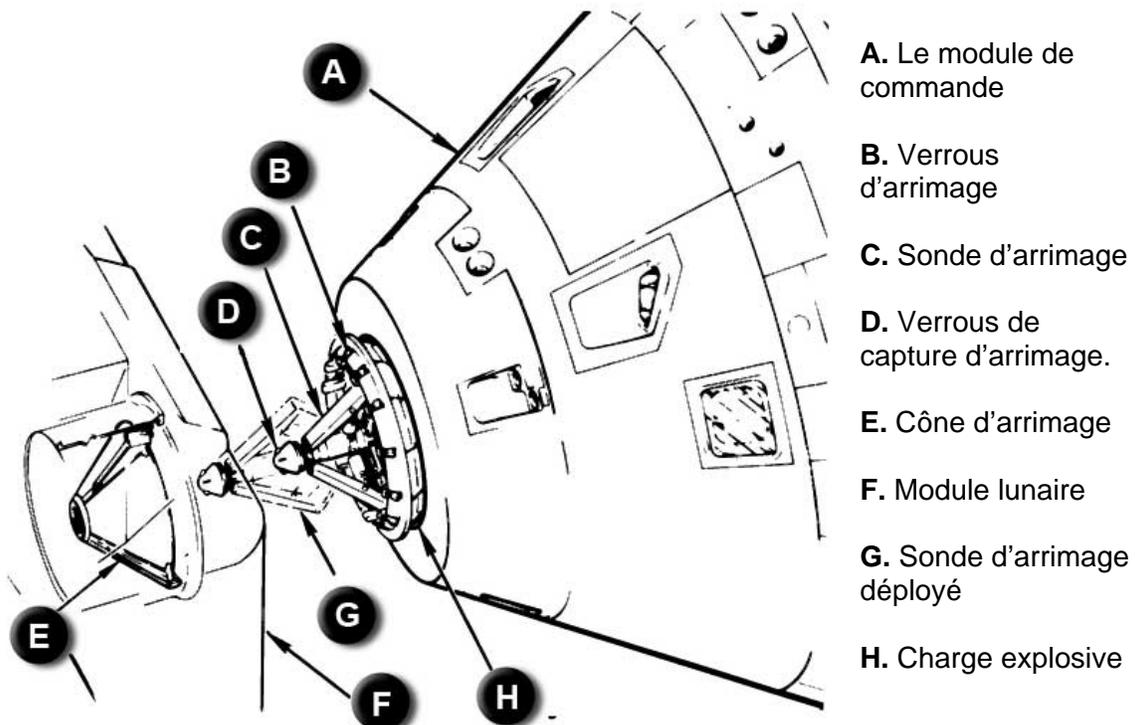


- A. Hublot d'arrimage au dessus du poste de pilotage du commandant de mission (**CDR**)
- B. Hublot en face du commandant de mission
- C. Hublot en face du pilote du module lunaire (**LMP**)
- D. Écotille pour les sorties lunaires (juste au-dessus, il y a le **DSKY**)

Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite) :

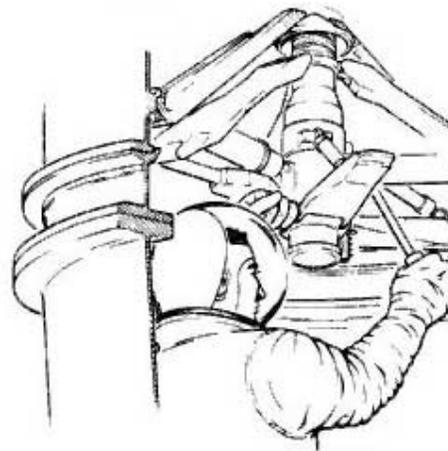


Voici le système d'arrimage permettant au module de commande et au module lunaire de se coupler. Le cône d'arrimage (A) se fixe juste au dessus de l'écouille d'arrimage du module lunaire. La sonde d'arrimage que l'on voit au centre de ce diagramme, se fixe sur la partie supérieure du tunnel d'arrimage du module de commande (B).



Diagrammes explicatifs complémentaires – LM (suite):

La manœuvre d'arrimage s'effectue lorsque le module de commande extrait le module lunaire de son compartiment adaptateur puis lorsque le module lunaire effectue un rendez-vous en orbite lunaire. Dans le premier cas, le module lunaire est passif tandis que dans l'autre cas, c'est au tour du module de commande de jouer ce rôle. L'astronaute effectuant l'arrimage utilise une lunette de visée (**COAS**) pour l'assister dans cette tâche (première photo). À l'aide de cette lunette, il vise une cible d'arrimage qui est fixée sur le module lunaire (deuxième photo). Cette lunette peut être fixée sur la plupart des hublots de ces deux vaisseaux, car des fixations sont présentes à cet effet.



Avant toute chose, le commandant du module de commande doit rétracter la sonde d'arrimage à l'aide de l'interrupteur **DOCKING PROBE RETRACT** du **panneau 2**. La manœuvre d'arrimage consiste à insérer la tête de la sonde d'arrimage dans l'orifice central du cône d'arrimage. Ainsi, les verrous de capture effectuent la première étape. Dès lors, le commandant du module de commande, actionne l'interrupteur **DOCKING PROBE EXT/REL** du **panneau 2** permettant de déployer la sonde et de joindre adéquatement les deux vaisseaux. Un bruit familier se fait entendre, comme dans le film Apollo 13. Si les **fanions de capture A et B** sont gris, c'est que les verrous d'arrimage sont actionnés. Cet astronaute doit bien sûr rétracter la sonde avant de l'enlever. Il doit équilibrer la pression entre le module lunaire et le module de commande à l'aide d'une valve et connecter les deux ombilicaux électriques pour fournir de l'énergie au module lunaire.

Il enlève l'écotille permettant d'accéder au tunnel d'arrimage. Il vérifie si au moins 3 des 12 verrous d'arrimage sont adéquatement en place. Dans le cas échéant, les verrous sont actionnés manuellement. Il enlève la sonde d'arrimage grâce à la poignée (voir le diagramme ci-dessus), permettant de libérer les verrous de capture (sur la tête de la sonde). Il enlève le cône d'arrimage et actionne une valve sur l'écotille d'arrimage du module lunaire afin d'équilibrer la pression entre les deux vaisseaux. Finalement, il ouvre l'écotille d'arrimage du module lunaire afin d'accéder au module lunaire.

Montage des vaisseaux Apollo :

La fabrication des vaisseaux Apollo a exigé maints efforts afin de garantir un haut niveau de fiabilité et de qualité. La plupart des outils et environnement de travail ont été conçus spécialement pour ces vaisseaux. L'étage des vaisseaux Apollo a été conçu entièrement par la North American Aviation à l'exception du module lunaire.

À Downey (Californie) sont situées diverses aires de travail, dont une immense chambre de 1274.26 mètres cubes exempte de poussière. Les premières étapes permettant de construire le module de commande sont les suivantes :

- Constitution du compartiment interne en aluminium et nid d'abeille protecteur (**première ci-dessous**)
- Constitution des 3 sections du bouclier thermique en acier inoxydable nid d'abeille protectrice (section avant, section concernant l'habitable et section arrière) (**deuxième photo ci-dessous**)
- On s'assure de la fiabilité des boucliers thermiques grâce au rayon X.
- On installe des bandes d'aluminium dont l'épaisseur est similaire à une bande magnétique que l'on retrouve dans une cassette vidéo.
- On fusionne le tout dans un immense autoclave (**troisième photo ci-dessous**)

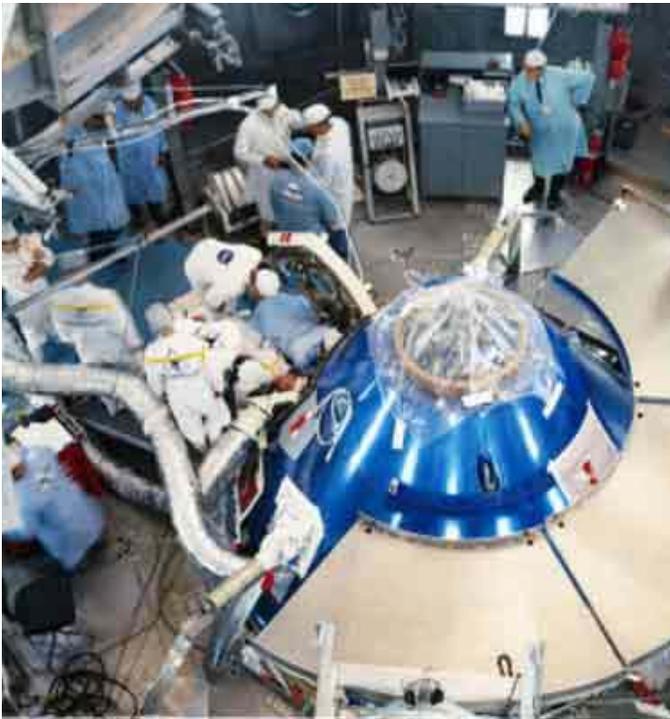


Une fois ces étapes complétées, on installe le module de commande sur un support spécialement conçu pour le nettoyer des poussières et particules indésirables. On transfère ainsi ce module, dans une chambre exempte de poussière. Les employés qui y travaillent, doivent passer sous une douche d'air, enfiler des vêtements spéciaux puis repasser sous une douche d'air avant d'y accéder. C'est à cet endroit que l'on installe les sous-systèmes permettant de compléter la fabrication. Un officier militaire est dédié à surveiller le personnel qui entre dans le module de commande. On transfère le module complété dans une autre section de cette salle afin de passer les tests finaux.

Le module de service étant grossièrement assemblé à Tulsa (Oklahoma), suit les mêmes étapes que le module de commande. On installera ainsi les gros réservoirs de carburant de ce module dans la chambre exempte de poussière. On vérifie entre autres si ce module s'intègre adéquatement au module de commande.

Montage des vaisseaux Apollo (suite) :

On transporte séparément le module de commande et de service au centre spatial Kennedy. On effectue d'autres tests et on refait un bon nettoyage. On fusionne ainsi ces deux modules dans une chambre simulant le vide de l'espace (*première photo ci-dessous*). Dans cette même chambre, les astronautes effectuent des tests pour s'assurer de la fiabilité du vaisseau. Ces tests peuvent s'échelonner sur plusieurs jours consécutifs, car il est important de vérifier si les astronautes sont capables d'opérer dans diverses situations telles une fuite de l'habitacle qui engendre une décompression soudaine. On évalue également le comportement des astronautes dans ce laps de temps. Les premiers essais dans une chambre simulant l'espace, ont permis de constater qu'il était possible pour trois astronautes de cohabiter pendant au moins une semaine sans mettre le nez dehors.



On installe le **CSM** sur un support spécialement conçu afin d'ajouter le propulseur principal (*deuxième photo ci-dessus*).

Montage des vaisseaux Apollo (suite) :

Préalablement, le module lunaire est installé dans son compartiment adaptateur.



Ainsi, on installe au dessus de ce compartiment le **CSM**. On enveloppe l'étage des vaisseaux Apollo d'un tissu protecteur avant de le transporter dans l'édifice d'assemblage (**VAB**).

