

Réaliser la mission APOLLO 11 de A à Z

Avec Project Apollo 6.4.3 et IMFD 4.6

Par PAPYREF

Juin 2007

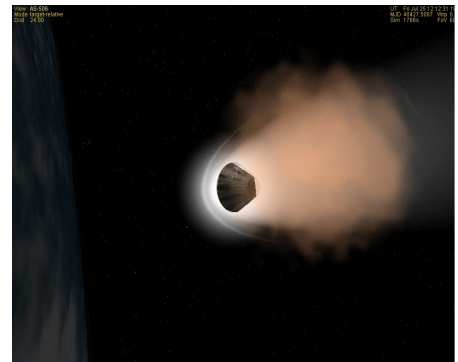
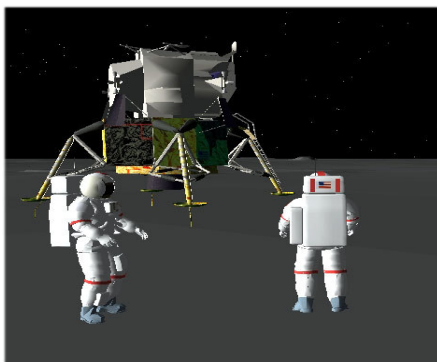
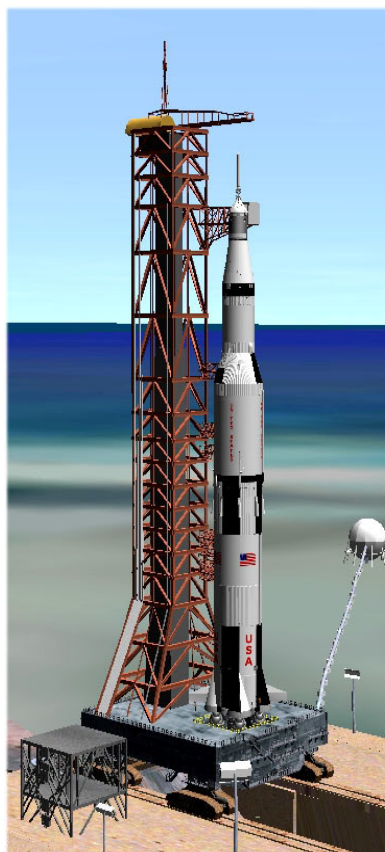
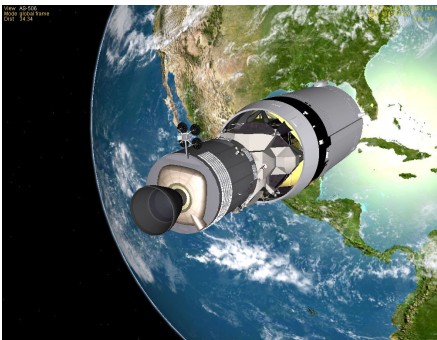


Table des matières

0 – INTRODUCTION	Page 3
1 – SCENARIO DE DEPART ET PLANNING.....	Page 4
2 – LANCEMENT.....	Page 5
3 – MISE SUR ORBITE DE TRANSFERT.....	Page 6
4 – RETOURNEMENT ET DOCKING.....	Page 12
5 – LARGAGE DE SATURN	Page 20
6 – CORRECTIONS DE LA TRAJECTOIRE.....	Page 20
7 – MISE EN ORBITE LUNAIRE.....	Page 24
8 – DESCENTE DU LEM.....	Page 28
9 – SORTIE SUR LA LUNE (EVA).....	Page 40
10 – REMONTEE ET RENDEZ-VOUS AVEC LE CSM.....	Page 41
11- RETOUR VERS LA TERRE	Page 55
12 – LARGAGE DU SM ET ATTERRISSAGE.....	Page 61

0 – INTRODUCTION

REMERCIEMENTS

Les Add-ons utilisés pour ce tutorial sont les suivants

Project Apollo - NASSP for Orbiter 2006 Edition, dans sa version 6.4.3

Sur site <http://sourceforge.net/projects/nassp/> section Download

ENHANCEMENT PACK (NEP) de Rodion Herrera

Sur site <http://sourceforge.net/projects/nassp/> section Download

Optionnel, il sert à améliorer les textures pour NASSP

IMFD version 4.6 de Jarmo Nikkanen

Sur site <http://koti.mbnet.fi/jarmonik/Orbiter.html>

LunarlandingMFD de Chris Knestrick

Fichier Lunarlandingmfd-040323-1.zip sur site <http://www.avsim.com/>

LandMFD dr LazyD

http://www.aovi93.dsl.pipex.com/others_addons/LandMFD0514.zip

Je remercie les auteurs pour leur travail et tout particulièrement Joe_Bar le génial créateur du NASSP original

Ce tutorial suppose que vous savez utiliser correctement les MFD standards d'Orbiter, le tableau de bord d'Apollo et du LEM ainsi que IMFD.

Si ce n'est pas le cas vous ne pourrez pas accomplir la mission.

Vous trouverez ce qui vous est nécessaire de savoir dans les tutoriaux inclus dans le forum traitant des différents sujets évoqués ci-dessus

J'ai utilisé IMFD version 4.6 pour ce tutorial mais vous pourriez utiliser tout autre calculateur comme TransX pour la navigation.

J'ai essayé d'être rigoureux pour cette mission et d'exclure toutes les manœuvres "à l'intuition" qui ne sont pas très astronautiques pour utiliser uniquement des calculateurs et instruments.

J'ai proscrit la tricherie sur le carburant et essayé de respecter le plan de vol de la NASA.

Attention il ne faut pas utiliser la possibilité "carburant illimité" qui fausse toute la dynamique de vol. C'est mauvais dans tous les cas d'utilisation

Ce tutorial décrit pas à pas les procédures à suivre mais il reste un guide pour la mission et ne vous donnera pas une solution toute faite. A vous de réfléchir et progresser en refaisant des essais en cours de déroulement.

Sauvegardez aux moments importants pour pouvoir recommencer.

Pour faciliter votre tâche d'entraînement, je joins au package les scénarios correspondants aux différentes étapes clés de la mission et vous pourrez les reprendre à loisir. Vous y trouverez également un zip qui permet d'ajouter sur Map les sites d'amerrissage de retour.

Ensuite quand vous serez expert vous pourrez réaliser votre propre mission complète. Soyez patient....

Si je l'ai fait, vous pouvez le faire !

J'espère que ça vous plaira ? En tout cas moi je me suis bien amusé !
Bonne mission !

PAPYREF Juin 2007

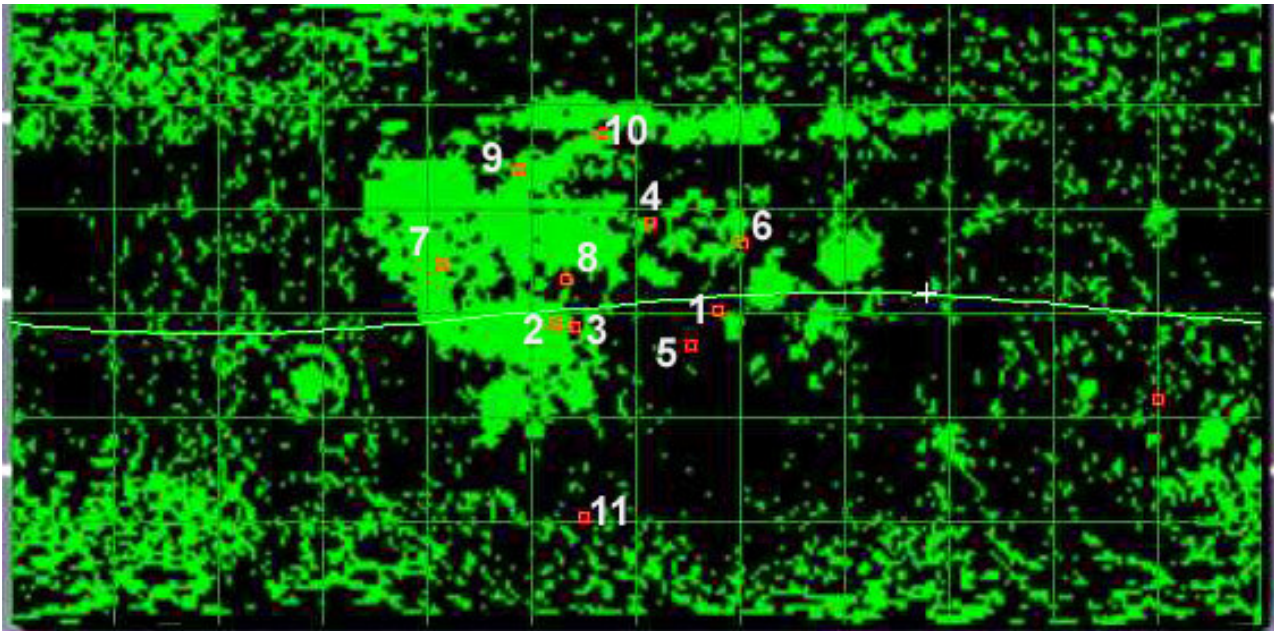
1 – SCENARIO DE DEPART ET PLANNING

Nous partirons du scénario AS-506_Apollo 11 Launch du dossier Project Apollo

L'atterrissage doit se faire sur la mer de la Tranquillité en un point très proche de l'équateur lunaire

La carte du MFD Map de la Lune situe les différents points d'atterrissage possibles sur la Lune

Remarquez que les points 9, 10 et 11 situent l'emplacement de Brighton Beach utilisé dans les scénarios Orbiter, de la base Clavius de 2001 et de la Moon Base Alpha de l'add-on Cosmos 99 et ne correspondent pas à un point pour une mission Apollo



	Nom de la base	Mission	Longitude	Latitude	Départ Terre	Alunissage	Retour Terre
1	Tranquility-Base	Apollo 11	23,43°E	00,69°N	16/07/69	20/07/69	24/07/69
2	Oceanus Procellaru	Apollo 12	23,41°W	3,01°S	14/11/69	19/11/69	24/11/69
	Prévu Fra Mauro	Apollo 13	17,47°W	03,65°S	11/04/70	annulé	17/04/70
3	Fra Mauro Base	Apollo 14	17,47°W	03,65°S	31/01/71	05/02/71	09/02/71
4	Hadley-Apennine	Apollo 15	03,63°E	26,13°N	26/07/71	30/07/71	07/08/71
5	Descartes	Apollo 16	15,50°E	08,97°S	16/04/72	20/04/72	27/04/72
6	Taurus Littrow	Apollo 17	30,77°E	20,19°N	07/12/72	11/12/72	19/12/72
7	Marius Hills	Apollo 18	55,56°W	14,25°N	annulé		
8	Copernicus	Apollo 19	19,99°W	09,67°N	annulé		
8	Copernicus	Apollo 20	19,99°W	09,67°N	annulé		
9	Brighton Beach		33,44°W	41,13°N			
10	Clavius Base		15,00°W	59,00°S			
11	Moonbase Alpha		10,00°W	52,00°N			

Le but est de réaliser la mission si possible dans le timing prévu et en utilisant au mieux le carburant dont on dispose.

Il ne faut pas tricher en reprenant du carburant, c'est l'intérêt de la mission qui impose une gestion serrée des ressources à laquelle il faut s'astreindre.

Si vous dites que c'est facile et sans utiliser un calculateur c'est que vous ne respecter pas les horaires et les consommations et que vous vous posez n'importe ou !!!

La mission réelle s'est déroulée avec le timing et les dates clés suivantes :

Date et heure GMT	T écoulé (h:mn:s)	MJD	Phase
16/07/1969 13h32mn	0	40418.563	Lancement
	000:11:49		Mise en orbite réalisée
16/07/1969 16h16mn	002:44:16	40418.676	Allumage pour injection vers la Lune (TLE)
	003:15:23		Extraction du CSM* pour arrimage du LEM
	004:17:03		L'ensemble CSM+LEM est détaché de SIVB
	026:44:58		1 ^{ère} correction si nécessaire
	060:00:00		2 ^{ème} correction si nécessaire
20/07/1969 03h21mn	085:49:50	40422.139	Insertion en orbite lunaire
20/07/1969 17h44mn	100:12:00		Séparation du LEM
20/07/1969 18h08mn	101:36:14		Freinage pour abaisser le PeD du LEM
20/07/1969 20h05mn	102:33:05		Freinage pour commencer la descente
20/07/1969 20h17mn39s	102:45:39	40422.845	Atterrissage de Eagle à Tranquility Base
21/07/1969 02h56mn	109:24:15		EVA
21/07/1969 05h11mn	111:39:13		Fin de EVA
21/07/1969 17h54mn	124:22:00	40423.745	Remontée et mise en orbite du LEM
21/07/1969 21h35mn	128:03:00		Rendez-vous avec le CSM
21/07/1969 22h41mn	130:09:31		Largage du LEM
22/07/1969 04h32mn	135:23:42	40424.188	Allumage pour injection vers la terre (TEI)
	150:29:57		1 ^{ère} correction
	190:00:00		2 ^{ème} correction
	194:49:12		Séparation du CM pour la rentrée
24/07/1969 16h50mn35s	195:18:33	40426.701	Amerrissage dans le Pacifique a 1500 Km environ au sud ouest de Hawaï 13°18 N 169°9 W

* CSM désigne l'ensemble comprenant le module de commande CM (la capsule habitée) + le module de service SM (avec le moteur principal et son carburant et les auxiliaires comme les piles à combustibles)

Nous essayerons de suivre à peu près ce déroulement pour ajouter plus d'intérêt à cette mission historique que nous allons revivre.

Prêts pour le départ ? N'oubliez pas le panier à provisions...

2 – LANCEMENT

C'est la phase la plus simple puisque le lancement s'opère automatiquement sous contrôle du calculateur de bord.

Charger le scénario de départ **01 - Apollo 11 a H-10mn.scn**

Nous sommes 10mn avant le départ qui s'effectue le 16 juillet à 13h32mn GMT

Passer au tableau de bord par F1

Eclairer si il le faut le tableau de bord par CTRL + flèche haute

Si vous désirez procéder au lancement immédiat vous pouvez accélérer à 100x ou si vous préférez, faire au clavier du calculateur les séquences suivantes :

- PROG NOUN 01 ENTER
- VERB 33 ENTER
- VERB 33 ENTER
- VERB 22 ENTER
- +00000
- PROG

Le lancement s'effectue après quelques secondes mais attention, l'alignement du plan orbital avec la Lune sera moins bon

La mise en orbite est effectuée à H+12mn environ soit 13h44mn GMT à une altitude de 187 km.
 Il reste environ 75 % de carburant dans le troisième étage qui doit nous mettre sur l'orbite de transfert lunaire
 J'ai sauvegardé cette situation dans le scénario **02 – En orbite H+ 12mn.scn** si vous désirez passer directement à la recherche d'une solution d'injection TLI de mise en orbite de transfert

3 – MISE SUR ORBITE DE TRANSFERT

Nous utiliserons IMFD pour cette opération, sans nous servir du programme TLE du calculateur.
 IMFD présente l'avantage de calculer un vecteur de combustion sans nécessiter un parfait alignement des plans, ce qui consomme du carburant et nous n'en avons pas trop. De plus sa fonction Auto Burn est très pratique pour les corrections.

Penser à charger IMFD et à activer le module InterMFD dans le Launchpad

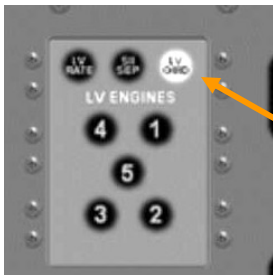
Attention !

Les 75 % de carburant restant après la mise en orbite permettent un temps de combustion maximum de 435 secondes environ

Il faut trouver impérativement une solution TLE satisfaisant à cette condition

3.1 – Préparation

Tout d'abord nous allons inhiber le calculateur que nous n'utiliserons pas pour la TLE



- Faire **VERB 46 ENTER** sur le clavier du calculateur de bord
- La lampe en haut à droite du tableau de contrôle des moteurs devrait s'allumer mais ça ne fonctionne pas !

Il faut préparer le contrôle du RCS (Reaction Control System) sur la gauche du tableau



- Armer le RCS pour le contrôle d'attitude de SIVB (Pitch, Yaw et Roll)
- Désarmer les corrections automatiques d'axes des moteurs (gimbal de SIV B)

Maintenant nous allons chercher une solution TLI qui réponde aux critères suivants:

- Temps de combustion inférieur à 435 secondes
- Inclinaison de la trajectoire la plus près possible de 180° car nous voulons arriver en rotation rétrograde autour de la Lune pour favoriser le freinage pour la mise en orbite et nous trouver près du plan équatorial de celle-ci puisque notre site se situe à 0°69 Nord
 0° - 90° correspond à une rotation prograde (sens Ouest-Est) et 90° - 180° à une rotation rétrograde (sens Est-Ouest)
 0° et 180° correspondent à l'équateur

- L'altitude au periapsis de la Lune à l'arrivée doit être compris entre 110 et 130 km
- La trajectoire de départ ne doit pas rentrer dans l'atmosphère (on peut perdre un peu d'altitude mais il faut rester à plus de 160 km au plus bas)
- La trajectoire doit permettre si possible le retour vers la terre par "effet de fronde" en cas d'incident interdisant la mise en orbite lunaire (songez à Apollo 13 qui a pu revenir...)
- Nous souhaitons débiter l'insertion lunaire le 20 juillet à 3h21mn GMT soit à MJD = 40422.139

Ceci parait beaucoup demander, mais IMFD va nous permettre de respecter correctement ces exigences.

Dans tout ce qui va suivre, les photos de MFD donnent des valeurs qui ne sont pas forcément les vôtres puisqu'elles sont prises à des instants qui peuvent être différents. Vos valeurs devraient en principe être assez proches.

Appuyer deux fois sur F8 pour passer en tableau de bord standard et faciliter les choix sur IMFD.
Appuyer sur H si nécessaire pour permettre la mise sous tension des MFD avec la touche PWR.

3.2 – Recherche de la solution

Comme les plans orbitaux sont assez bien alignés en raison du soin apporté au lancement, nous allons utiliser le module Course de IMFD en sous programme Target Intercept sur le MFD de gauche pour rechercher la solution, et le module Map sur le MFD de droite pour visualiser la trajectoire prévisionnelle.

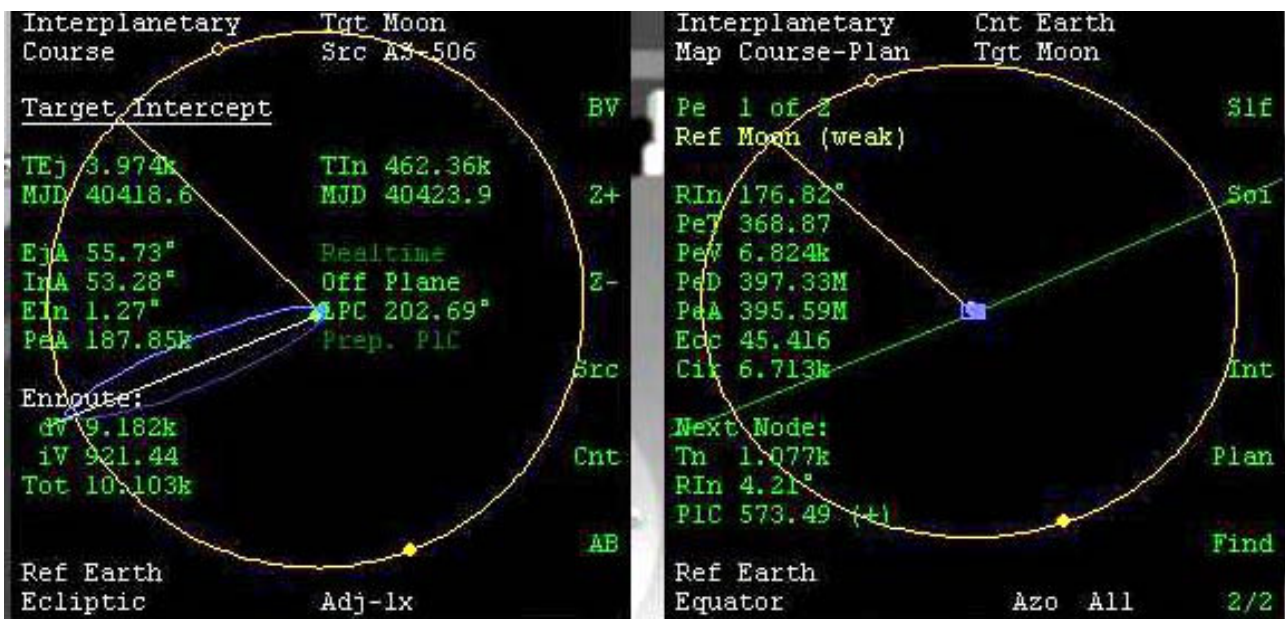
Ouvrir IMFD sur l'afficheur de gauche en utilisant SET pour sélectionner Interplanetary

- **MNU** puis **Course** puis sélectionner **Target Intercept** si nécessaire avec Prv/Nxt
- **Set** pour ouvrir le module Target Intercept
- **Target** puis entrer **Moon** pour choisir l'objectif

Ouvrir IMFD sur l'afficheur de droite en utilisant SET pour sélectionner Interplanetary

- **MNU** puis **PG** pour sélectionner le mode **Op-Mode Shared** qui couple les deux MFD puis entrer **0** (zéro) qui est l'identificateur du premier MFD
- **Map** pour ouvrir le module Map
- **Target** puis entrer **Moon** pour choisir l'objectif
- **Sel** pour sélectionner **Pe3 of 3** qui est le périapsis à la Lune pour la trajectoire
- **Disp** pour afficher la trajectoire de la Lune en mode Dsp (Display)
- **PG** pour aller sur la page 2
- **Int** pour sélectionner le mode intersection Int
- **Plan** pour sélectionner le mode Plan

Voilà comment ça se présente (afficheurs représentés côte à côte sans leurs touches latérales)



On ne voit pas la trajectoire théorique sur la Map car il faut donner une valeur suffisante pour le temps de parcours Time Limit pour le tracé désiré

Le module Course nous propose un départ à TEj = 3.974k pour une arrivée à Tin = 462.36k.

Le temps de voyage Tin-TEj = 458k environ serait de plus de 5 jours. Nous le réduirons pour respecter l'horaire de la NASA.

```
Interplanetary
Map-config

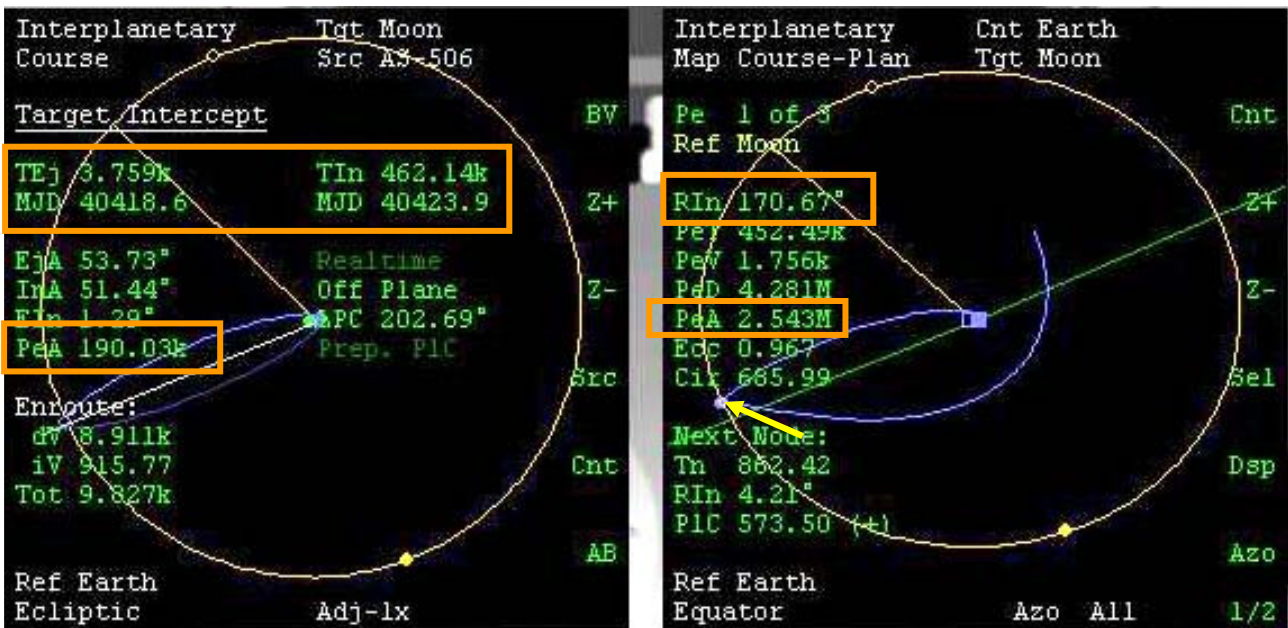
Used 267 legs out of 1000      Prv
4+7 of 62 planets used

Legs/Frame : 12.000           Nxt
Accuracy : 3.000 (Med)
Mass Limit : 1.000e+020
Period limit: Yes             +
Hyper. limit: Yes
Time limit : 800.00k
Tgt Weak Pe : Yes             -
One Pe/Ref : Yes
RefAltitude : 120.00k
Method : Cowell/RKF           Set
Use Celbody : Yes
Adaptive : No
Adapt. Tol. : 19.000           Adj
```

Nous allons prendre un Time Limit de 800k qui couvrira à peu près l'aller retour après avoir trouvé la solution correcte

- **MOD** 3 fois pour ouvrir la page de configuration
- **Nxt** plusieurs fois pour sélectionner **Time Limit**
- **Set** puis entrer 800k pour fixer Time Limit
- **MOD** pour revenir à la Map

On voit maintenant apparaître la trajectoire prévue avec les paramètres TEi et TEj proposés et elle est plutôt bonne puisqu'elle atteint l'orbite de la Lune (cercle jaune) et que PeA=2.543M (sur Map) avec Rin=170.67°



Alors pensez-vous nous avons une solution correcte !

Pas du tout, il suffit de faire PG sur Course pour aller en page 2 puis BV et regarder le temps de combustion prévu BT pour voir que ça ne va pas puisqu'il faut moins de 435 s pour BT ! De plus nous n'arrivons pas à la date prévue puisque MJD=40423.9

Il faut rechercher une autre solution !

Plusieurs objectifs principaux vont nous guider pour le départ :

- Arriver à MJD = 40422.1
- Avoir BT < 435s sinon c'est la panne
- Avoir un PeA (sur Map) prévu à la Lune < 5M si possible. Nous corrigerons en route s'il le faut
- Avoir une inclinaison Rin le plus près possible de 180°
- Avoir un PeA (sur Course) prévu au départ de la Terre supérieur à 160 k (au-delà de l'atmosphère)

Nous allons régler le temps d'arrivée à la valeur prévue :

- Sur le module Course, sélectionner MJD (en haut à droite) en utilisant Prv/Nxt en page 1 puis faire Set et entrer la valeur 40422.1 prévue pour l'arrivée en orbite lunaire.

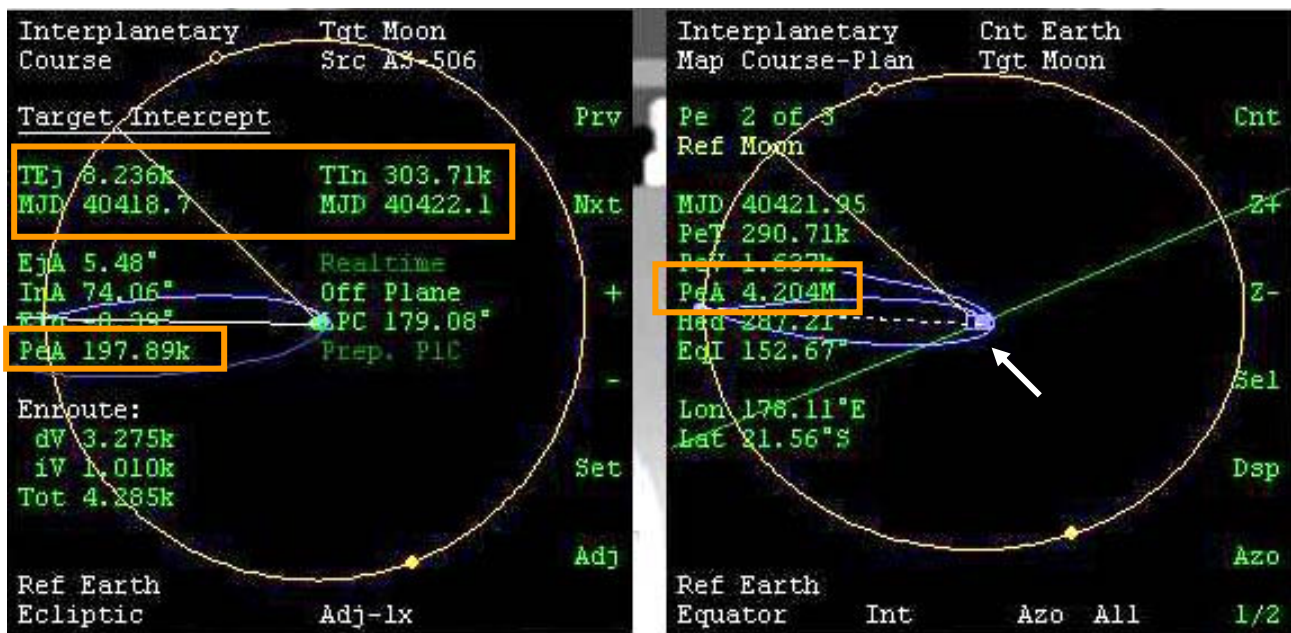
Avant de poursuivre, faisons une remarque. Plusieurs fenêtres de tir sont possibles (valeur de TEj pour le départ – en haut à gauche) à partir de la mise en orbite.

Laquelle est la plus favorable ? C'est la NASA qui va nous répondre.

La mise en TLI a été effectuée 2h32mn environ après la mise en orbite soit 9120 s après la fin de celle ci. C'est donc pour un TEj situé aux alentours de 9000 secondes que nous aurons la meilleure solution et ça nous fera gagner du temps

Faisons varier TEj entre 8K et 9k pour obtenir une valeur de PeA lune (sur Map) inférieure à 5M, une inclinaison RIn la plus proche possible de 180, tout en ayant PeA Terre (sur Course) supérieure à 160 k et en respectant un temps de combustion inférieur à 425 s.

Il est également pas mal que la trajectoire de retour se rapproche de la Terre (flèche blanche) mais ce n'est qu'une approche et ça variera avant le départ, aussi ne pas tenter l'impossible



Voilà une bonne solution :

- BT < 320s et PeA > 190k conviennent. On vérifie BT en faisant PG sur Course pour se placer en page 2 puis BV. Il est possible si on refait PG de faire varier TEj tout en surveillant BT pour le réduire. Faire attention à ce que PeA Terre reste supérieur à 160k en repassant sur la page 1 pour vérifier
- TEj et TIn respectent les dates prévues
- Alt Pe 2 of 3 au Periapsis lunaire <5M (nous corrigerons en route et en final)
- Eql de l'ordre de 153° est le plus élevé possible (nous corrigerons en final)
L'inclinaison équatoriale Eql peut être affichée sur Map en faisant MOD. Elle est plus petite que RIn ce qui est normal vu l'inclinaison de l'axe de la Lune sur son plan écliptique. C'est sur Eql que nous ferons les corrections finales
- Le retour vers la Terre est assuré en balistique en cas de panne. On peut voir que la trajectoire revient à la Terre après contournement de la Lune. Elle pourrait être plus proche mais le réglage est difficile et ce n'est pas l'objectif prioritaire. De plus avec le temps qui passe avant l'allumage notre trajectoire varie et il est probable qu'elle rencontrera la Lune d'où le retour problématique

Il est inutile de chercher à faire mieux dans cette recherche de solution et nous corrigerons les détails en cours de route.

3.3 – Allumage

Lorsque la solution est trouvée, il faut préparer l'allumage

- **Vérifier** que les commutateurs RCS sont en bonne position comme nous l'avons dit plus haut
- **PG** pour être en page 2 du module Course (si on ne s'y trouve pas déjà) puis **BV** pour passer sur la mire de contrôle



Allumage à TtB = 8.240k pour 310 s environ

Comme Ttb représente presque 1.7 tour de la Terre sur notre orbite (1 tour = 5371s comme on peut le voir sur le MFD Orbit) vous pouvez accélérer le temps à 100x

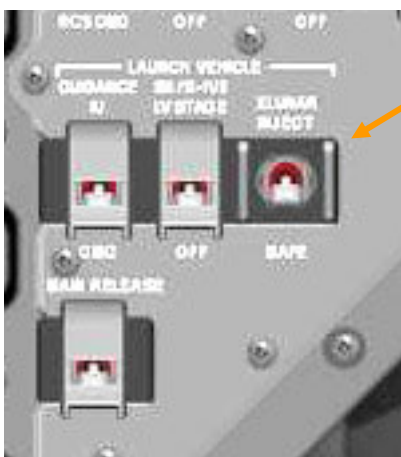
Quand Ttb atteint 250s appuyer sur AB pour armer l'allumage automatique (Auto Burning)

Le centrage se produit à 180s



Pendant le centrage il se peut que le voyant Master Alarm (en haut à gauche du panneau) clignote et une alarme sonore se déclenche si le mouvement de rotation est trop rapide. On l'aura également par la suite au moment des corrections

Ce n'est pas grave ! Quand le centrage est fini il suffit de faire Clic sur le voyant pour acquitter.



Lorsque TtB atteint 18 basculer l'interrupteur XLUNAR sur INJECT (position haute) pour déclencher la séquence d'allumage qui commence avec la préparation de l'injection qui dure 18 à 19 secondes

Ce commutateur est situé sur la partie de tableau en dessous du clavier du calculateur de bord.

Quand TtB atteint 0 l'allumage des moteurs principaux se déclenche automatiquement et place l'ensemble sur la trajectoire.

Pour éviter une erreur en fin de combustion liée probablement à l'inertie d'Apollo, vous devez désarmer l'autoburn AB manuellement dès que ABT = 0 (faire Shift +6 qui est le raccourci clavier de AB)

Vous pouvez suivre l'évolution de la trajectoire réelle sur les modules IMFD.

Pour tester votre solution et vous entraîner je vous conseille de laisser l'ensemble Saturn 5 y compris en vol libre après combustion et de voir si vous passez atteignez bien la Lune. C'est la première fois que le 3^{ème} étage de Saturne fera le voyage avec le CSM !!!

Le scénario

03 - Solution TLI.scn

vous donne une solution de tir correcte pour vous entraîner si vous souhaitez partir de ce point.
Nous allumons 2h47mn15s après le départ au lieu de 2h44mn16s ce qui n'est pas mal ! Nous avons un peu de retard mais Houston nous pardonnera espérons le...

Remarques :

Il peut être intéressant de rechercher la solution plus tard après le moment de la mise en orbite pour être plus précis. Procéder par exemple lorsque le temps est de 2h30mn après le lancement sur l'horloge du tableau de bord, ce qui laisse environ 15 mn pour la recherche (TtB <1000 s)

L'affichage de la trajectoire sur Map peut devenir bizarre pendant l'allumage. Il vaut mieux ne pas rester en mode Plan

4 – RETOURNEMENT ET DOCKING

Revenons à notre première solution.

L'injection sur TLI est terminée après 310 s environ d'allumage et il reste moins de 2 ou 3% de carburant. Belle optimisation !

Nous sommes en route et nous pouvons faire un peu d'ordre dans la cabine et appeler Houston pour dire que tout est OK et que DanSteph, Mustard et Papyref sont en forme.

4.1 – Préparation de la manœuvre

Maintenant il faut nous préparer pour la manœuvre de retournement du CSM et l'arrimage du LEM qui doit démarrer 3h15 après le début de la mission.

Nous avons deux possibilités pour réaliser la manœuvre :

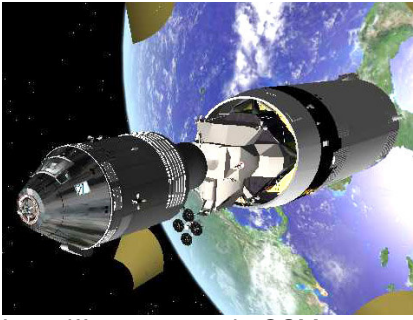
- à vue en se plaçant dans le tableau de contrôle supérieur en faisant CTRL + flèche gauche ou en HUD avec F8. Ca marche mais ce n'est pas simple pour s'aligner et on risque de s'égarer !
- en utilisant le MFD de docking en faisant SET puis Docking (nous remplacerons temporairement le module Map)

Nous allons étudier les deux solutions, la solution manuelle étant plus "historique" mais moins rigoureuse

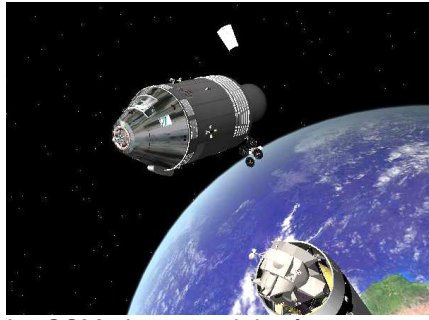
La manœuvre consiste à sortir le CSM de la coiffe, à le retourner de 180 ° (le derrière vient devant) et à le faire pivoter sur son axe longitudinal pour présenter son cône d'arrimage avec le LEM dans une bonne position pour l'arrimage)

Ensuite il faut avancer doucement en restant dans l'axe et clac c'est bon !

Pour mieux voir le LEM il est bon si nécessaire de faire pivoter Saturn IV face au soleil avant de faire la manoeuvre



La coiffe s'ouvre et le CSM se détache de Saturn

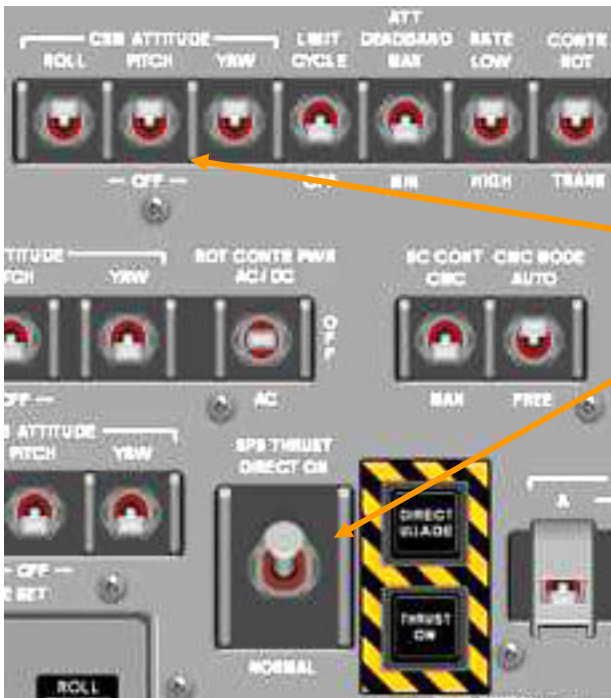


Le CSM pivote sur lui même



Le CSM placé dans l'axe du cône d'amarrage du LEM

Quelque soit la solution utilisée il faut préparer le CSM pour le contrôle moteur



Pour réaliser les opérations décrites ci-dessus, nous avons besoins des moteurs RCS en contrôle d'attitude et avoir le contrôle manuel

Sur la partie gauche du tableau il faut positionner les interrupteurs pour :

- Avoir Roll, Pitch et Yaw sur ON (en haut)
- Prendre le contrôle manuel en plaçant l'interrupteur **SPS THRUST** en position **DIRECT ON**



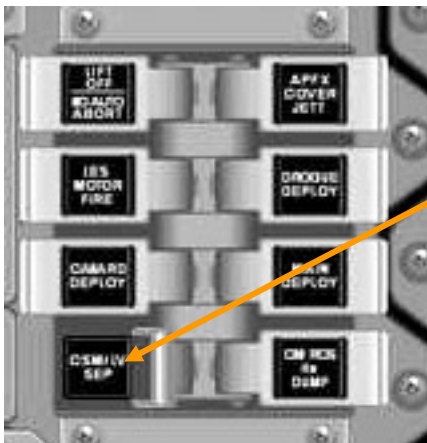
Pour pouvoir activer le RCS du CSM il faut sur la partie centrale du tableau (au dessus des MFD) manipuler les interrupteurs pour :

- Fermer les vannes de pressurisation hélium en basculant les 8 interrupteurs en position CLOSE.
- Les voyants de contrôle au dessus apparaissent en strié blanc et noir

- Ouvrir les vannes du combustible moteur en basculant les 8 interrupteurs en position OPEN.
- Les voyants de contrôle au dessus apparaissent en blanc

4.2 – Séparation du CSM, retournement et arrimage au LEM

Lorsque l'horloge du tableau de bord atteint 3h15mn il faut séparer le CSM du LEM



Sur le tableau d'affichage des actions de lancement et de parachutage situé sur la partie gauche du tableau

Clic droit sur le voyant CSM/SIVB en bas à gauche pour ouvrir le capot de sécurité
Clic gauche sur le voyant poussoir qui est accessible

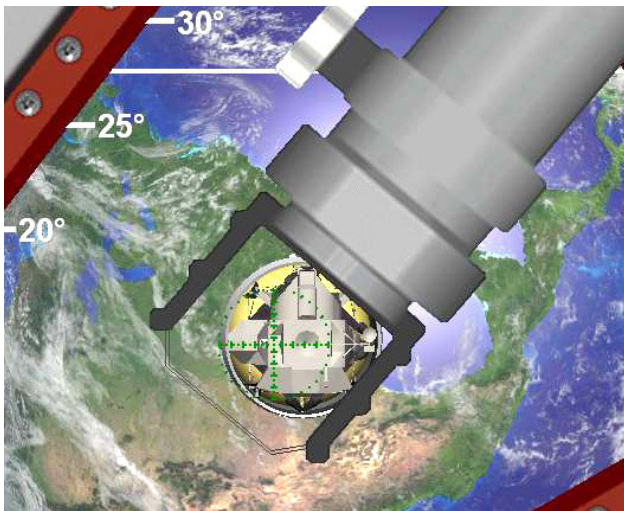
La coiffe est larguée et CSM libéré comme on peut le voir en vue extérieure

4.2.1 – Opération à vue

C'est ce que faisaient réellement les astronautes
On peut s'aider en utilisant les touches de zoom W et X

Dès le largage le CSM s'éloigne doucement d'Apollo.

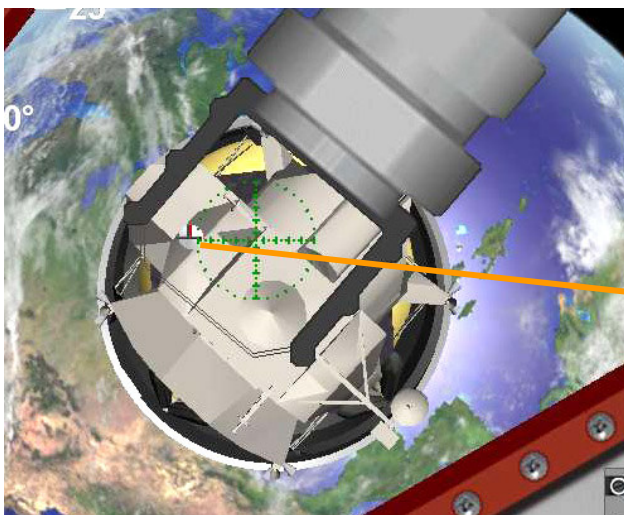
- **Vérifier que l'on se trouve en position de rotation** en agissant si il le faut sur la touche / ou sur l'interrupteur de choix (le dernier de la rangée après les contrôles d'attitude)
- Lancer immédiatement la rotation pour retournement avec la touche 8 ou 2.
CSM pivote lentement pour se placer avec le cône d'amarrage face au LEM
- Passer sur le tableau avec le hublot et la mire pour l'arrimage en faisant Ctrl + flèche gauche
Attention ! Cette opération place correctement le viseur et il ne faut plus toucher aux flèches droite ou gauche. Si on le fait par mégarde, revenir au tableau principal par Ctrl + → et repasser à nouveau sur le hublot par Ctrl + ←



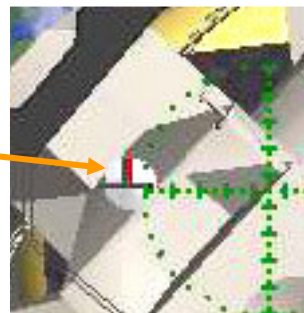
Après quelques dizaines de secondes (1mn30s environ) Apollo et le LEM apparaissent dans le hublot.

Stopper la rotation avec la touche 5 quand le cône du LEM est dans la mire à peu près au niveau de la branche horizontale de la croix.

Passer en mode translation (touche / ou interrupteur de choix) et donner quelques impulsions avec la touche 6 pour stopper l'éloignement et commencer un rapprochement à faible vitesse. On doit voir grossir très lentement le LEM. On se rend mieux compte après un peu d'entraînement.

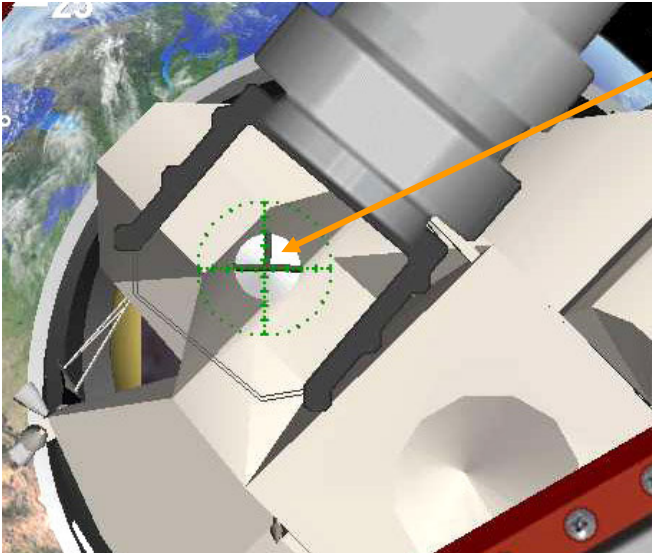


Repasser en mode rotation et faire tourner le CSM sur son axe longitudinal en utilisant la touche 4 pour que le viseur du LEM se trouve en position de T renversé barre horizontale en dessous



Vous le voyez à gauche ?

Le travail est presque fini.



Repasser en mode translation et centrer la croix du viseur sur le T inversé en utilisant les touches 2-8 (haut-bas) et 1-3 (gauche-droite)

Régler la vitesse d'approche avec les touches 6 (avance) et 9 (recul) pour approcher lentement.

Si centrage et vitesse sont bons, le docking est confirmé par le bruit de l'enclenchement et une annonce vocale

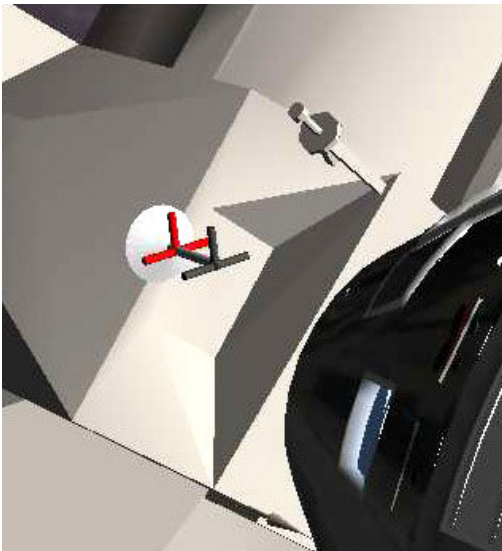
Erreurs classiques à éviter :

- **Etre en rotation au lieu de translation et vice versa**
- **Se rapprocher trop vite**

Comment savoir si les axes du CSM et du LEM sont bien alignés ?

Au cas ou on aurait déclenché une rotation malheureuse, on peut avoir besoin de réaligner les axes

Voilà l'arme secrète.....



En fait le T résulte visuellement de la superposition de deux T, un noir devant un rouge comme on peut le voir en se plaçant en vue extérieure. Ils sont portés par une tige fixée parallèlement à l'axe du LEM.

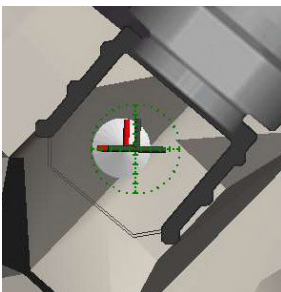
Que va voir l'opérateur si il n'est pas bien aligné ? Un T rouge qui dépasse un peu d'un T noir c'est très simple

Il lui suffira de corriger en utilisant la méthode suivante :

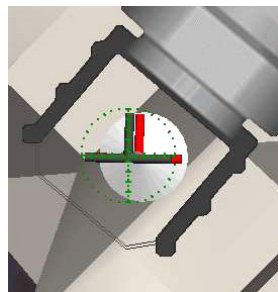
Aligner la croix de la mire sur le croisement du T noir

- Si on ne voit pas de rouge alors c'est bon
- Si on voit du rouge alors faire une petite rotation dans le sens du débordement puis réaligner en translation la mire sur le T

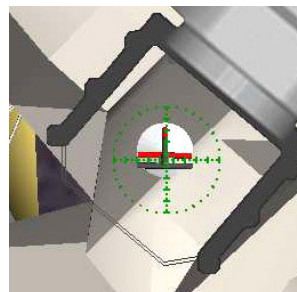
Si on voit encore du rouge recommencer la manip



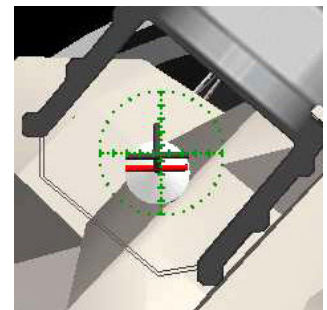
Rotation avec 1



Rotation avec 3



Rotation avec 2



Rotation avec 8

- Le décalage du T rouge peut être à la fois vertical et horizontal et dans ce cas il faut corriger en deux temps.
- Stabiliser la position du CSM en utilisant les touches 6-9 en mode translation
- Utiliser la fonction zoom avec les touches W et X pour mieux voir le T

Système rustique mais efficace et sûr. Bravo la NASA !

4.2.2 – Opération avec le MFD Docking

Méthode moderne infallible mais moins historique !

- Afficher le **MFD APR/DOCK** sur le MFD de droite en se mettant en tableau classique par F8
- **Cliquer sur VIS pour que le MFD APR/DOCK prenne en compte le signal VIS du LEM et puisse afficher le positionnement**

On peut ensuite repasser sur le tableau de bord du CSM par F8 et la mire apparaît en bas à droite pour pouvoir suivre l'approche



On voit que la vitesse relative CVEL est négative et que par conséquent CSM s'éloigne. Il faut stopper le mouvement rapidement pour rester assez près de Saturn et faciliter l'arrimage avec le LEM sans dépenser trop de carburant.

Passer en mode linéaire avec la touche / du clavier numérique ou par le l'interrupteur du tableau de bord

Donner des petites impulsions avec la touche 6 pour amener CVEL à 0

La touche 9 permet de corriger en cas de dépassement

Lorsque CVEL égale 0, repasser en mode rotation avec la touche / du clavier ou l'interrupteur.

Attention ne pas oublier de faire ça !

Nous sommes OK pour le retournement

Lancer la rotation en pitch avec la touche 8 (ou 2) en faisant deux ou 3 impulsions pour que TVEL affiche 0.30 environ puis surveiller le MFD.

Il est bien de passer en HUD plein en appuyant sur la touche F8 pour apprécier à quel moment la rotation va devenir bonne

Quand on approche de l'alignement des axes on va voir ceci



On aperçoit le LEM sur notre avant.

Il faut continuer la rotation jusqu'à ce que la croix rouge X soit centrée et devienne blanche (arrêt par la touche 5 du clavier numérique)

Les axes du CSM et du LEM sont alors parallèles.

Le cercle vert est le cône d'approche pour l'alignement

Nota : La croix rouge X peut être centrée en agissant sur les touches de rotation 1-3, 4-6 et 2-8

Ici nous n'utilisons que le pitch car nous n'avons fait aucune rotation après l'extraction mais si on fait une fausse manœuvre on peut avoir besoin de rectifier sur les autres axes

On a alors cette configuration



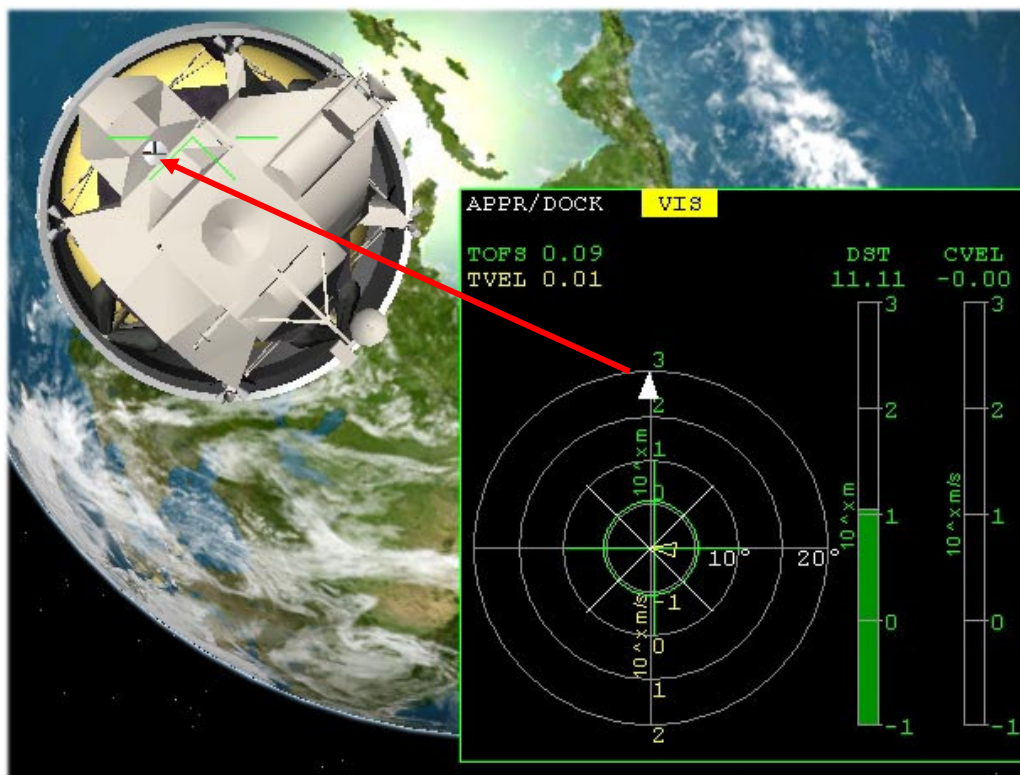
Le triangle rouge montre que notre position en rotation par rapport à l'axe longitudinal n'est pas bonne.

On peut le voir sur la figure précédente où j'ai repéré la mire du LEM par une flèche rouge.

Celle-ci doit se trouver en position de T inversé pour que l'arrimage puisse réussir.

Il va falloir opérer une rotation avec les touches 4 et 6 pour amener ce triangle en haut et qu'il soit blanc.

On doit avoir la configuration suivante



Comme vous le voyez, la mire est en bonne position.

Maintenant nous sommes en axes parallèles et bien positionné en rotation. Nos axes sont également confondus comme le montre la croix verte + qui est centrée.

Passer en mode translation avec la touche / ou l'interrupteur de choix

Agir sur la touche 6 par courtes impulsions pour se rapprocher du LEM en gardant un CVEL < 0.3 (la touche 9 permet de ralentir).

Quand on se trouve à DST = 5 m diminuer le CVEL pour qu'il soit inférieur à 0.1

Il faut maintenir la croix verte si possible centrée et au moins dans le cercle vert d'approche pour rester sur le bon axe en agissant si nécessaire sur les touches 3 (si décalage à droite) 1 (si décalage à gauche) 8 (si décalage vers le bas) 2 (si décalage vers le haut)

Donner des très courtes impulsions, c'est sensible ! Avec un peu d'entraînement on y arrive sans beaucoup de difficulté.

Si tout va bien, quand on se trouve à DST = 0.50 l'arrimage se produit et c'est la joie !

Vous pouvez le faire sans forcer en moins de 10 mn.

Eventuellement on peut utiliser un joystick mais personnellement je trouve le clavier plus précis.

Pour respecter le planning nous larguerons Saturn à T + 4h17mn après notre départ ce qui laisse le temps pour le visiter et le préparer

Après l'arrimage on doit normalement déployer la sonde de docking pour confirmer l'arrimage. Cette fonction est simulée actuellement et l'interrupteur se trouve en haut du panneau central



- Voyant strié noir et blanc, la sonde est déployée
Voyant blanc, la sonde est rétractée
- Clic droit pour ouvrir le capot de protection
Clic gauche sur l'interrupteur pour déployer la sonde

Il faudra se remettre en position RETRACT quand on voudra larguer le LEM

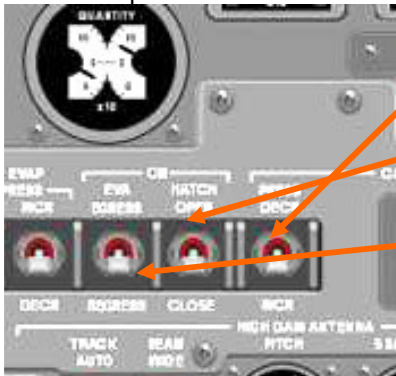
EXTRA BONUS OPTIONNEL

Comme nous avons du temps avant le largage de SIVB nous allons nous offrir une petite sortie dans l'espace pour inspecter le LEM. Nous ne le dirons pas à Houston car ce n'était pas prévu dans la mission Apollo 11.

Il faut bien se détendre !

Prêts ? Fermer les scaphandres et allons-y pour 45 mn maximum !

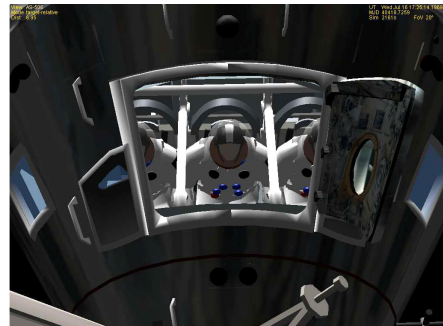
Les interrupteurs nécessaires



Dépressuriser la cabine
(interrupteur en haut)

Ouvrir le Hatch
(écouille)
(interrupteur en haut)

Relever EVA pour
déclencher
la sortie



Passer en vue extérieure par F1. C'est l'astronaute du milieu avec une bande rouge sur le casque qui va sortir.



EVA Cable Attached to AS-506

En bas à gauche du HUD ce texte montre que l'astronaute est prêt et attaché à Apollo

En mode translation on utilise les touches 2-8 (monter-descendre) 6-9 (avancer-reculer) 1-3 (gauche-droite)
En mode rotation on utilise les touches 8-2 (pitch) 4-6 (roll) 1-3 (Yaw)

Passer en mode translation (touche /) et donner quelques petites impulsions sur 2 pour faire monter l'astronaute qui sort par le Hatch. Quand il est sorti donner quelques petites impulsions sur 8 pour le stabiliser.

Ensuite vous pouvez faire quelques petites évolutions en translation et même en rotation.
Pas de manœuvres brutales SVP.



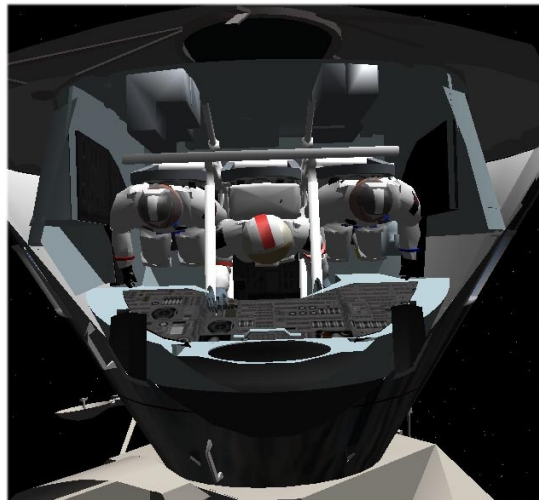
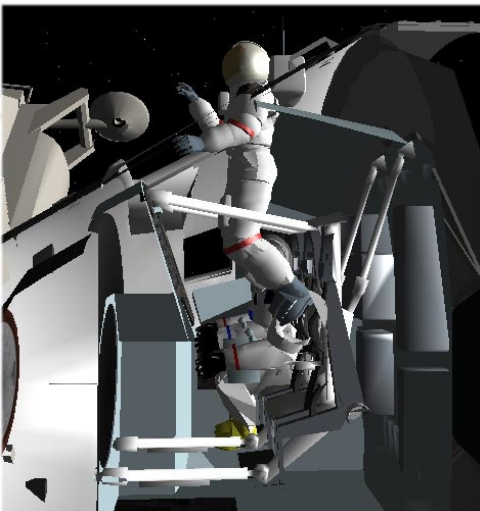
EVA Back CSM Mode Relative Distance M/s 2.748451

Appuyer sur E
Le texte change et affiche la vitesse relative de l'astronaute par rapport à son siège

Pour rentrer dans le CM il faut :

- amener le cosmonaute sur son siège dans la position ou il en est sorti
- le manœuvrer pour réduire sa vitesse relative à 0;5 maximum

On peut zoomer sur la cabine en vue latérale et de dessus pour avoir des vues en coupe permettant de positionner le cosmonaute correctement au retour



Si vous remplissez les conditions correctes, EVA se termine automatiquement
Il faut alors refermer le Hatch et rétablir la pressurisation

Attention ne vous éloignez pas trop de CSM sinon vous aurez du mal à revenir en temps utile !

5 – LARGAGE DE SATURN

A T + 4h17mn nous larguons le 3^{ème} étage de Saturn et vogue la galère !



L'interrupteur se situe sous le clavier du calculateur de bord

Clic droit pour ouvrir le capot de sécurité
Clic gauche pour larguer

Et nous partons...



En vue extérieure c'est superbe sur fond de Terre.

Vous pouvez accélérer le temps, mais attention à ne pas dépasser la Lune surtout après la correction T+60 vue plus loin. A 10000X le voyage ne dure que 30 s et l'approche est trop rapide.

Le scénario **04.1 – Prêt à retourner.scn** vous place T + 3h15mn après le départ au moment du retournement.

Le scénario **04.2 – LEM Arrimé** vous place après retournement et arrimage si vous voulez faire une EVA

Le scénario **05 – Saturn largué.scn** vous place T + 4h17mn après le départ après le largage de Saturn si vous voulez sauter la phase d'arrimage pour aller directement à la phase correction

Ils vous permettront de vous entraîner en ces points si vous le désirez

6 – CORRECTIONS DE LA TRAJECTOIRE

Une première correction a été faite en réel à T + 26h44mn58s à environ 1/3 du voyage jusqu'à insertion en orbite lunaire.

Il est avantageux de faire une correction à assez grande distance de notre but car elle n'est pas trop coûteuse en carburant et nous fera faire des économies pour la suite.

ATTENTION

Le carburant embarqué dans le CSM nous donne au maximum un temps total de combustion avec le LEM d'environ 670 secondes à pleine charge (200 s pour 30% environ du carburant)

La mise en orbite lunaire prend entre 250 et 300s de combustion soit de 37% à 45 %

Pour assurer le retour vers la Terre il nous faut un minimum de 30% restant pour l'éjection et la correction au retour après toutes les manœuvres d'insertion, changement d'orbite et rendez-vous autour de la Lune qu'il faut faire pour la suite de la mission.

Les corrections à l'aller ne doivent donc pas dépenser plus de $100 - 45 - 30 = 25$ % ce qui nous autorise un maximum de 160 s environ et il vaut mieux tabler sur 130 s pour avoir un peu de marge.

Il faut être économe !!!

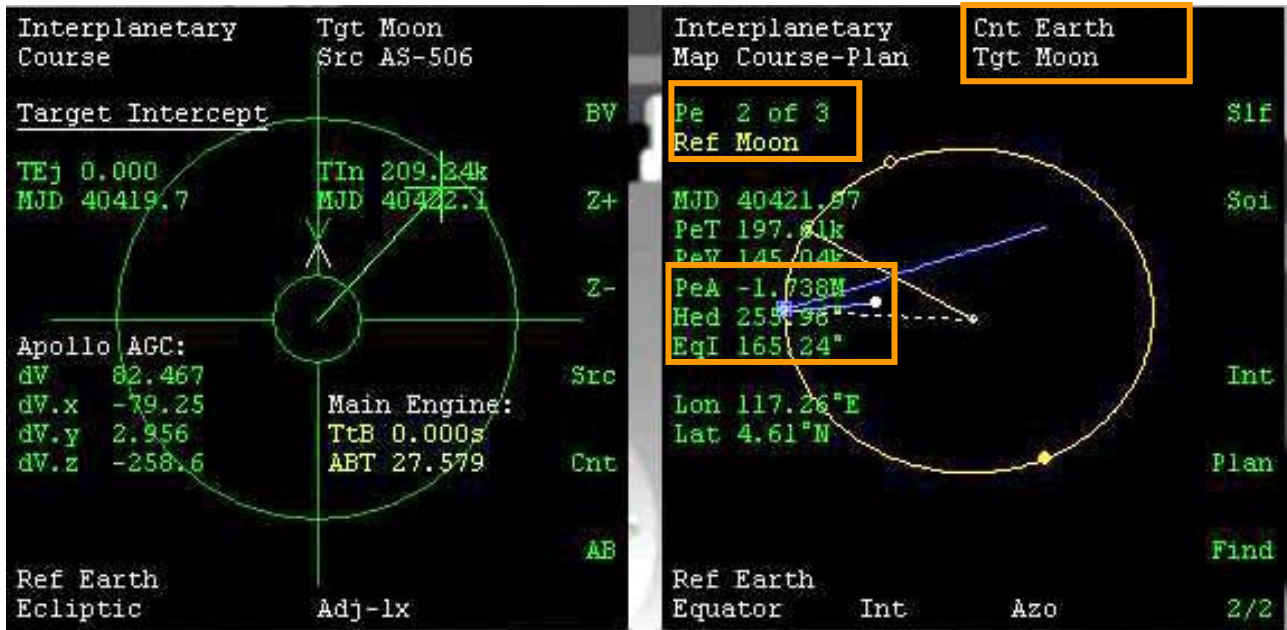
Nous allons faire de même et corriger si nécessaire en cherchant à minimiser BT lorsque le temps de mission atteindra T + 26h44mn environ (si on veut suivre rigoureusement le planning de la NASA)

L'ensemble CSM à une grosse inertie et sa mise en rotation ainsi que l'arrêt de sa rotation ne sont pas instantané. Il faut anticiper la mise en position avant d'enclencher l'autoburn

6 -1 - Correction à T + 26h44mn

Sur le MFD Course nous conserverons la valeur MJD=40422.1 prévue pour l'arrivée et nous ferons seulement un allumage correctif pour confirmer cette valeur.

Sur le MFD de droite, repasser en mode Corse –Plan comme pour la TLI



On peut voir que l'altitude au Periapsis de la Lune est $PeA = -1.736M$, ce qui montre que nous nous dirigeons droit sur son centre (altitude négative égale au rayon)
 Il ne faut pas essayer d'obtenir une valeur exacte de PeA à une si grande distance. Nous corrigerons définitivement en arrivant dans la sphère d'influence de la Lune (SOI)

L'inclinaison équatoriale $Eql = 165.24^\circ$ ce qui correspond bien à une orbite assez voisine de l'équateur lunaire comme nous le souhaitons

On va simplement faire une petite correction sans modifier la date TIn prévue pour l'arrivée en réalisant l'allumage d'environ 28s préconisé

- **PG** pour passer sur la mire sur le module Course
- **AB** pour passer en autoburn

Le voyant Master Alarm va probablement déclencher en alarme de rotation rapide pendant le centrage automatique de la croix d'allumage sur la mire.
 Cliquer dessus pour l'acquitter en fin de manœuvre.

Bilan de carburant 95.1 %

La correction n'a utilisé que 4,9 % environ du carburant disponible. C'est très bien !

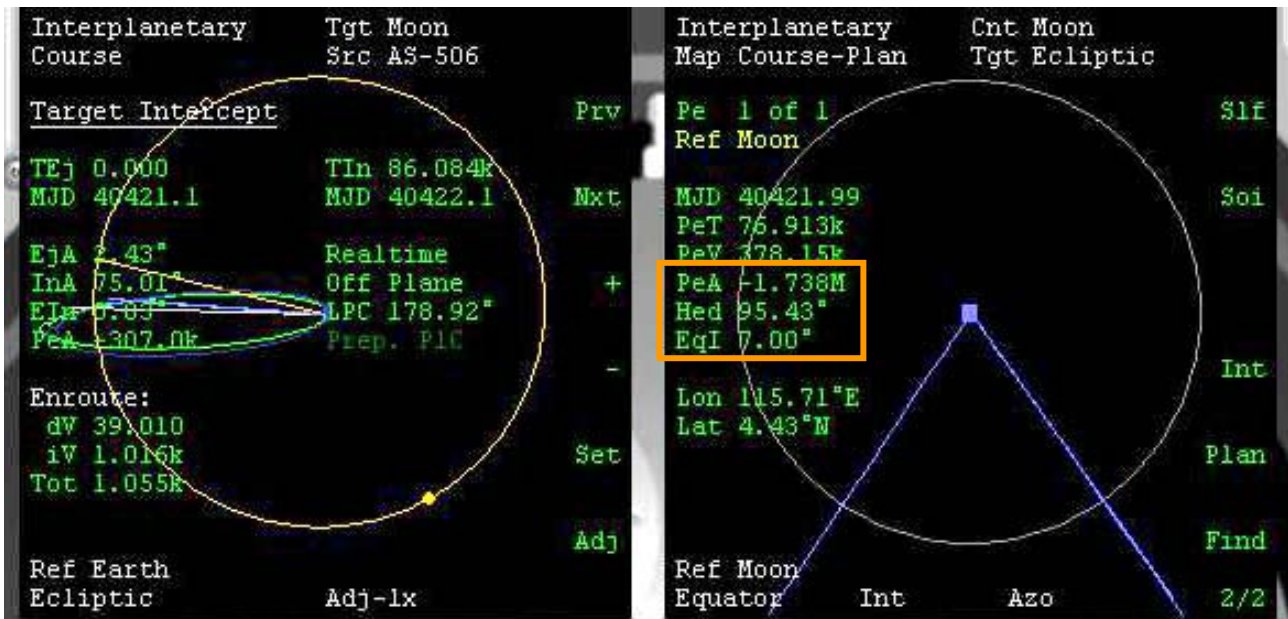
6.2 – Correction à T+ 61h

Automatiquement NASSP commute en correction vers T + 61h avec annonce vocale
 Nous sommes à environ 90M de km soit à peu près au trois quart du voyage et nous allons procéder à une deuxième correction si nécessaire pour approcher au mieux nos conditions finales.

Sur le MFD de droite en mode Map

- REF puis entrer moon pour se placer avec la Lune comme référence

Nous sommes dans la situation représentée ci-dessous avec une altitude PeA de -1.738M montrant que nous arriverions au centre de la Lune et une inclinaison équatoriale Eql de 7° qui ne correspondent pas à ce que nous désirons . Une correction s'impose.



Une correction avec Target Intercept serait peu efficace.

Il est préférable de faire une correction de PeA et Eql avec Planet Approach qui ne sera pas trop coûteuse à cette distance et nous ajusterons définitivement à plus courte distance.

Sur le MFD de gauche :

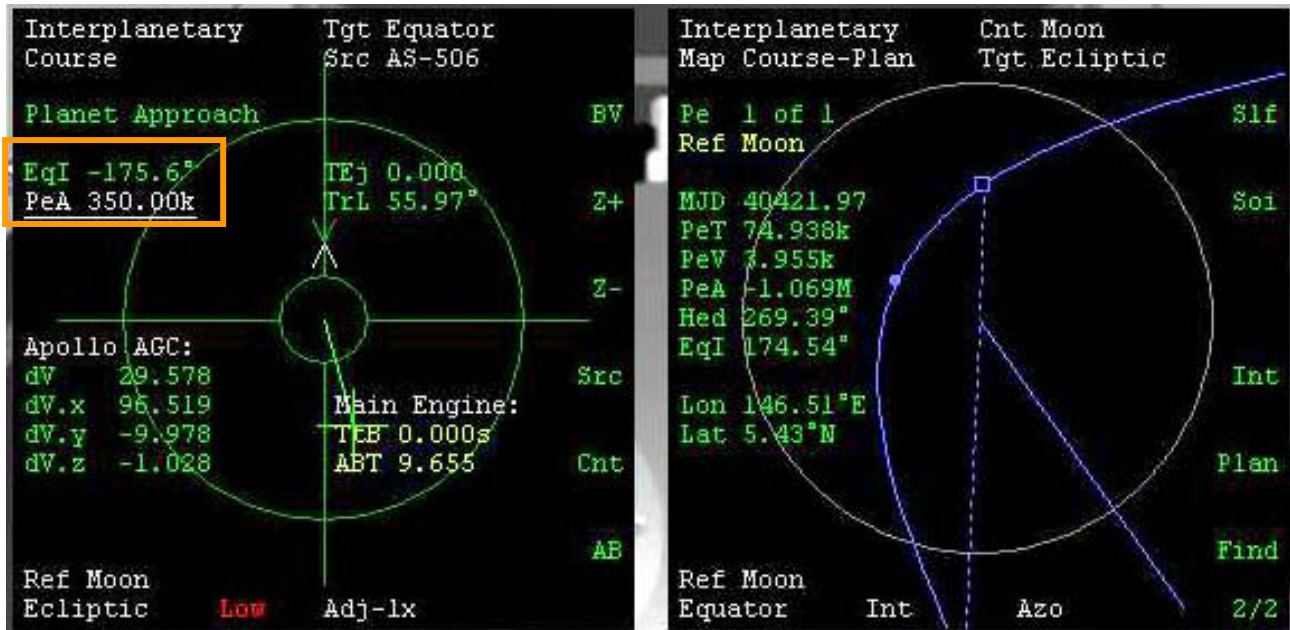
- **PG** pour passer en page 1 si ce n'est pas le cas
- **Prv/nxt** pour sélectionner Target Intercept si ce n'est pas le cas
- **+** pour aller au menu
- **Prv/nxt** pour sélectionner Planet Approach
- **REF** puis entrer **Moon** pour définir l'objectif (**attention c'est important !**)
- **Prv/nxt** pour sélectionner Eql puis Set et entrer la plus grande valeur négative possible pour Eql donnée par Max Eql
Comme nous voulons entrer en orbite rétrograde avec une inclinaison de moins de 1° sur l'équateur lunaire l'idéal serait d'avoir Eql = -179 ou un peu moins mais nous nous contenterons de ce qui est faisable et corrigerons plus tard si il le faut.
- **Prv/nxt** pour sélectionner PeA puis Set et entrer 350k pour définir l'altitude d'insertion
- **PG** pour passer en page 2
- **BV** pour afficher le temps de combustion ABT prévu.

Nota :

Dans la vraie mission Apollo 11 l'insertion s'est faite de manière à avoir une orbite avec un Periapsis de 112k et un Apoapsis de 314k.

L'insertion a eu lieu sur la face cachée de la Lune donc sensiblement à l'opposé du site d'alunissage. Nous choisirons une entrée en orbite à 350k car IMFD a tendance à régler un peu trop bas avec l'ensemble CSM + LEM et nous créerons ensuite un Periapsis de l'ordre de 112k qui se trouvera à peu près au dessus du site

Nous avons la représentation ci-dessous avant allumage avec un temps ABT inférieur à 10 s . Voilà une correction économique !



On voit ci-dessus qu'il faut environ 10 s d'allumage.

Le texte Low qui apparaît en rouge montre que l'on commence à être attiré par la Lune.

- **AB** pour lancer l'allumage automatique

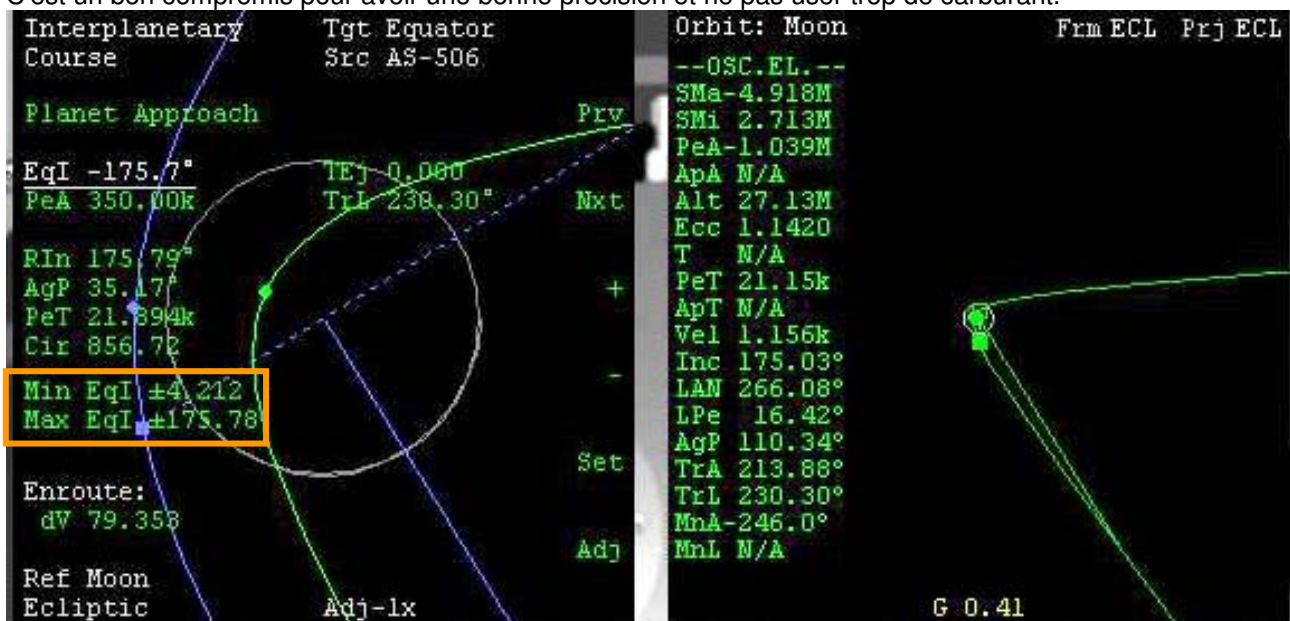
L'inertie de l'ensemble étant importante il y a un peu de pompage et le voyant d'alarme va clignoter pendant et à la fin de l'allumage. Faire l'acquiescement quand le moteur est éteint.

Le MFD Plan ne fournit pas des bonnes valeurs en Planet Approach et il vaut mieux faire un contrôle après allumage en ouvrant le MFD Orbit standard sur le MFD de droite et vérifier que PeA est de l'ordre de 340k et EqI est de l'ordre de -176°.

Bilan de carburant 93.5%

6.3 – Correction finale en approche

Nous allons faire une dernière correction à T + 76h environ ce qui nous placera à PeT de l'ordre de 20k. C'est un bon compromis pour avoir une bonne précision et ne pas user trop de carburant.



- **Prv/nxt** pour sélectionner Eql puis Set et entrer la plus grande valeur négative possible pour Eql donnée par Max Eql (ici -175.78)
- **Prv/nxt** pour sélectionner PeA puis Set et entrer 350k pour définir l'altitude d'insertion si ce n'était pas toujours la valeur affichée
- **AB** pour lancer l'allumage

L'ensemble CSM + LEM ayant une grande inertie, vous pouvez si vous le désirez faire un centrage manuel de la croix dans la mire affichée par BV en utilisant les RCS en rotation avant de faire l'allumage. De toute façon, le voyant d'alarme clignotera.

Bilan du carburant : 88.8% restant. Altitude 340k environ

Nous avons utilisé un peu plus de 11% du carburant mais nous aurons une trajectoire avec Eql voisin de 176° ce qui nous évitera une correction importante une fois en orbite pour passer sur le site

Les scénarios

06.1 – T + 26h.scn

06.2 – T + 61h.scn

06.3 – T + 76h.scn

vous placent aux différents points de correction avant allumage si vous désirez vous entraîner

7 – MISE EN ORBITE LUNAIRE

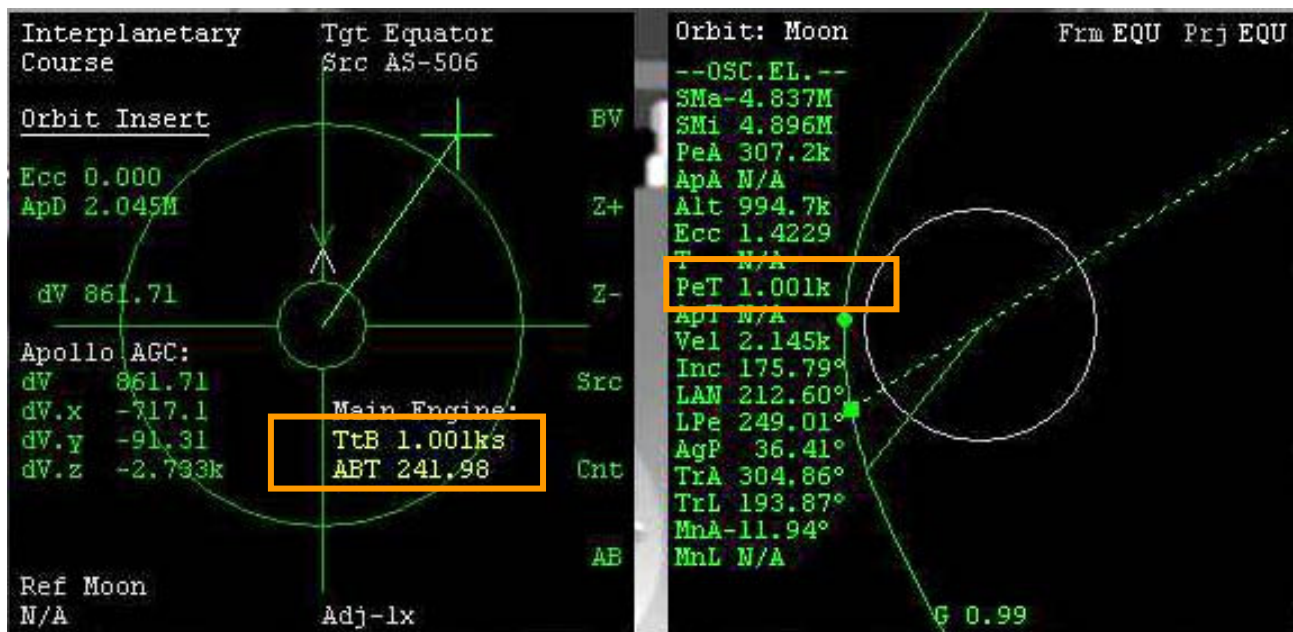
Nous approchons du but et nous devons nous préparer à l'insertion en orbite lunaire elliptique à une altitude variant de 110 à 350 km environ pour être à peu près conforme à la mission réelle.

7.1 – Insertion en orbite

En raison de l'inertie de l'ensemble il est préférable de réaliser l'insertion en commande manuelle. Nous nous aiderons du module Orbit Insert pour appévier le moment et le temps d'allumage

Sur le MFD de gauche:

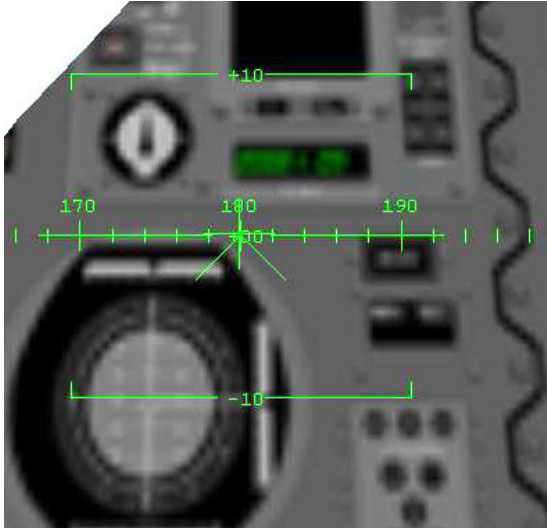
- **+** sur Planet Approach sélectionné pour appeler le menu général
- **Prv/nxt** pour sélectionner Orbit Insert
- **PG** puis **BV** pour passer sur la mire et afficher le temps d'allumage ABT prévu et le temps TtB avant d'atteindre le PeA



Laissons avancer le temps jusqu'à ce que TtB soit de l'ordre de 1000s.

Nous ne sommes plus très loin de PeA et peut voir que le temps d'allumage pour circulariser est de 242 s environ

Nous devons donc allumer au moins pendant ce temps là et même un petit peu plus puisque nous voulons une orbite elliptique avec un Periapsis de l'ordre de 110 km



Il faut se placer en position rétrograde en utilisant la touche \$. Attention à l'inertie ! Il faut s'y prendre à l'avance quand PeT est de l'ordre de 1.000k pour ne pas avoir de surprise car l'opération automatique est très longue et ça pompe !

On peut si on le désire, préparer la manœuvre en utilisant les échelles du Hud en mode Orbit pour placer le pointeur de direction (V inversé) et la croix (+) du sens rétrograde sur 0 en vertical et sur 180 en horizontal en utilisant les touches de rotation

Ensuite on peut demander la position rétrograde avec la touche \$ et elle se conservera tant que l'on accélérera pas à plus de 100X

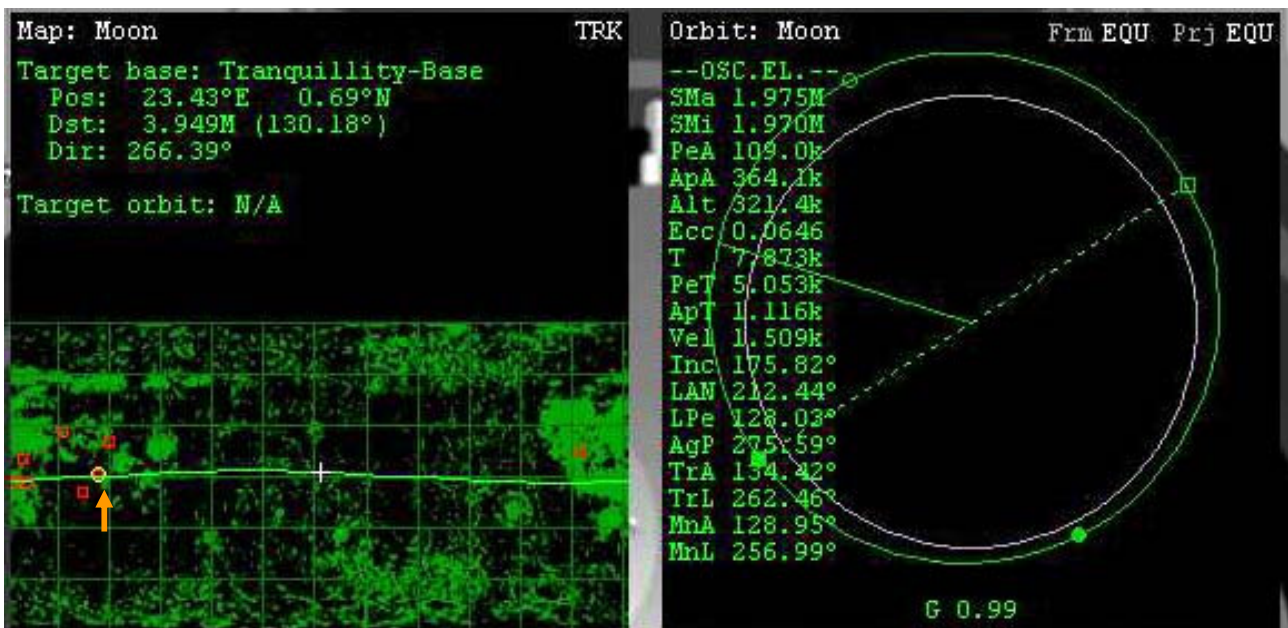
Après s'être mis en position rétrograde, nous utiliserons le module standard Orbit en allumant au Periapsis de la Lune pour obtenir un nouveau PeA de l'ordre de 110k, l'Apoapsis de l'ordre de 307k se trouvant alors au point d'insertion.

Le jeu est simple ! Comme le temps pour circulariser est de l'ordre de 242s comme nous l'avons vu plus haut nous allons allumer quand PeT sera de l'ordre de $242/2 = 121$ s en arrondi pour suivre la règle qui est d'allumer avant le Periapsis en un temps égal à la moitié du temps de combustion pour symétriser l'orbite

Poursuivre l'allumage après Ecc=0 pour obtenir un PeA de l'ordre de 110k.

Attention à limiter la puissance lorsque Ecc passe à 0 car l'évolution de PeA va être rapide.

Utiliser Ctrl + + pour réduire la poussée et aller doucement



Ouvrir le MFD standard Map à gauche et choisir Tranquillity-base comme objectif

Notre trajectoire passe pratiquement au centre de notre objectif et nous ne ferons pas de correction. L'altitude de 109k à 364k est à peu près conforme à la mission réelle.

Bilan du carburant : 40.8% de carburant nous reste ce qui est convenable

Nous sommes sur la bonne orbite à T + 81h 44mn en avance de 4h 06mn sur le planning de la mission réelle.

Les vents ont été favorables, la NASA va être contente !

C'est presque un sans faute...

Le scénario

07.1 – En approche d'insertion

Vous place en orbite lunaire d'insertion 1000s avant le périapsis pour vous entraîner à l'insertion

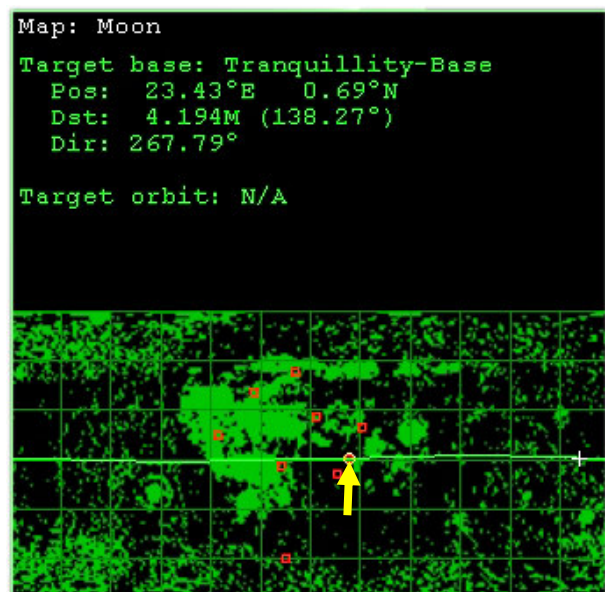
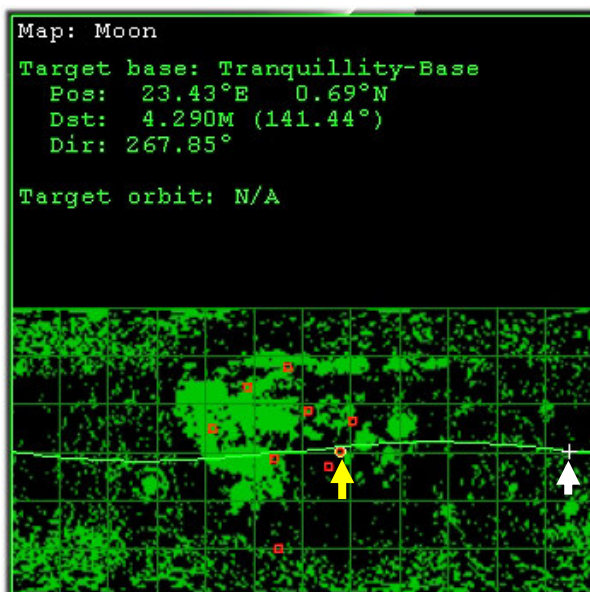
07.2 – En orbite d'insertion

Vous place sur l'orbite elliptique après insertion

Cas où une correction est nécessaire pour passer sur le site

Supposons que notre trajectoire soit celle de la figure de gauche (voir ci-dessous) et passe trop au dessus du cercle représentant la base

Nous pouvons faire une correction pour améliorer la précision de notre passage sur le site. Comme nous passons au dessus du point désiré, il va falloir diminuer la latitude du point haut de la trajectoire pour se trouver dans la situation de la figure à droite avec une trajectoire passant à peu près au centre du cercle



Rappelons les règles de correction de la latitude:

Pour une rotation dans le sens prograde (OUEST – EST)

- **Si vous êtes dans la partie montante vers le nord de votre trajectoire**, un allumage en position **Orbit Normal +** augmente la latitude du point haut de la trajectoire et un allumage en position **Orbit Normal –** diminue la latitude du point haut de la trajectoire.
- **Si vous êtes dans la partie descendante vers le sud de votre trajectoire** un allumage en position **Orbit Normal -** augmente la latitude du point haut de la trajectoire passer et un allumage en position

Orbit Normal + diminue la latitude du point haut de la trajectoire.

Pour une rotation dans le sens retrograde (EST – OUEST)

- **Si vous êtes dans la partie montante vers le nord de votre trajectoire**, un allumage en position **Orbit Normal** - augmente la latitude du point haut de la trajectoire et un allumage en position **Orbit Normal +** diminue la latitude du point haut de la trajectoire.
- **Si vous êtes dans la partie descendante vers le sud de votre trajectoire** un allumage en position **Orbit Normal +** augmente la latitude du point haut de la trajectoire et un allumage en position **Orbit Normal** – diminue la latitude du point haut de la trajectoire.

Nous nous sommes insérés en trajectoire rétrograde (Est –Ouest) puisque $E_{ql} > 90^\circ$.

Au moment du passage de l'équateur à environ Dst = 4.300M avant la cible nous sommes à la position de la flèche blanche sur la figure ci-dessus. Nous voyons que nous entamons une "montée" vers le nord
En vertu de la règle ci-dessus nous devons donc nous placer en position NORMAL+ pour corriger la trajectoire et allumer en ce point.

Préparer la mise en position NORMAL+ suffisamment à l'avance car l'inertie est importante et le mouvement est lent au début

Le voyant MASTER ALARM se déclenche quand le mouvement devient trop rapide et qu'il va y avoir dépassement de la position.

Dans ce cas stopper la rotation (KILLROT ou touche 5), acquitter l'alarme puis relancer NORMAL +.
Recommencer si nécessaire jusqu'à atteindre la position et être stable

Au moment du passage de l'équateur à environ Dst = 4.300M avant la cible, allumer le moteur principal en surveillant la trajectoire sur la Map.

Quand elle passe à peu près au milieu du cercle de la base, couper le moteur.

Il est difficile d'apprécier la correction aussi faut il faire au mieux. De toute façon ceci nous facilitera l'alunissage du LEM et nous permettra d'économiser son carburant. Mais attention, le CSM n'en a pas trop !

Vous pourrez constater à l'occasion qu'une petite correction comme celle là nous coûte 5 à 6 % de carburant ce qui montre bien l'importance du réglage de l'inclinaison le plus correct possible pour la trajectoire de transfert

7.2 – Mise en orbite circulaire

Après une orbite environ, l'équipage d'Apollo a opéré un allumage de quelques secondes pour circulariser l'orbite à l'altitude du périapsis de l'orbite d'insertion.

C'est ce que nous allons faire ! Nous pouvons soit nous placer en rétrograde et allumer en manuel au Periapsis quand $PeT = 0$ pour faire $Ecc=0$ soit utiliser la fonction Circularize du module Orbital de IMFD qui nous donne une très bonne précision.

Sur le MFD de gauche utiliser SET(en dessous) pour sélectionner à nouveau Interplanetary ce qui va normalement réafficher le module Orbit Insert précédant

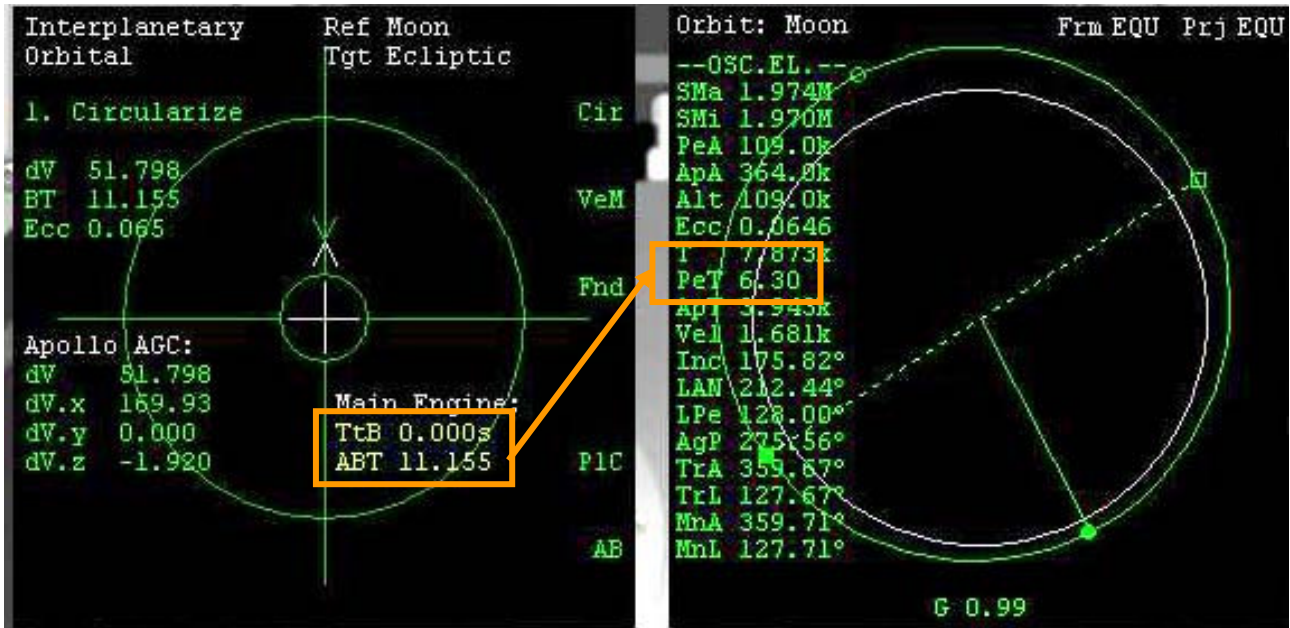
MNU pour appeler le menu

Prv/Nxt pour sélectionner le **module Orbital** puis **Set** pour ouvrir

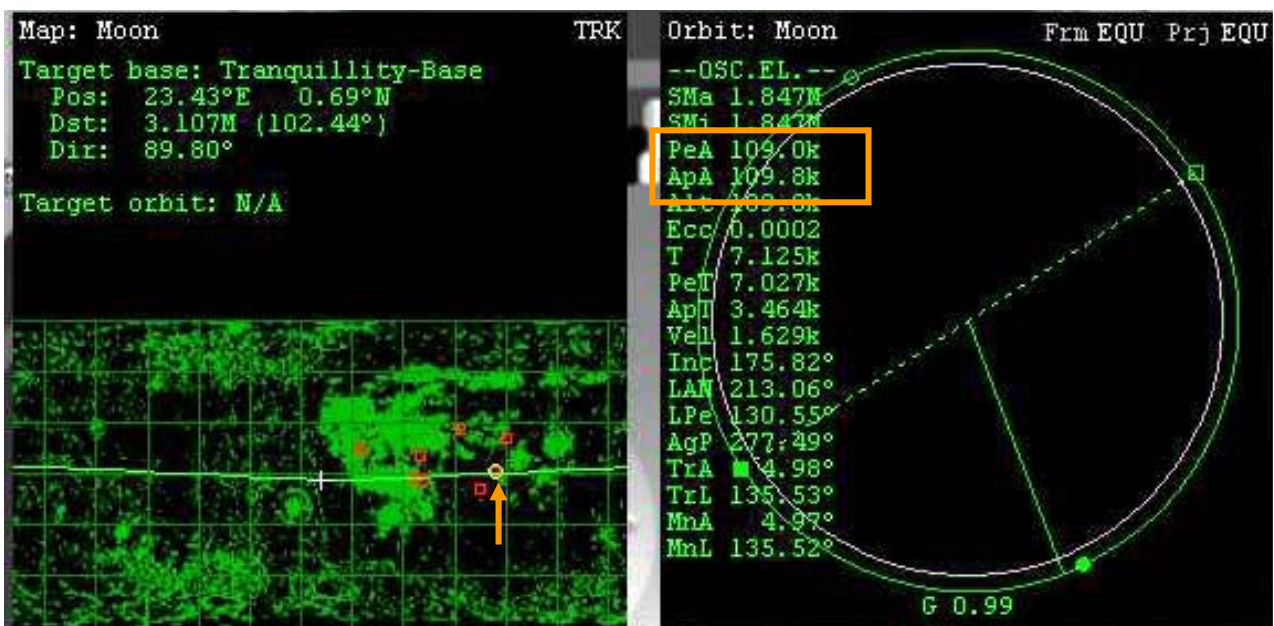
Par défaut la fonction Circularize est affichée.

En principe, si la position Retrograde est toujours activée depuis la manœuvre précédente il n'y a pas d'action particulière à entreprendre sinon avec les touches 1-3 et 8-2, centrer la croix dans la cible (attention à l'inertie !) puis passer en mode retrograde (touche \$ du clavier)

Attendre que PeT sur le module MFD Orbit à droite atteigne à peu près la moitié de la valeur prévue pour ABT et déclencher l'allumage auto avec AB (c'est la règle pour ne pas déformer l'orbite)



Voilà le résultat ci-dessous :



Orbite quasi circulaire à 109k passant pratiquement au dessus de la base
Temps 83h30mn
Bilan du carburant 39.2 %

Le scénario

07.3 – En orbite lunaire circulaire

Vous place avec CSM+LEM en orbite lunaire circulaire pour vous entraîner pour la suite de la mission

8 – DESCENTE DU LEM

Le LEM a été séparé du CSM au survol de la base le 20 juillet à 17h44mn05s GMT soit à T +100h12mn.

Suivant le moment de la mise en orbite et l'altitude de celle-ci le temps de séparation peut être légèrement différent.

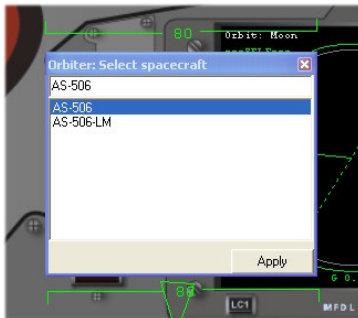
Dans notre cas nous survolons Tranquillity Base à T + 100h 43mn environ après 8 tours en orbite à partir de la mise en circulaire (ça nous laisse 17h13mn pour manger, se reposer observer le site d'atterrissage et contrôler le LEM avant la phase de descente)

Nous aurons 31mn de retard sur le planning réel. Tans pis la Lune nous attendra un peu !

Nous allons nous préparer à la descente à T+ 98h 45mn au dernier passage au dessus de la base avant la séparation, ce qui nous laisse 2h en réel.

Rétracter la sonde pour faire comme en vrai (voir § 4.2.2)

Penser aussi à mettre tous les interrupteurs du RCS du CSM sur OFF et vérifier que l'interrupteur du SPS est sur DIRECT pour éviter tout risque de retrouver le CSM à court de carburant à votre retour



Maintenant, il faut passer dans le LEM

- Touche F3
- Choisir AS-506-LM
- Faire Apply

Et nous y sommes !

Allumer la lumière avec Ctrl + flèche haute si nécessaire

8.1 – Préparation du LEM

Nous sommes dans le LEM et il faut le configurer pour la descente.

Il faut positionner un certain nombre d'interrupteurs (repérés en jaune de 1 à 7 sur la photo) sur les panneaux de commande principaux 1,2 et 3



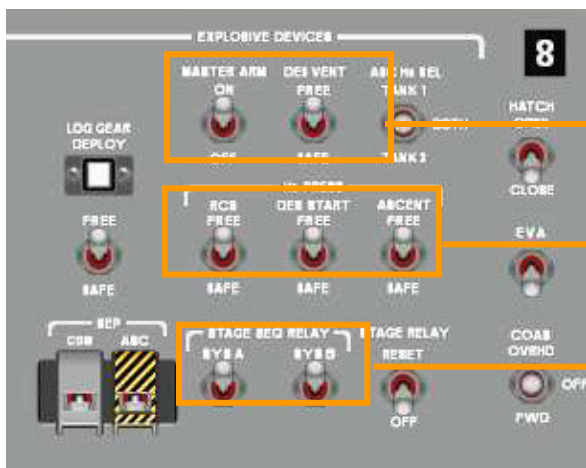
Pour préparer les moteurs RCS

- En 1 – positionner vers le bas pour sélectionner le RCS pour la descente
- En 2 – positionner sur ENABLE pour les 4 paires de RCS (voyants blancs)
- En 3 - positionner sur OPEN pour ouvrir les vannes d'injection du RCS (voyants blancs)
- En 4 – positionner la commande des RCS sur manu
- En 5 – positionner les contrôles d'attitude Yaw, Roll et Pitch sur ON

Pour préparer le moteur ventral Hover

- En 6 – positionner les vannes hélium de montée sur CLOSE (voyant strié) en cas d'ABORT
- En 7 – positionner les vannes hélium de descente sur CLOSE (voyant strié)
- En 8 – positionner l'interrupteur d'armement du Hover sur ARM

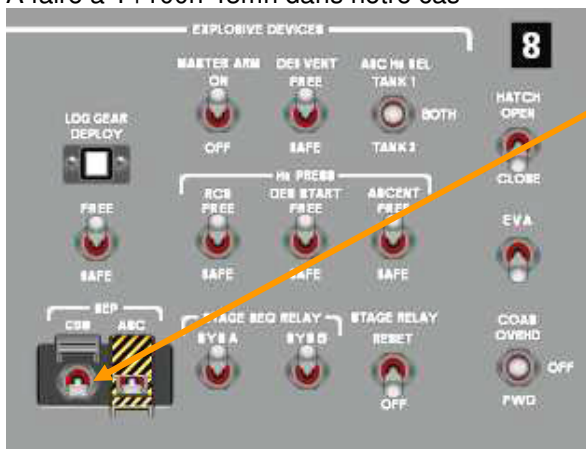
Pour préparer les sécurités explosives en cas d'incident (sur le panneau 8 en bas à gauche)



- Armer les sécurités
- Armer la pressurisation hélium du RCS
- Armer les relais de sécurité

8.2 – Séparation

A faire à T+100h 43mn dans notre cas



- Clic droit sur le capot de protection de SEP CSM
Clic gauche sur l'interrupteur et la séparation s'exécute

**Attention à ne pas se tromper d'interrupteur !
En actionnant le rayé jaune et noir on largue l'étage de remontée et adieu la Lune !**

Le scénario

08.1 - Separation du LEM.scn

vous place au dernier survol de la base avant la séparation du LEM un tour plus tard

8.3 – Modification de l'orbite du LEM

Le LEM est séparé du CSM et il va falloir le manœuvrer pour que son orbite se situe à une altitude comprise entre 10 et 15 km au dessus de la cible.

Le tour de la Lune à l'équateur est de 11000 km environ. Il faut donc théoriquement allumer en position rétrograde en un point éloigné de la base d'environ 5500 km (Distance sur la Map)

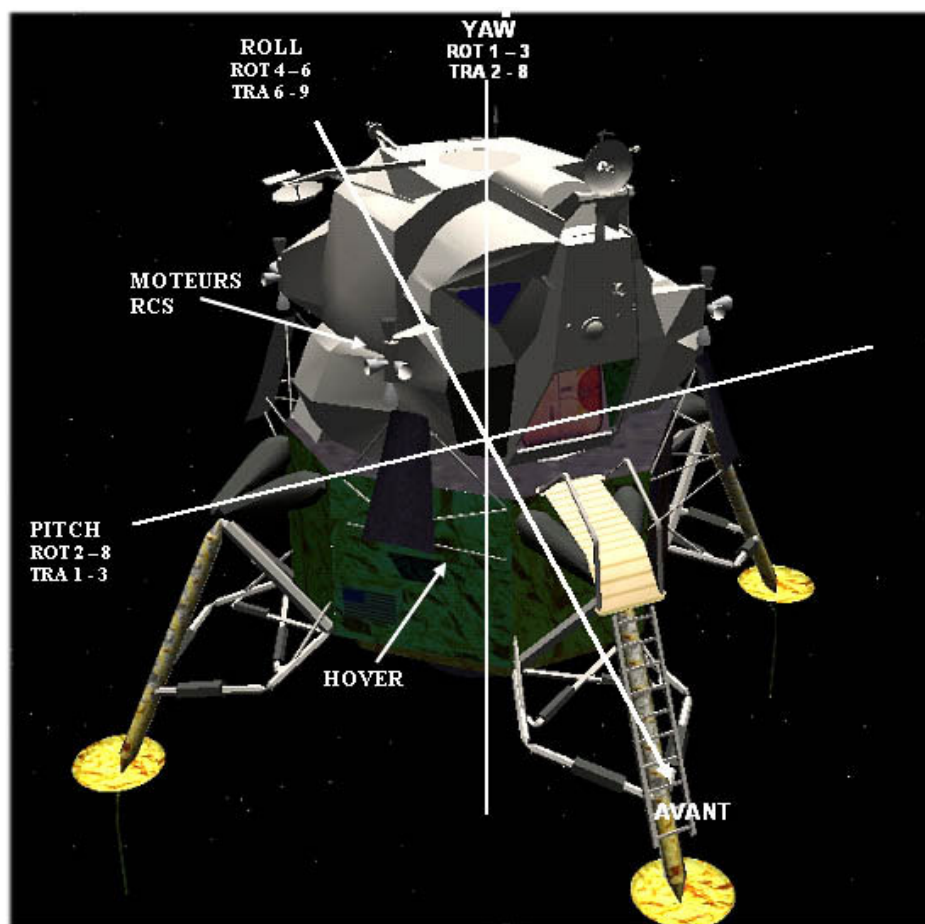
Sur le MFD Map il faut surveiller Dst en valeur croissante après le passage au dessus de la base et freiner lorsque la valeur atteint 5.450M environ (au moment ou elle commence à décroître)

On peut remarquer qu'il n'y a pas besoin d'une très grande précision sur l'instant du freinage. Une petite erreur joue peu sur l'altitude finale au dessus de la base.

Le LEM est un peu particulier à piloter car il ne possède pas de moteur principal et il a seulement un moteur ventral HOVER.

La figure ci-dessous vous donne ses axes de références et les touches permettant la rotation et la translation.

Je vous conseille de lire ma note "UTILISER LE LEM" que vous trouverez sur le forum pour en savoir plus.



On ne peut pas freiner en le plaçant en position Retrograde puisqu'il n'a pas de moteur à l'arrière.

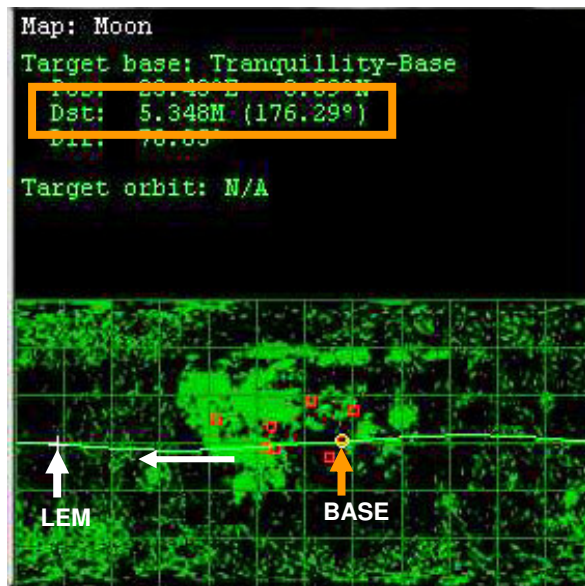
En fait, le moyen le plus simple pour le mettre en position de freinage est de demander NML + ou NML –

- Afficher si ce n'est pas fait le MFD Orbit à droite référence Moon et le MFD Map standard à gauche avec Tranquillity-base comme target
- RShift(Shift droite)+ D pour afficher PeA et ApA
- M pour placer le LEM en position NORMAL+

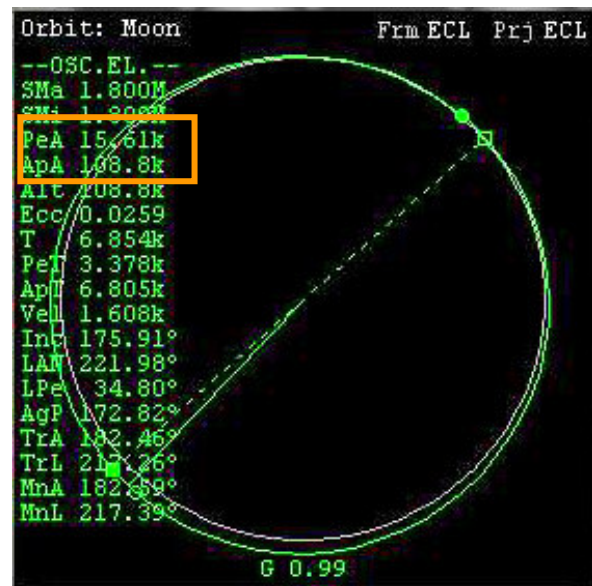
Lorsque la distance Dst sur la Map commence à diminuer après avoir survolé la base (n'oubliez pas que le LEM se déplace de droite à gauche dans le sens Retrograde), allumer le HOVER avec la touche 0 du clavier numérique (touche . pour diminuer, touche * pour arrêter)

Attention, soyez prudent car PeD diminue vite et il ne faut pas effectuer une forte poussée !

Continuer à allumer jusqu'à ce que PeA soit de l'ordre de 10 à 15k



Fin d'allumage



Orbite finale

Bilan du carburant :

Allumage pendant 29 s environ. Il reste 98,8% de carburant

NOTA:

A partir de la mission Apollo 14 ce changement d'orbite est effectué par le CSM avant de décrocher le LEM pour économiser le carburant de celui-ci.

Dans ce cas, après décrochage du LEM, le CSM manœuvre au bon moment pour se remettre en orbite circulaire à environ 100km d'altitude

Le scénario

08.2 – LEM sur orbite 15km.scn

vous place sur l'orbite 15/110 km passant au dessus de la base

8.4 – Descente du LEM

Il nous reste approximativement une heure avant la descente.

Lorsque notre distance Dst décroissante atteint 1000 km environ nous allons nous préparer pour cette phase qui est peut-être la plus difficile.

Il est intéressant pour faciliter la descente qui se fait de nuit d'utiliser la touche F9 qui affichera la position et le nom de la base dans un carré jaune (cocher au préalable la case "Surface bases" en utilisant CTRL + F9 pour ouvrir les options du planetarium)

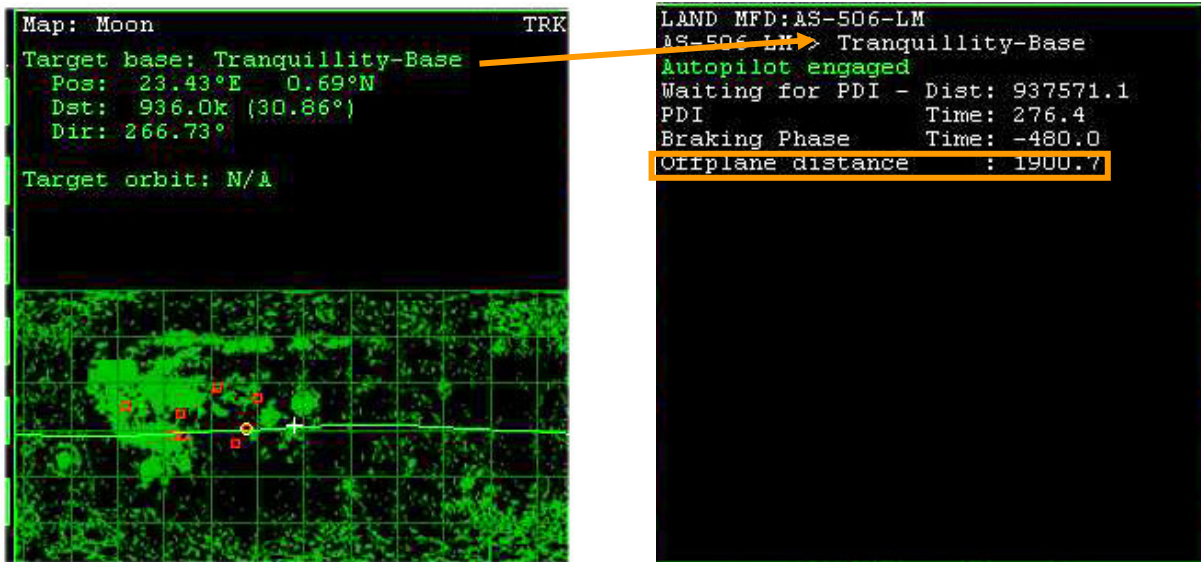


- Déplier les pieds du LEM en agissant sur l'interrupteur du panneau de sécurité (en bas à gauche)

8.4.1 – Descente automatique

Si nous sommes fatigués, nous utiliserons l'excellent LandMFD que nous devons avoir chargé et activé dans l'onglet module du Launchpad

- Normalement le MFD de gauche doit toujours afficher la Map standard avec comme Target Tranquillity-base
Si ce n'est pas le cas ouvrir le MFD Map et choisir l'objectif
- Afficher LandMFD sur le MFD de droite et à moins de 1000 km de la base faire RSHIFT + 0 (zéro) pour armer l'autopilot.



Pour pouvoir armer l'autopilote, il faut absolument que Map soit ouverte avec l'objectif choisi et que la trajectoire soit proche du centre de la base pour que Offplane distance soit < 44000

Si ces conditions sont remplies comme c'est le cas ci-dessus vous n'avez plus qu'à admirer la précision de l'alunissage qui débute 500 km environ avant l'arrivée.

Observez bien en vue interne et externe le déroulement de la manœuvre car vous devrez faire à peu près la même chose en manuel pur ou assisté si vous le souhaitez

Si vous désirez vous rapprocher de la vérité, désengagez le pilote auto par RShift + 0 lorsque vous vous trouvez à 100 m du sol et terminez l'alunissage manuellement comme l'a fait Neil Armstrong

8.4.2 – Descente en pilotage manuel assisté

Le principe pour alunir et que l'on peut utiliser en "manuel" est le suivant :

- Allumage en rétro-freinage à environ 500 km du site
- Contrôle du pitch pour diminuer les vitesses horizontale et verticale et descendre jusqu'à la "High Gate" qui est un point situé à environ 8 km du site et à 2300 m d'altitude
En même temps on effectue un contrôle de direction pour se diriger vers l'objectif
- Redressement progressif du LEM pour faire diminuer les vitesses et atteindre la "Low Gate" qui est un point situé à 600 m du site et à 150 m d'altitude. La vitesse horizontale doit être inférieure à 10 m/s
- Stabilisation et derniers ajustements en mode manuel en vitesse et en direction, puis descente finale à vitesse verticale inférieure à 3 m/s et horizontale inférieure à 2 m/s

Le Lunar Landing MFD va nous assister pour ces opérations en nous guidant pour la descente.

Lunar Landing MFD

Mode: Monitor ← Phase de fonctionnement
 AutoThrottle: Engaged ← Shift + T Choix de la poussée automatique
 Throttle Mode: Horizontal Guidance ← Shift + , (virgule) choix du mode AutoThrottle
 Target Site: Tranquillity ← Shift + N ou P Objectif suivant ou précédent
 Lat: 0.69 Lng: 23.43 Dir: -0.17 ← Lat et Lng = Latitude et Longitude du LEM
 Dir = écart par rapport à la direction de la cible

-----Horiz-----Vert-----
 Distance: 1.05M 20.06k ← Distance, Vitesse, et Accélération par rapport à la cible dans les directions verticales et horizontales
 Velocity: 1.69k -26.45
 Accel: 0.03 0.03
 Required: -1.37 -15.43 ← Vitesses requises
 Max Accel: +/-3.08 ← Accélération maximum positive ou négative pouvant être fournie par le moteur

Six modes possibles qui apparaissent automatiquement :

- Monitor avant l'allumage
- Bracking de l'allumage à la "High Gate"
- Pitchover en atteignant la "High Gate"
- Approach de la "High Gate" à la "Low Gate"
- Landing de la "Low Gate" à la prise de contact
- Contact sur la surface

Quatre modes possibles en AutoThrottle (Auto Pilote)

Horizontal guidance	ce mode permet d'avoir la bonne vitesse horizontale à la "High Gate" Le calculateur contrôle la position horizontale et le pilote la position verticale
Digital Autopilote DAP	le calculateur contrôle à la fois la position verticale et horizontale
Rate of descent (Auto)	inverse au premier mode. Le calculateur contrôlr la position verticale et le pilote la position horizontale
Rate of descent (Manual)	idem au mode précédent sauf que le taux de descente est choisi par le pilote

L'allumage automatique s'effectue à 480 km de l'objectif

Nous utiliserons le mode Horizontal guidance et réglerons nous même la descente et le cap (le mode DAP ne fonctionne pas très bien)

ATTENTION !

N'oubliez pas de charger Le NEP Enhancement Pack sinon le choix du site par LShift + N ou P conduira à un CTD car les fichiers cfg des sites lunaires sont vides à l'exception de Brighton Beach

La première chose à faire est de placer le LEM en position de freinage comme nous l'avons déjà fait

- pour passer en position NML+
- 3 ou 1 sur clavier numérique pour faire tourner le LEM sur l'axe moteur de façon à placer les hublots sur le dessus par rapport au sens du déplacement.

On ne verra pas le sol mais quand on redressera le LEM on verra le paysage pour l'alunissage.

Dans cette position on aperçoit Venus si on a appuyé sur F9 pour afficher le planétarium

Ajuster l'indicateur du vecteur vitesse sur 60 sur l'échelle verticale et 0 sur l'échelle horizontale en utilisant les touches 1-3 et 2-8



Voilà comment se présentent les échelles sur le HUD en mode Orbit et la position du LEM (l'objectif est en haut au-delà de l'horizon)

1^{ère} phase – Descente vers la "High Gate"

Sur le MFD droite, afficher le module MFD Surface

Sur le MFD gauche utiliser SET pour choisir et afficher le module Lunar Landing MFD

Il n'y a pas d'indications sur les touches du MFD et il faut utiliser les raccourcis clavier (convention classique LShift pour Shift gauche pour le MFD de gauche, et RShift pour Shift droit pour le MFD de droite)

- **LShift + N ou P** pour choisir Tranquillity qui est le site d'alunissage pour Apollo 11
- **LShift + T** pour engager AutoThrottle sur Horizontal Guidance
Attention après l'allumage ! C'est la partie la plus difficile pour réaliser la bonne descente jusqu'à la "High Gate"

```
Lunar Landing MFD
Mode:           Braking
AutoThrottle:   Engaged
Throttle Mode:  Horizontal Guidance
Target Site:    Tranquillity

Lat:   0.69  Lng:  23.43  Dir: -0.39
-----Horiz-----Vert---
Distance: 460.10k      12.79k
Velocity:  1.67k      -12.16
Accel:     -3.07       0.22

Required:  -3.08      -20.95
Delta:      0.01       8.79

Time Remaining: 8:30
```

Après l'allumage, il faut surveiller sans cesse les valeurs Dir et Delta vertical et faire les corrections:

Dir indique l'écart de direction par rapport à la route normale vers la cible. C'est le Glide Path d'un ILS

Si Dir < 0 agir sur la touche 4
Si Dir > 0 agir sur la touche 6

Delta indique l'écart des vitesses horizontales et verticales par rapport aux théoriques pour suivre une bonne pente. C'est le Glide Slope d'un ILS

Nous contrôlons la vitesse verticale en réglant le pitch en fonction de son écart Delta par rapport à la vitesse théorique

Si Delta < 0 agir sur la touche 8 (on descend trop vite, il faut ajouter du pitch)
Si Delta > 0 agir sur la touche 2 (on descend trop lentement, il faut diminuer le pitch)

Dans la phase de descente vers la "High Gate" il faut d'abord chercher à faire Dir = 0 et ensuite régler Delta en vertical pour essayer de le rendre nul.

Règle simple à appliquer pour la descente

Maintenir Dir et Delta (Vert) le plus près possible de zéro

Si Delta > 0 agir sur la touche 2
Si Delta < 0 agir sur la touche 8
Si Dir < 0 agir sur la touche 4
Si Dir > 0 agir sur la touche 6

Time Remaining indique le temps restant avant d'atteindre la "High Gate"

On ne peut pas faire de miracle mais en procédant à des petites retouches en permanence on suit assez bien le chemin.

2^{ème} phase – Descente vers la "Low Gate" et atterrissage

Arrivé à la "High Gate" le Time Remaining est nul et l'on se trouve à moins de 10km du site et à 2400m d'altitude environ.

A partir de là il faut enchaîner très vite les manoeuvres. Passer à T = 0,1x peut faciliter

- Diminuer le Pitch à 60° pour diminuer la vitesse horizontale (on redresse le LEM) tout en diminuant la vitesse verticale
Attention : assurez vous que la vitesse verticale reste négative sinon vous remontez
- Quand la vitesse horizontale atteint 50 m/s, diminuer le Pitch à 40° et réduire la poussée à environ 1/3 pour garder la vitesse verticale négative et de l'ordre de - 20 m/s
- Quand la vitesse horizontale < 10 m/s amener le pitch à 0 et appuyer sur L pour engager HLEVEL (le LEM se redresse en position verticale, moteur dirigé vers le sol)


```
Lunar Landing MFD
Mode: Pitchover
AutoThrottle: Disengaged
Target Site: Tranquillity
Lat: 0.69 Lng: 23.43 Dir:-9.17

-----Horiz-----Vert---
Distance: 7.09k 2.05k
Velocity: 46.01 -7.66
Accel: -4.55 1.14
```

On voit que Dir n'est pas très bon mais on ne peut plus corriger facilement. Il faut accorder une grande attention à avoir Dir pratiquement égal à 0 en arrivant à la "High Gate"

Garder la vitesse verticale négative et inférieure à 20 si possible

Diminuer la vitesse pour avoir moins de 10

```
Lunar Landing MFD
Mode: Landing
AutoThrottle: Disengaged
Target Site: Tranquillity
Lat: 0.69 Lng: 23.43 Dir:-94.98

-----Horiz-----Vert---
Distance: 6.28k 94.32
Velocity: 8.33 -2.88
Accel: -0.00 0.02

Horizontal: 0.26
Vertical: -2.88
Lateral: 8.33
```

Lorsque l'on arrive à la "Low Gate" le MFD commute en mode Landing.

Il affiche en bas les paramètres d'approche définitifs

C'est parfait si la vitesse horizontale est inférieure à 2 m/s et la vitesse verticale est inférieure à -3 m/s

On peut passer en stationnaire HOLDALT en appuyant sur la touche Q et passer en visuel pour localiser le site et faire des petites rectifications en mode translation.



A 30 km du site qui est le rond clair
Altitude 8000 m



A la High Gate - altitude 2300 m à 8 km du site
Le LEM se redresse

8.4.3 – Descente en pilotage manuel "intuitif"

Nous n'utiliserons que le MFD Surface pour nous aider.

Cette méthode est inspirée de celle qu'utilise JOE_BAR le concepteur de NASSP et je l'ai seulement adaptée pour rester dans le style des deux possibilités décrites ci avant.

Son texte est joint en annexe si vous voulez essayer de faire comme lui.

- Positionner le LEM comme en 8.4.2 en position freinage.
- Afficher le MFD Map à gauche et le MFD Surface à droite



Il va falloir surveiller la vitesse sol GS, l'altitude ALT et la vitesse verticale VS et agir sur les contrôles d'attitude et la poussée pour régler la descente

C'est assez difficile et il est bon de jeter un coup d'œil à l'extérieur en utilisant F1 de temps en temps pour se situer.

Voici une marche à suivre pour se guider dans la descente :

- A une distance de 440 km du site (Dst sur Map) allumer le Hover à pleine puissance (0 numérique) et maintenir le pitch à 85° en utilisant les touches 2-8
- Maintenir VS aux alentours de 0 jusqu'à environ 300 km en jouant un peu sur le pitch
- Laisser VS augmenter jusqu'à -20 m/s (descente) et la stabiliser. On doit alors se trouver à 150 km de la base à environ 15 km d'altitude
- Amener progressivement le pitch vers 75° pour stabiliser VS à -50m/s. On doit alors se trouver 75 km de la base à 12 km d'altitude.
- Réduire le pitch pour avoir environ 60° et garder VS compris entre -50 et -60 m/s. On doit alors se trouver à 60 km de la base à 9 km d'altitude
- Réduire alors la poussée du Hover à la moitié (2.6 environ)
- Continuer à contrôler VS entre -50 et -60 m/s et se trouver à 15km de la base à 4km d'altitude
- A 3km de distance et 300m d'altitude diminuer la poussée à 1/3 (1.6 environ)

On doit alors être près du but avec une vitesse horizontale GS et verticale VS assez faible.

Pour l'alunissage correct il faut que ces valeurs soient le plus faible possible et en tout cas inférieures à 10.

Comme en 8.4.2 on peut utiliser HOLDALT pour terminer l'approche

A vous de tester !

Pour les fainéants, le MFD LandMFD permet un alunissage très précis sans se donner du mal mais c'est moins glorieux !

Si tout va bien vous vous poserez le 20 juillet vers 20h20 GMT (en réel le 20 juillet 20h17mn39s) et je l'espère très près du point prévu.

HOUSTON EAGLE A ATTERRI Papy est un artiste !

Remarquez les beaux voyants bleus allumés sur le tableau de bord pour indiquer le contact avec la Lune

Carburant restant plus de 11 % en automatique - il y a un peu de reste !!! - mais combien restera t'il en manuel assisté ou intuitif ?

Si il reste moins de 0.5 % sans être posé, vous entendrez le bruit des boulons explosifs et l'étage de remontée repart pour se mettre en orbite. Vous ne verrez pas la Lune cette fois....

Ne perdez pas courage, entraînez vous et vous arriverez à vous poser avec une bonne précision assez facilement.

C'est certainement la partie la plus délicate de la mission mais quel régal !

Les scénarios

08.3 –LEM à 1000km.scn

08.4 –LEM a High Gate.scn

vous placent à différentes phases avant et pendant la descente pour vous entraîner

8.2 – Annulation de la descente

A tout moment il est possible d'annuler la descente si on le désire.



- Cliquer sur le bouton ABORT et les boulons explosifs séparent l'étage de descente de l'étage de remontée avec un bruit sympathique
- Cliquer sur le voyant ABORT STAGE pour acquitter
- Prendre en manuel l'étage de remontée pour se replacer en orbite et rejoindre le CSM comme expliqué plus loin

Cette annulation se produit automatiquement si il reste moins de 0.5% de carburant en cours de descente

9 – SORTIE SUR LA LUNE (EVA)

La sortie s'est effectuée 109h24mn15s après le début du lancement, soit le 21 juillet 1969 à 02h56mn15s GMT.

Si vous voulez respecter le timing vous pouvez accélérer le temps pour atteindre cet instant en suivant l'horloge du LEM. Sinon couchez vous et dormez un peu pendant 7 heures.

Le scénario

09.1 – LEM sortie EVA.scn

vous place 2mn avant l'instant de la sortie

Passez votre scaphandre et allons-y pour la promenade....*En raison d'un bug, le cosmonaute est un peu enterré dans le sol lunaire, mais ça marche et vous pouvez faire des photos de ce moment historique !*



Sur le panneau central 2

- Dépressuriser la cabine en relevant l'interrupteur de pressurisation (en dessous de l'horizon artificiel)



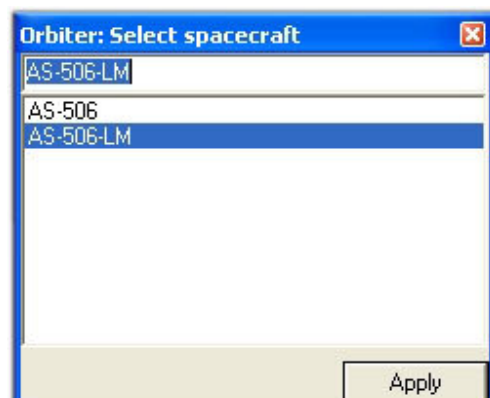
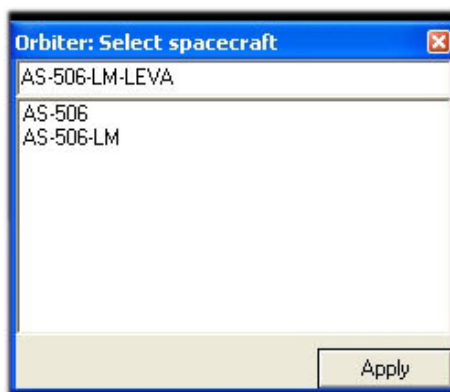
Sur le panneau de sécurité 8 (en bas à gauche)

- Ouvrir le Hatch (écouille) en levant l'interrupteur
- Relever l'interrupteur EVA pour déclencher la sortie

Automatiquement on passe en mode sortie. Le 1^{er} cosmonaute est sous contrôle au pied de l'échelle et peut être déplacé et tourné au moyen des touches du clavier numérique 2-8, 4-6 et 1-3
En appuyant sur F il plante son drapeau

Vous pouvez vous placer à votre choix dans le LEM ou revenir au cosmonaute en tapant F3 et en choisissant votre destination.

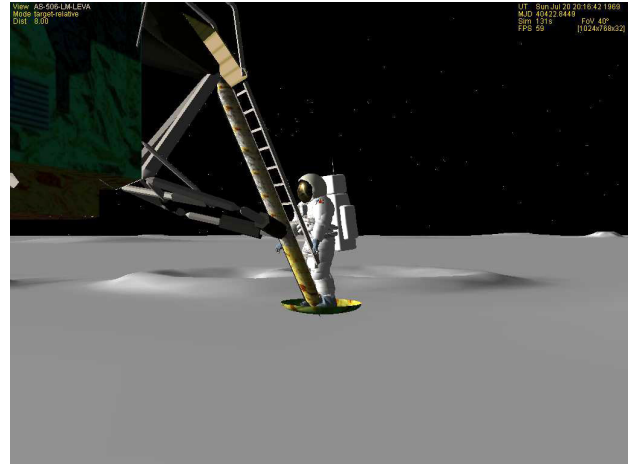
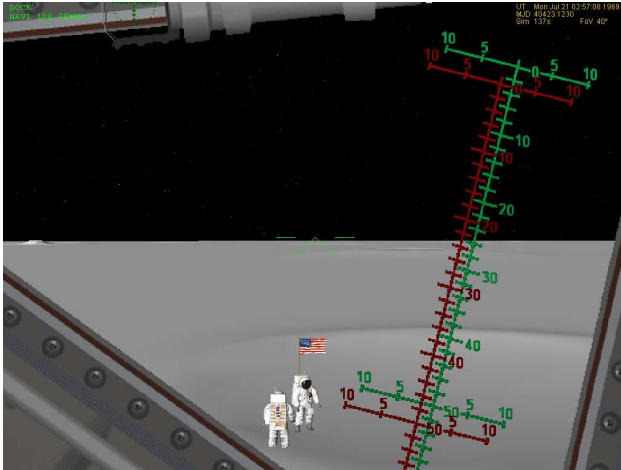
Un bug fait que le cosmonaute n'apparaît pas dans la liste et vous devez taper vous-même son appellation AS-506-LM-LEVA.



On peut corriger ce défaut en modifiant le fichier Saturn5_LEVA.cfg en écrivant EnableFocus=TRUE

ClassName = Saturn5_LEVA
module = Saturn5_LEVA
EnableFocus = TRUE

Vous pouvez faire sortir le deuxième cosmonaute en revenant dans le LEM en utilisant F3 et en redemandant une EVA deux fois de suite.



La sortie a duré 2h15mn, la rentrée se faisant le 21/07 à 5h11mn

On peut faire rentrer un cosmonaute en le sélectionnant avec F3 pour le ramener au pied de l'échelle puis en appuyant sur la touche E.

On rentre alors automatiquement dans le LEM et si on veut ramener le deuxième il faut à nouveau le sélectionner.

Le scénario

09.2 –LEM rentree EVA.scn

vous place à l'instant de la rentrée 2h15mn après la sortie pour la promenade

10 – REMONTEE ET RENDEZ-VOUS AVEC LE CSM

La situation est la suivante :

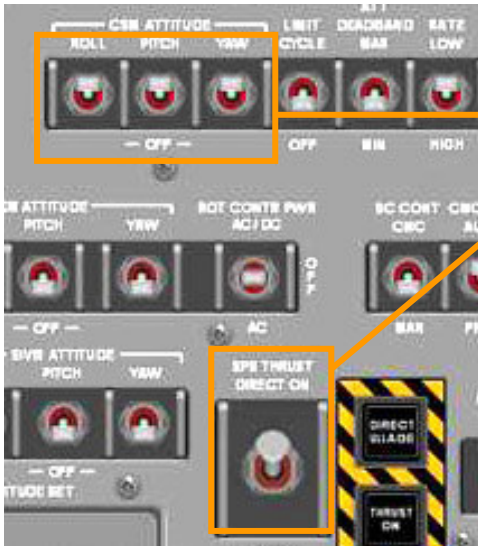
Le CSM est en orbite circulaire à altitude de 110km environ et il passe régulièrement au dessus du site

Le LEM doit le rejoindre en se plaçant d'abord sur une orbite elliptique d'altitude variant entre 15k et 80k, puis on circularise l'orbite à l'altitude 80k (30km en dessous du CSM) on aligne les plans et enfin on synchronise sur l'orbite du CSM pour le rejoindre.

La remontée a commencé en réel le 21 juillet à 17h54mn GMT soit 124h22mn après le lancement

10.1 – Préparation du CSM

Avant de remonter et pendant que nos amis Neil et Buzz font un somme réparateur, faisons un petit tour dans le CSM pour voir si tout va bien et pour corriger son orbite



Touche F3 et choix de AS-506 et le miracle s'accomplit !

- Remettre les interrupteurs RCS en bonne position (faire F8 si nécessaire)
- Remettre l'interrupteur du SPS sur DIRECT si nécessaire
- Sur le MFD de droite, afficher le MFD Orbit et faire DFT pour afficher PeA et ApA
- Sur le MFD de gauche, afficher le MFD Map et prendre Tranquillity-base comme objectif

Examinons l'orbite et la Map

Sur la Map on voit que notre orbite passe bien au dessus du site donc pas de correction à faire pour faciliter la rencontre avec le LEM. Sinon il faudrait corriger comme nous l'avons expliqué au § 7 pour la mise en orbite lunaire.

L'orbite est presque circulaire donc pas de correction à faire. Avec un faible Ecc il n'est pas nécessaire de corriger sinon on le ferait en position prograde à l'Apoapsis ou en position rétrograde au Périapsis



Il faut maintenant trouver le cap du CSM qui nous servira pour choisir le cap de lancement du LEM. Voilà une façon simple pour le faire.

Tourner le CSM dans le sens Prograde (touche ^) et afficher le HUD en mode Surface (touches F8 et H)

Lorsque CSM passe au dessus de la base, noter la valeur du cap qui sera celle du cap de lancement que nous devons prendre avec le LEM pour avoir un plan le mieux aligné possible par rapport à l'orbite de CSM.



Nous avons ici 266 °

Redescendre dans le LEM avec F3 puis avec le choix de AS-506-LM

Il faut maintenant attendre le moment du lancement qui a eu lieu 124h22mn après le début de mission soit le 21 juillet à 17h54

10.2 – Préparation du LEM et lancement en orbite elliptique

Faire avancer le temps jusqu'aux alentours de 124h14mn ce qui nous place environ 13mn avant le moment de remontée du LEM déclenchée quelques minutes après que CSM passe à la verticale.

La NASA l'a fait à 124h22mn soit 17h54mn mais évidemment le temps varie un peu suivant les conditions de mise en orbite. Comme nous avons vu que l'insertion s'est finie avec un peu de retard nous remonterons vers 124h27mn soit 17h59mn GMT

Préparer le lancement:

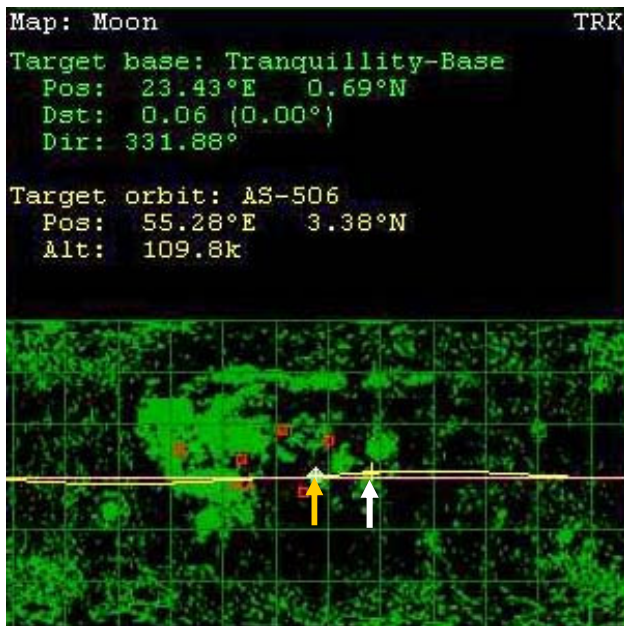


- **Vérifier que les interrupteurs** repérés par les chiffres jaune sont bien positionnés. Normalement vous avez seulement à mettre On ceux des system A et B pour ABC fuel et ABC Oxo(voir encadrement en orange ci dessus)
-
- A droite, afficher le **MFD Surface**
- **Faire F1 puis H plusieurs fois si nécessaire** pour afficher le HUD normal en mode surface et faciliter les lectures d'échelles

Le scénario

10.1 – Avant remontée du LEM.scn

vous place le 21 juillet vers 17h48mn GMT une dizaine de minutes avant le passage du CSM à la verticale



En suivant sur la carte, attendre que CSM (croix blanche) passe au dessus du LEM (croix jaune)
Attendre 3 minutes environ après son passage au dessus et déclencher le lancement en demandant la séparation de la partie supérieure du LEM par l'interrupteur ABC sur le panneau 8 (en bas à gauche)



- Clic droit sur le capot strié jaune et noir
- Clic gauche sur l'interrupteur

Un compte à rebours commence pour 10s; les boulons explosifs nous séparent et c'est parti pour l'allumage. Adieu la Lune !

Dans mon exemple il va être à peu près 18h01mn, nous avons 7mn de retard sur le planning théorique mais ça n'est pas grave et nous sommes très bon quand même.

NOTA

Pourquoi attendre quelques minutes ?

C'est pour laisser le CSM prendre un petit peu d'avance. Sa vitesse est de 1,634 km/s environ, il aura dans 3mn parcouru environ 300km.

Nous monterons en 8mn environ pour nous placer sur une orbite plus basse ou notre vitesse sera de 1,655 km/s soit 21m/s plus rapide. Nous parcourons donc 300 km en 14300 s environ soit le temps de faire sensiblement deux orbites et nous serions sensiblement à niveau avec le CSM sur notre orbite

On pourra donc synchroniser les orbites pour rattraper le CSM sur à peu près deux tours d'orbite

Nous aurions plus lancer au moment du passage au dessus du site et synchroniser sur un seul tour mais nous serions obligé d'adopter une orbite plus elliptique pour le transfert avec l'inconvénient d'user plus de carburant et d'avoir une approche plus difficile en raison de l'angle relatif des trajectoires.

La NASA l'a fait sur deux tours, ce n'est pas pour rien.

Pendant le comptage (sans perdre de temps)

- **Afficher le MFD Orbit à gauche** en faisant DST pour afficher PeA et ApA

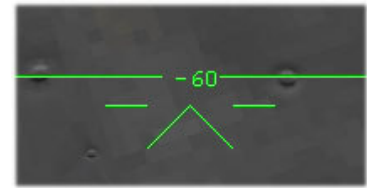
Le moteur s'allume après 10 s

Accomplir les opérations suivantes pour la mise en orbite que nous effectuerons à 60k à une altitude inférieure d'environ 50 km à celle de CSM:



Dès le départ, agir sur les touches

1 et 3 pour faire tourner le LEM en lacet (YAW) et amener son cap à celui du CSM que nous avons noté. Dans notre cas 266°



- Avec la touche 8 (2 pour corriger), incliner progressivement vers le bas entre 60 et 70° (on donne du pitch vers l'horizontale)
- **Suivre sur le MFD Surface l'évolution de la vitesse verticale VS et la maintenir à environ +50 m/s en agissant sur le pitch (touches 8-2)**
- Vers 14 km d'altitude incliner à l'horizontale à 88/90 °
- Stopper le moteur quand ApA atteint 80k et PeA est au moins égal à 10k

Vous avez à peu près ce timing (suivre le compteur en bas à gauche du HUD qui apparaît si on a coché l'option "Display a T + time counter at launch during 300s" dans SoundConfig.exe)

- Monter verticalement pendant 20s
- Incliner jusqu'à 65° environ
- A 80 s incliner jusqu'à 70°
- A 200 s incliner entre 75 et 80°
- A 14 km d'altitude (lu sur le HUD) atteint entre 280 et 300s, incliner à 88/90° et surveiller ApA et PeA jusqu'à avoir les valeurs correctes : pour ApA de l'ordre de 80k et pour PeA de l'ordre de 15k
Garder Vs très légèrement positif

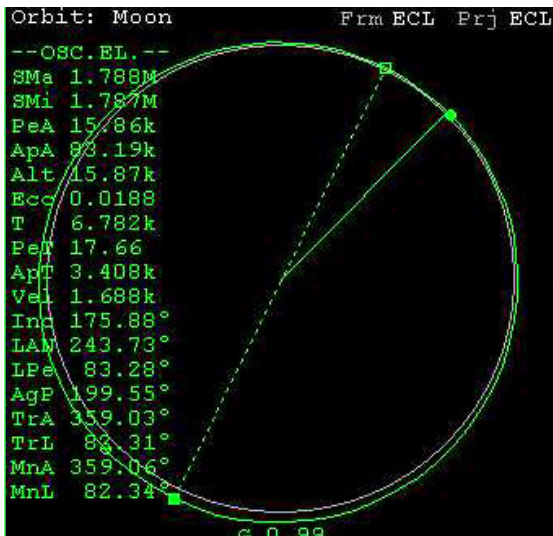
Attention !

Opérer par petites impulsions pour les corrections



Bien maintenir l'inclinaison à un peu moins de 90° à partir de 14km comme sur la figure ci contre

C'est important pour la réussite de la mise en orbite si l'on veut obtenir PeA > 10k avec ApA de l'ordre de 80k



Vous verrez augmenter rapidement le PeA quand l'orbite commence à se rapprocher du cercle. Il faut diminuer la poussée du moteur (touche . à droite du 0 sur le clavier numérique) pour que l'augmentation soit lente et que l'on puisse arrêter lorsque PeA qui devient ApA approche 80k. Mettre la poussée du Hover à 2 (voir échelle en haut à gauche du HUD) puis à 1 quand PeA = 0 et moins en final.

Avec un peu d'entraînement, vous y arriverez ce n'est pas très difficile si vous maîtrisez bien la commande des moteurs ce qui est fondamental dans Orbiter.

On peut faire une correction en final en passant en mode Translation et en utilisant les touches 2 et 8.

Pendant la montée, surveiller ApT et régler le pitch pour toujours le garder de l'ordre de 30 à 40 s tout en maintenant VS à une valeur de l'ordre de 50m/s jusqu'à 14 km. (rester entre 50 et 60 m/s).
Lorsqu'on atteint 14 km, maintenir VS à une valeur très légèrement positive.
C'est important pour que notre orbite ait un Apoapsis et un periapsis correct en final.

Pour les artistes du clavier !

Un peu plus dur mais faisable pour économiser du carburant (pas indispensable mais c'est pour expliquer). Nous avons lancé au cap 266° ce qui est bien, mais notre plan orbital n'est sûrement pas parfaitement aligné avec celui de AS-506.

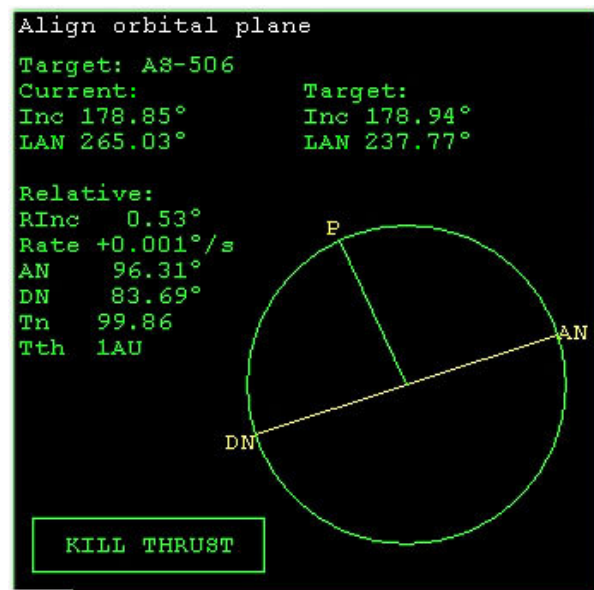
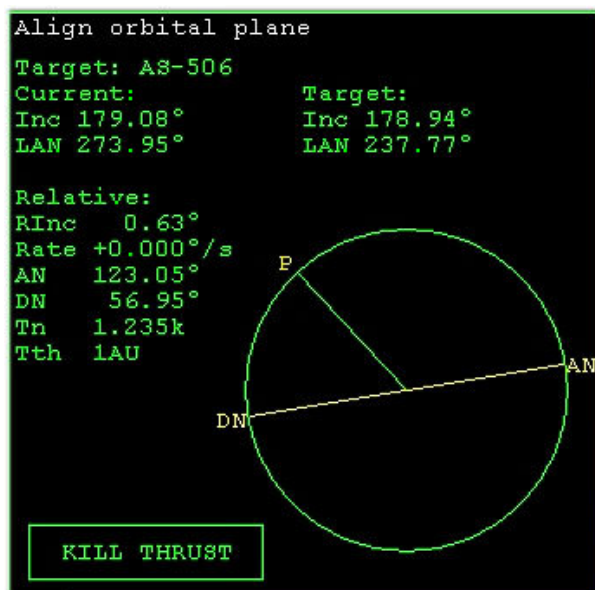
Il faut le vérifier en cours d'ascension car si on fait une rectification, si elle est possible, on gagne du carburant pour la suite. On peut corriger entre 100 et 200s après le départ.

Nous pouvons ouvrir un 3^{ème} MFD en utilisant Ctrl+F4 pour appeler le MFD Extern et y afficher le MFD Align Orbital Plane tout en gardant le MFD Surface à droite pour surveiller la vitesse verticale VS pour pouvoir faire une correction si nécessaire.

Entrer AS-506 comme objectif.

Si le point P n'est pas à égale distance de DN et AN (figure gauche) nous pouvons corriger pour diminuer le plus possible RInc.

- Passer en mode Translation par la touche /
- Agir avec les touches 1 ou 3 pour diminuer RInc



Content ? Nous avons économisé un peu de carburant pour la suite....

Continuer la mise en orbite

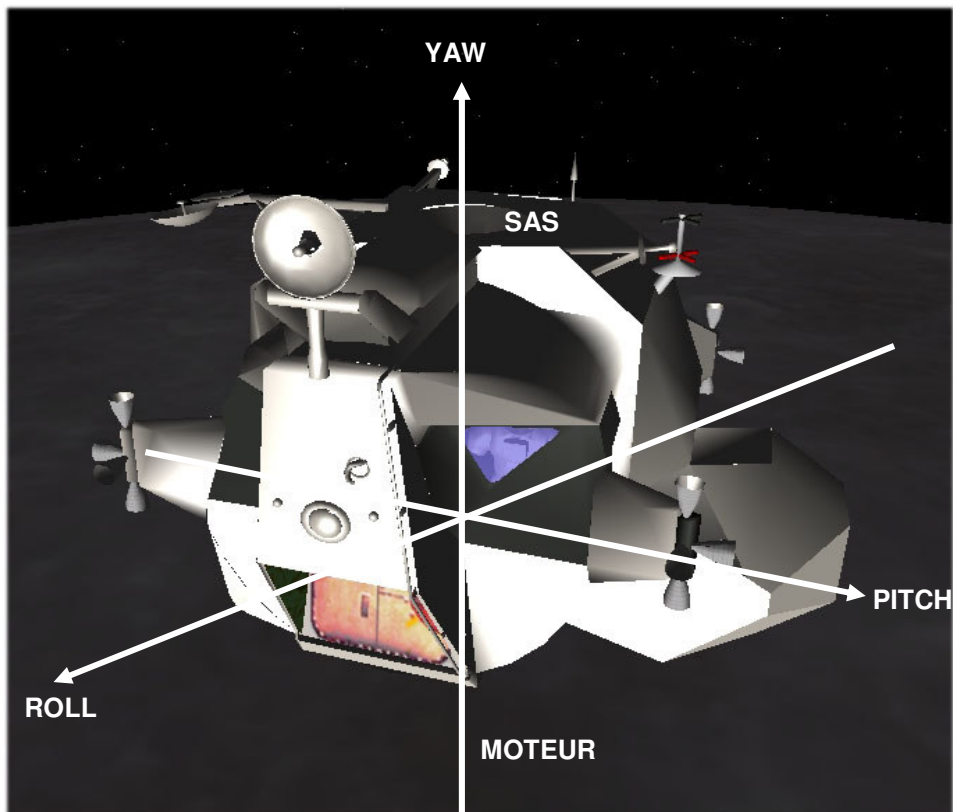
Le scénario

10.2 – LEM en orbite de remontée.scn

vous place avec le LEM sur orbite 15/80km avant la circularisation.pour vous entraîner.

10.3 – Rendre l'orbite circulaire

Avant de continuer, un petit mot sur les axes de l'étage supérieur du LEM pour faciliter la compréhension de son contrôle



Les axes sont les mêmes que pour l'ensemble LEM avec les deux étages de descente et remontée et les touches du clavier numérique ont le même effet (voir au paragraphe 8.2)

Le sas est sur le dessus et le moteur à l'opposé sur le dessous

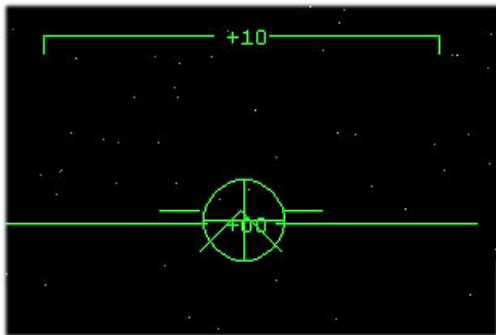
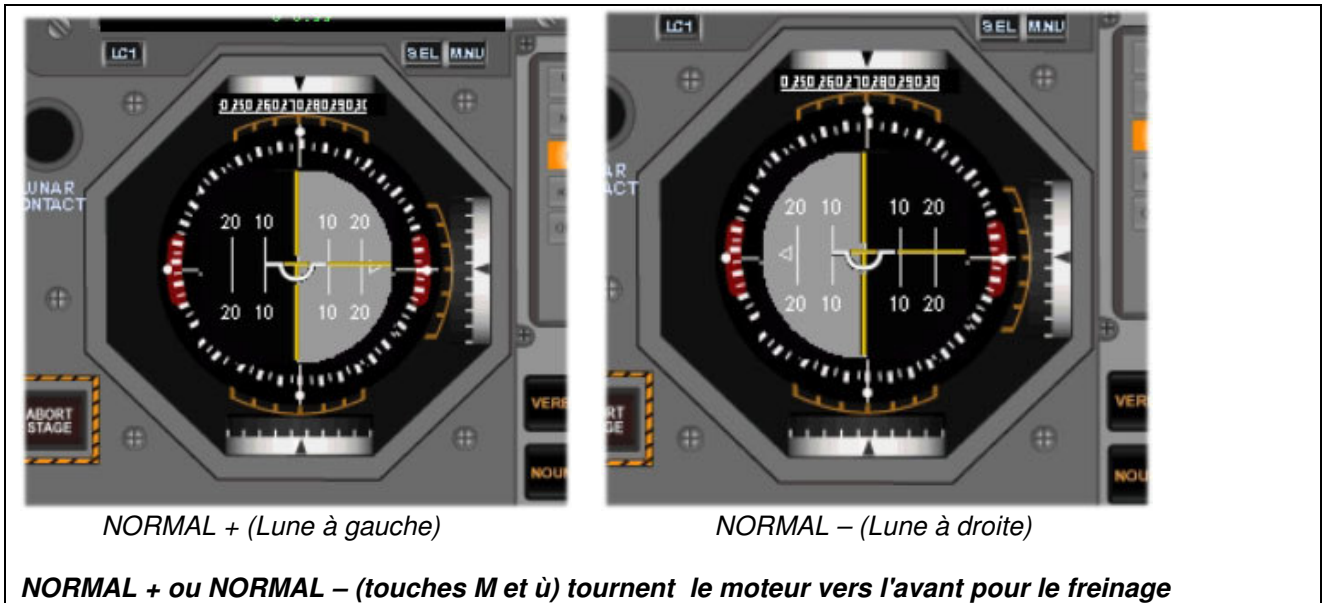
Deux astuces utiles :

Le LEM est un HOVER qui ne dispose que d'un moteur ventral et de ce fait son pilotage est un peu déconcertant et son positionnement peut paraître bizarre. Deux astuces permettent de ne pas trop se tromper

PROG (touche ^) est égal à NORMAL +

On peut alors passer à NORMAL- par une rotation ROLL de 180° (action sur les touches 4 et 6)

L'indicateur de position est utile pour vérifier



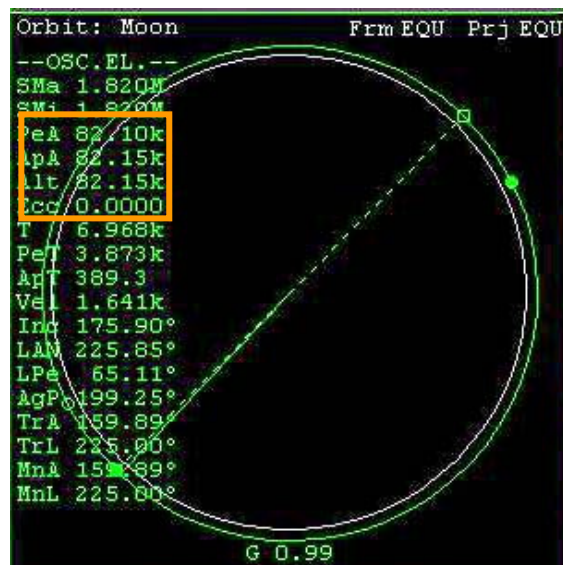
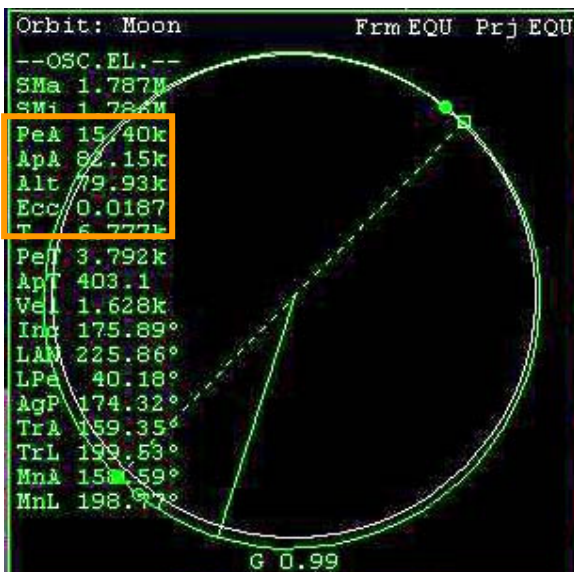
- Le plus clair pour s'y retrouver est de partir d'une position connue qui est HLEVEL que l'on demande par la touche L
- Vérifier que l'on est en mode rotation
- Ensuite on se positionne dans le sens de la marche en utilisant les touches 1 et 3 pour aligner le vecteur vitesse et le vecteur de direction comme ci contre
- Pour placer le moteur vers l'arrière donner du pitch (touche 8) jusqu'à atteindre -90°

On voit la Lune défiler en dessous.

Le moteur est tourné vers l'arrière.

Tout est OK ? Alors on y va pour circulariser en allumant en position prograde (pour hover) à l'Apoapsis pour augmenter le Periapsis .

- Passer en HLEVEL puis pitch à $=90$ avec la touche 8 comme expliqué ci-dessus
- Ouvrir le MFD Orbit si ce n'est pas déjà fait



- Lorsque ApT (figure de gauche) atteint 20s environ, allumer le moteur à faible puissance en donnant une seule impulsion sur la touche 0
- Maintenir l'inclinaison à - 90° au moins avec les touches 8-2 comme nous l'avons fait à la mise en orbite (le LEM a tendance à relever le nez)
- Surveiller l'excentricité qui diminue très vite
- Stopper le moteur (touche . à droite du 0) dès que l'excentricité avoisine 0
- On peut faire une correction pour affiner en final en passant en mode Translation et en utilisant les touches 2 et 8

Nous voilà en orbite quasiment circulaire à une altitude moyenne de 82.10k (figure de droite)

Le scénario

10.3– LEM en orbite circulaire

vous place en position pour l'alignement des plans

10.4 - Utilisation du calculateur de bord pour la mise en orbite circulaire

On peut utiliser le calculateur pour réaliser automatiquement la mise en orbite circulaire

Voilà les séquences à réaliser à l'aide du clavier



PROG pour activer le calculateur

VERB 37 NOUN 10 pour activer le programme 10 de lancement
06 44 clignote en attente des données

VERB 21 ENTER pour donner la valeur de l'Apoapsis souhaité en dizaines de mètres (ici +08000 correspond à 80000 m)

VERB 22 ENTER pour donner la valeur du Periapsis souhaité en dizaines de mètres (ici +07990 correspond à 79900 m car il faut laisser 100m d'écart pour que ça marche)

VER 23 ENTER pour donner la valeur du cap de lancement en degrés et centièmes de degrés (ici 265° 00 centièmes)



PROG pour passer à l'étape suivante et régler le temps avant lancement

06 33 clignote en attente des données

VERB 21 ENTER pour donner les heures (nous avons 0 car nous lancerons seulement quelques minutes après le passage de CSM à la verticale)

VERB 22 ENTER pour donner les minutes (nous avons 2 pour déclencher le tir deux minutes après le signal que nous donnerons au passage du CSM)

VERB 23 ENTER pour donner les centièmes de secondes



PROG pour passer à l'étape suivante

50 25 clignote pour signaler qu'il faut vérifier la mise en automatique du contrôle (pas opérationnel pour le moment)

PROG pour confirmer les vérifications

06 74 clignote et il y a affichage

- du temps avant lancement en minutes et secondes
- de la valeur de l'Apoapsis choisi
- de la valeur du cap de lancement



30 secondes avant le lancement l'écran s'efface et affiche 99 74 en clignotant.

Il faut confirmer le lancement avant 30 secondes en faisant PROG sinon il est annulé

L'écran affiche alors 16 74 et donne :

- les secondes décomptées avant lancement
- l'Apoapsis prévu
- le cap de lancement



Quand le lancement se produit le calculateur affiche le programme 11 et donne les informations en cours de montée

- Apoapsis et Periapsis en km
- Pourcentage de carburant restant

Quand les moteurs s'arrêtent, le calculateur passe en programme 12 et affiche 16 94 clignotant et affiche:

- L'Apoapsis de l'orbite
- L'altitude actuelle
- L'Apoapsis prévu



Il faut confirmer la mise définitive en orbite circulaire en faisant PROG

16 94 passe en fixe

L'afficheur donne à tout moment en dizaine de mètres

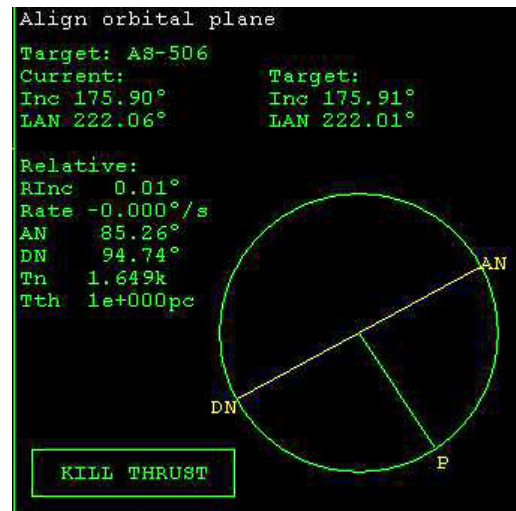
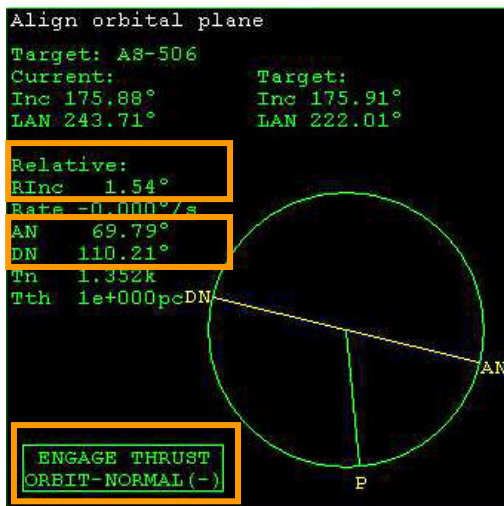
- L'Apoapsis actuel
- L'altitude atteinte
- L'Apoapsis objectif

Il suffit d'attendre. Quand le LEM arrive à l'Apoapsis de son orbite, il s'oriente dès que ApT atteint 200s et l'allumage se fait automatiquement jusqu'à la mise en circulaire (presque)



10.5 – Alignement des plans orbitaux

Quelque soit la façon de lancer, il reste à accomplir le meilleur alignement possible pour les plans orbitaux.



Ouvrir le MFD Align Plane et faire target AS-506

- Demander PROG par la touche ^ (on se trouve en NORMAL+)

Si P approche de DN ($DN < 1^\circ$) allumer le moteur doucement (une impulsion) sinon si P approche de AN ($AN < 1^\circ$) se placer en mode NORMAL- en faisant un ROLL à 180° avant l'allumage (touches 4-6)

RInc diminue assez rapidement. Arrêter le moteur quand RInc est < 0.05

Passer en mode Translation (touche /)

en donnant des impulsions avec les touches 2 ou 8 ajuster pour avoir RInc voisin de 0 si possible

Le texte ENGAGE THRUST nous donne la position NORMAL à choisir par contre il clignote en rouge beaucoup trop tôt pour l'allumage. Il faut attendre que P soit très près de AN ou DN pour allumer si on veut pouvoir réduire RInc à presque 0. Allumer quand l'angle An ou DN suivant le cas est $< 1^\circ$

La valeur de PeA et ApA va varier un peu ce qui est normal en raison des légers décentrages de poussée mais ça ne porte pas à conséquence

Carburant restant un peu plus de 7% il ne faut pas gaspiller pour la suite !

Le scénario

10.4 – LEM en orbite circulaire plans alignés

vous place en bonne position pour la synchronisation plans alignés

10.3 – Synchronisation et rencontre avec CSM

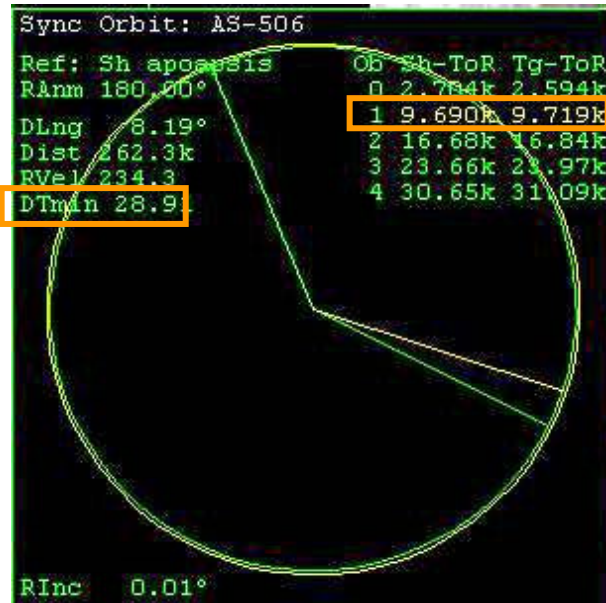
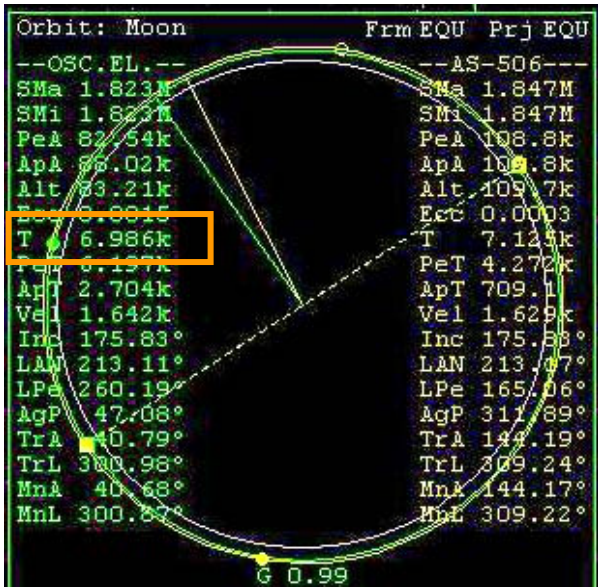
Nous allons utiliser le module de synchronisation des orbites pour le rendez-vous dont le processus est le même que pour une station spatiale. Nous nous synchroniserons à l'apoapsis de notre orbite en l'augmentant puisque nous gravitons sur une orbite plus basse d'environ 30 km

Sur un MFD afficher le MFD Orbit si ce n'est pas déjà fait puis:

- **Target** puis entrer AS-506 comme cible
- **DST** pour affiche PeA et ApA

Sur l'autre MFD afficher le MFD Sync Orbit puis :

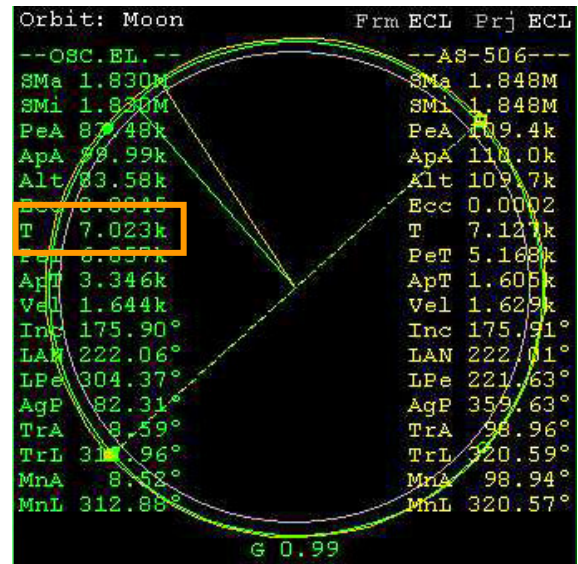
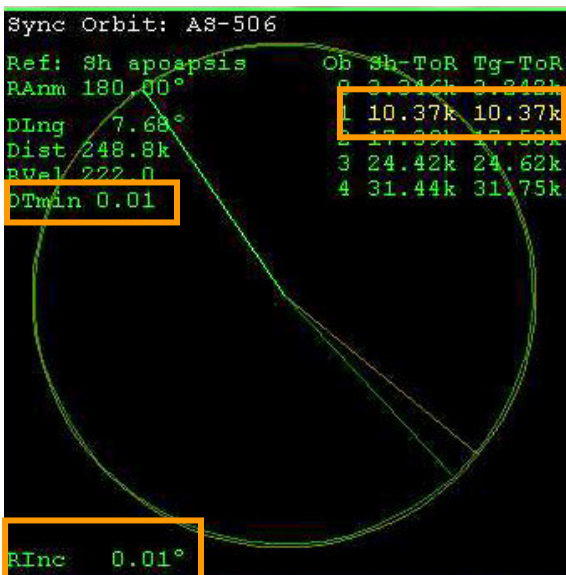
- **Target** puis entrer AS-506 comme cible
- **MOD** pour choisir le mode Sh Apoapsis



On va pouvoir obtenir une solution dans 10000k environ soit dans un tour et demi environ (la période T est de 6.986k sur le MFD Orbit)

En plaçant le LEM en position Prograde et en allumant jusqu'à avoir DTmin voisin de 0 nous aurons réussi et la rencontre se fera sans difficulté d'autant plus que RInc = 0.01° très voisin de 0

- Si le LEM n'est pas en position Prograde, le placer comme expliqué au paragraphe 10.3
- Allumer doucement le moteur en surveillant DTmin
- **Couper le moteur quand DT min est proche de 0**
- Ajuster finement en passant en mode translation et en utilisant les touches 2 et 8 et la touche CTRL pour des petites et brèves impulsions



Voilà ci-dessus, le résultat trouvé

Si tout se passe bien, la rencontre aura lieu dans 10370 s soit 2h52mn

On voit sur le module Orbit qu'un tour se fait en T=7023 s donc la rencontre aura lieu dans moins de deux tours

DTmin est égal à 0 mais il est souvent impossible d'avoir une valeur nulle (0.01 ou 0.02 est très bien)

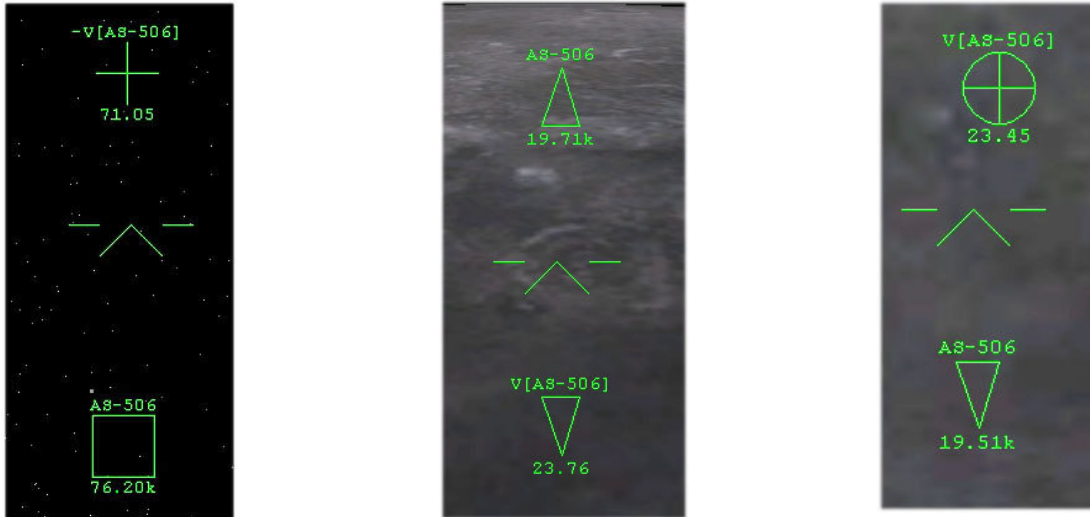
L'inclinaison relative RInc est bonne à 0.01

On peut remarquer que ApA pour le LEM n'atteint que 100k alors que celui de AS-506 est de 110k. Nous ne serons pas théoriquement à son niveau au moment de la synchronisation.

En fait nous nous recalerons en approche en utilisant le RCS en translation pour remonter notre ApA
Ceci nous permet d'économiser un tour par rapport à l'utilisation de Synchro orbit en mode Interception ou nous aurions notre ApA au moins égal à celui de As-506

- Passer le HUD en mode DOCK avec la touche H
- Faire LShift + D pour appeler le module APR/DOCK

Les éléments qui peuvent apparaître sur l'affichage sont les suivants



Pour se repérer:

Le triangle avec AS-506 signale dans quelle direction il faut se déplacer pour aller vers le carré qui entoure la cible et la distance à la cible

Le triangle surmonté par V(AS-506) donne dans quelle direction il faut se déplacer pour trouver l'indicateur du vecteur vitesse et sa valeur

Pour agir:

Le carré signale la position de l'objectif AS-506 (le CSM) et sa distance (ici 76200m)

La croix dans un rond surmontée de V(AS-506) est équivalent à PROGRADE

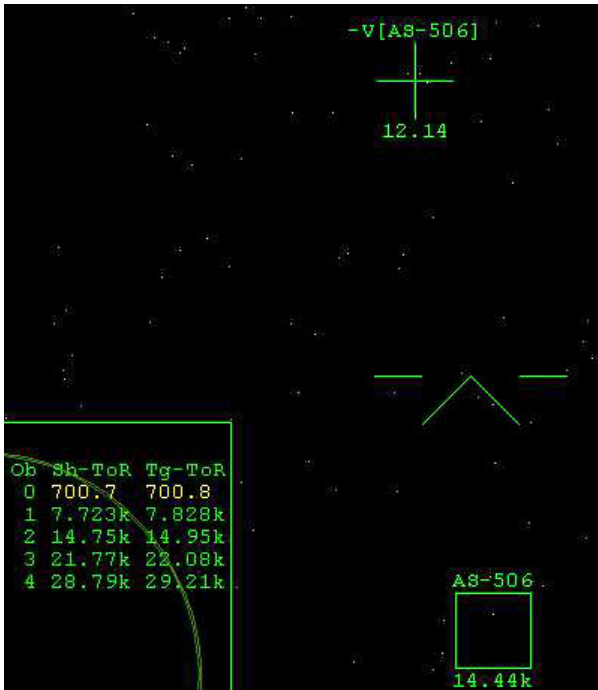
La croix surmontée de -V(AS-506) est équivalent à RETROGRADE

Le signe devant V indique que AS-506 vient vers nous ou s'éloigne de nous.

Le jeu va consister lorsqu'on approche de CSM à maintenir le vecteur vitesse rétrograde (la croix) centrée dans le carré en se plaçant en mode TRANSLATION (touche /) et en utilisant les touches 2-8 et 1-3
Ne pas faire cette opération de centrage de la croix trop tôt. Tant que la distance avec le CSM décroît l'approche est correcte.

Ensuite il faut freiner pour annuler l'écart de vitesse CVEL en utilisant toujours en mode translation les touches 6-9.

Attention ! il faut toujours un écart de vitesse positif (échelle en jaune sur le LFD dock) sinon on ne s'approchera pas assez de la cible. Il faut surveiller CVEL et redonner de la vitesse par utilisation des touches 6-9 en mode translation si nécessaire



Laisser passer le premier tour et lorsque nous sommes à la fin de la dernière révolution (<1000k environ pour Sh-ToR) il faut amener la croix dans le carré pour corriger la trajectoire si elle n'y est pas, ce qui est peut probable sinon la synchro aurait été parfaite

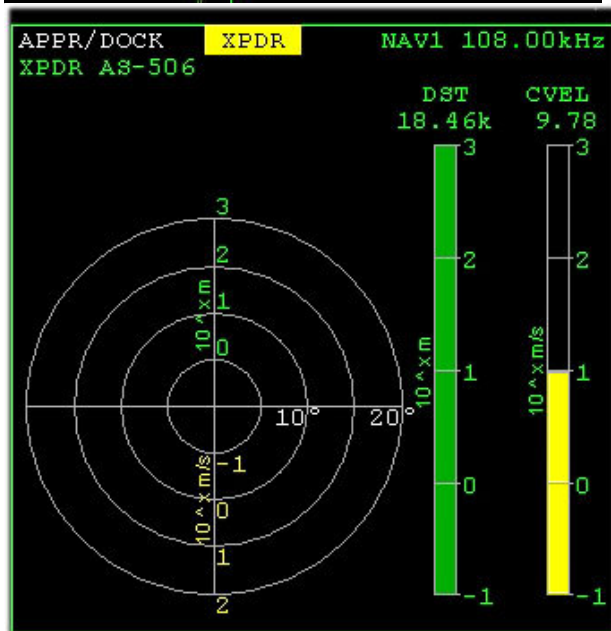
On réalise cet exploit en mode TRANSLATION (touche /) en utilisant les touches 8-2 en déplacement vertical et ensuite 1-3 en déplacement horizontal

Au début il faut allumer pendant un temps assez important qui peut atteindre 20 à 30 s

Ensuite une fois la croix dans le carré il faut la maintenir centrée par de petites impulsions.

Si tout va bien, la distance par rapport à CSM diminue (affichée sous le carré)

Lorsqu'elle atteint 4 km il est temps de ralentir en utilisant les touches 9 et 6



Bien veiller à garder une valeur positive pour CVEL et utiliser la touche 6 pour l'augmenter si il le faut

CVEL et DST vont nous servir à régler notre approche.

En règle générale, ne jamais laisser CVEL dépasser le double de DST (ici il égale la moitié ce qui est bien)

Quand on se trouve à 1.00k (1000m) on doit avoir CVEL <2

Poursuivre l'approche jusqu'à moins de 50 m en s'arrangeant pour que CVEL soit nul à ce moment.

Le plus dur est fait !

Il reste à faire l'arrimage qui a été opéré en réel depuis le CSM, les conditions de visibilité pour l'approche étant parfaite, contrairement à celle du LEM qui n'a pas les hublots dans l'axe du cône.

- Orienter le LEM pour que son cône d'arrimage (opposé au moteur) soit tourné vers CSM. On peut s'aider pour le faire de la vue extérieure ou mieux encore, après avoir placé le marqueur de direction du LEM (V inversé) sur le CSM qui est alors droit devant nous) opérer une rotation de 90° vers l'avant avec la touche 8 en surveillant la valeur sur l'échelle du HUD en mode surface SRFCE
- Passer dans CSM en faisant F3 puis en choisissant AS-506. Il est probable que le CSM soit en rotation et que l'alarme retentisse. Remettre les commutateurs Yaw, Roll et Pitch en position On pour reprendre le contrôle du RCS (voir page 29) Annuler la rotation avec la touche 5 du pavé numérique et acquitter l'alarme.
- **Faire VIS pour que le MFD APR/DOCK prenne en compte le signal VIS du LEM et puisse afficher le positionnement (ça marche à partir de 100 km)**
- Il suffit maintenant de procéder à l'arrimage comme nous l'avons fait pour le retournement en rendant les axes parallèles (croix X centrée) en mode ROTATION puis en utilisant le mode translation pour aligner les axes et approcher à CVEL < 0.10
On peut aussi opérer à vue.

Attention à vérifier que le commutateur SEP 2 soit en position basse sinon il n'y a pas d'arrimage et le LEM rebondit. En principe il l'est puisqu'on a largué à partir de celui du LEM mais il vaut mieux être prudent !

Parfait nous sommes rentré au chaud dans notre bon CSM et retrouvons notre pilote et nos pantoufles Il est entre 23h15mn et 23h30 mn environ. Nous avons du retard par rapport à la mission réelle car nous n'avons pas tout à fait les mêmes horaires en insertion d'orbite et le CSM ne passe pas au dessus tout à fait à la même heure. Nous avons assez de temps pour embarquer nos échantillons lunaires et notre journal de bord

Les scénarios

10.5 – Rencontre dans un quart d'orbite.scn

10.6- CSM à 50 m.scn

10.7 –CSM et LEM arrimés

vous placent au instants intéressants pour vous entraîner à la rencontre

Quelques remarques :

Pour avoir une bonne rencontre il faut bien aligner les plans c'est essentiel pour la précision Il vaut mieux ne pas essayer d'aller trop vite pour la rencontre et faire plutôt un tour de plus pour que les trajectoires se rapprochent plus progressivement. Si elles se coupent avec un angle trop important là encore la précision en souffre et la maîtrise de CVEL est plus difficile. Rien ne presse. Prenez votre temps !

11- RETOUR VERS LA TERRE

Vérifier que votre orbite est bonne et ne percute pas la Lune. On ne sait jamais vous auriez pu la déformer pendant l'arrimage en faisant une fausse manœuvre.

11.1 – Largage du LEM

Comme la NASA nous allons larguer le LEM à 23h41mn ou 130h09mn31s après le début de mission (voir horloge du CSM)

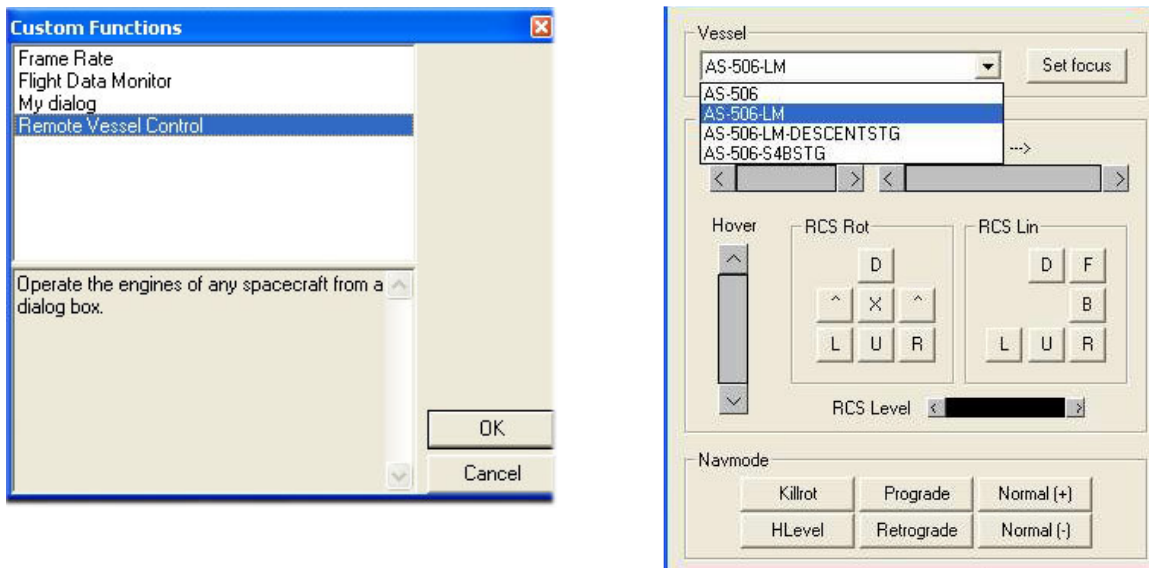


- Clic droit pour ouvrir le capot de l'interrupteur FINAL
- Clic gauche sur l'interrupteur

Adieu au LEM

Un truc amusant est d'utiliser le Remote control pour manœuvrer le LEM sans être dedans en regardant de l'extérieur.

- Vérifier que le module Rcontrol est activé dans l'onglet module du Launchpad
- Faire CTRL + F4 pour ouvrir la fenêtre Custom Functions
- Choisir Remote Vessel Control et OK
- Choisir AS 506 LM, faire Set Focus et on a le contrôle à distance



Amusez vous à faire de la radio commande avec le LEM. N'oubliez pas que le moteur principal se commande avec HOVER

On peut ensuite l'expédier sur la Lune en allumant le moteur en mode rétrograde comme ça a été fait en réel pour provoquer une onde sismique analysée par les appareils déposés sur la Lune par l'équipage. Attention a ne pas heurter le CSM ! La NASA ne vous le pardonnerait pas.

11.2 – Recherche d'une solution de mise en orbite de transfert vers la Terre

La NASA a procédé a la mise sur orbite de transfert 135h23mn42s après le lancement. Nous allons essayer d'être au plus près de ce moment. Nous n'aurons pas forcément le même en fonction de notre orbite mais nous devrions être assez proche.
Avançons dans le temps pour nous placer vers 134h23mn après le départ (voir horloge du tableau de bord) et cherchons une solution avec un lancement correct se situant plus tard.
Nous serons alors au dessus de la face cachée et obscure de la Lune

Le scénario

11.1 – CSM à T + 134h23mn.scn

vous permet de rechercher la solution de tir en vous plaçant 1h environ avant la mise à feu

Consommation en carburant

La consommation du moteur avec le CSM seul nous permet un temps de combustion moyen d'environ 80s pour 10% de carburant.

Comme il nous reste environ 39% ceci nous donne un BT approché **maximum** de 312s, aussi il est prudent de chercher une solution qui allume moins de 160s (la moitié) pour garder une marge pour les corrections futures si nécessaire

Utilisation de IMFD

Ouvrir IMFD sur l'afficheur de gauche en utilisant SET pour sélectionner Interplanetary

- **MNU** puis sélectionner **Orbit Eject** avec Prv/Nxt
- **Set** pour ouvrir le module Orbit Eject
- **+** plusieurs fois pour choisir Lower Orbit

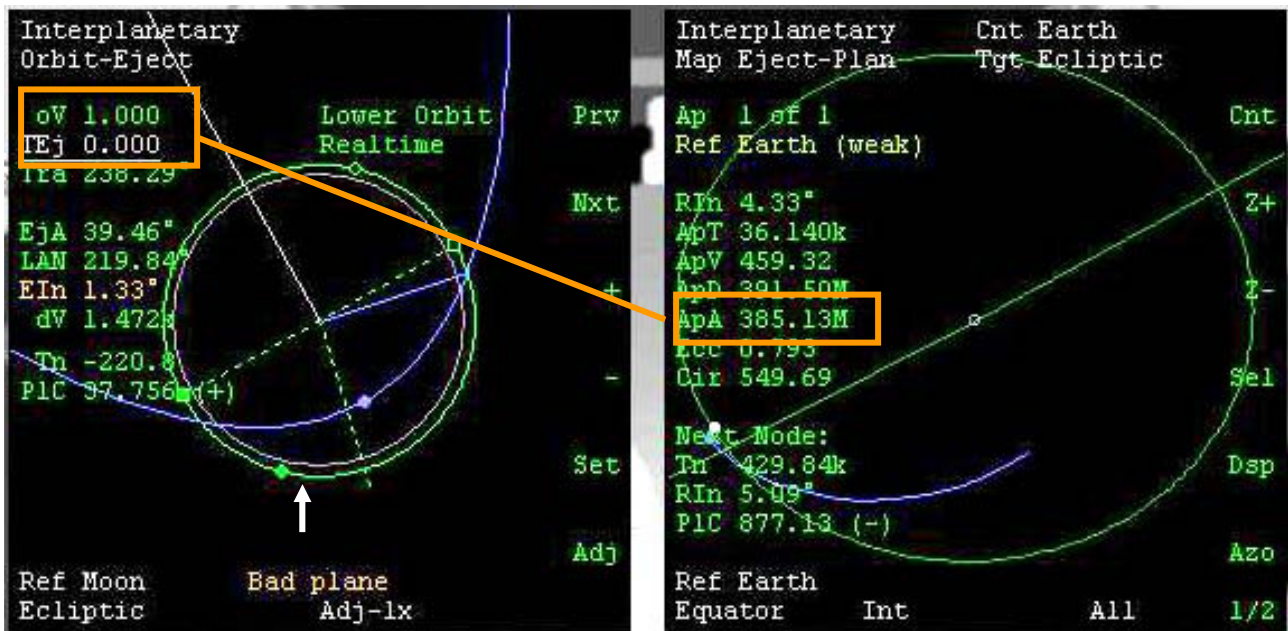
On choisit Lower Orbit car on quitte un satellite de la planète mère

Ouvrir IMFD sur l'afficheur de droite en utilisant SET pour sélectionner Interplanetary

- **MNU** puis **PG** pour sélectionner le mode **Op-Mode Shared** qui couple les deux MFD puis entrer **0** (zéro) qui est l'identificateur du premier MFD
- **Map** pour ouvrir le module Map
- **REF** puis entrer **Earth** pour choisir la Terre comme référence

- **MOD** 3 fois pour ouvrir la page de configuration
- **Nxt** plusieurs fois pour sélectionner **Time Limit**
- **Set** puis entrer 500k pour fixer Time Limit et permettre de visualiser la trajectoire
- **MOD** pour revenir à la Map
- **Disp** pour afficher la trajectoire de la Lune en mode Dsp (Display)
- **PG** pour aller sur la page 2
- **Int** pour sélectionner le mode intersection Int
- **Plan** pour sélectionner le mode Plan

Vous devez avoir l'affichage ci-dessous avec sur le module Map la trajectoire prévue en bleu



Il faut régler oV (différence de vitesse à ajouter pour l'éjection) et TEj (moment de l'allumage) pour que PeA corresponde à l'altitude cherchée au Periapsis de la Terre
 Pour l'instant, DV est presque nul et il n'y a que la valeur de ApA. On aura le choix PeA ou ApA dès que l'on aura commencé le réglage de DV

- Sur le MFD de gauche, sélectionner oV, et l'augmenter en surveillant PeA sur Map jusqu'à ce que celle-ci diminue pour avoir une trajectoire proche de la Terre (PeA < 1.00M voir négatif)
- Un écart oV de 700 à 800 peut être choisi suivant la quantité de carburant dont on dispose. Une valeur plus élevée raccourcit un peu le temps de voyage mais ne pas oublier qu'il faudra faire sûrement une ou deux corrections en route et ce n'est pas nécessaire de chercher une valeur parfaite
- Sélectionner et régler TEj pour que le point d'allumage se situe sur le point situé au bout du rayon pointillé (flèche blanche ci dessous) et que la trajectoire bleue théorique soit tangente à l'orbite qui est le cercle vert (elle ne doit pas le couper)
- Faire PG puis BV sur Orbit Eject pour voir la valeur de BT qui est de l'ordre de 151 s ce qui est bien.
- Faire AB pour préparer l'allumage automatique

Bad Plane apparaît pour signaler qu'on ne tire pas dans le plan de l'écliptique si EIn > 1°



Voilà une solution acceptable. Le départ a lieu dans 2391 s soit environ 40mn ce qui va nous faire partir vers le 22 juillet aux alentours de 04h38mn GMT ce qui est proche du départ réel (4h32mn11s)

PeA = 672 k qui est une bonne approche

Le temps de combustion BT = 157 nous consomme environ 20 % de carburant, ce qui laisse une réserve de 39-20 = 19% (environ 152 s de BT) pour les futures corrections

En fait on en a un peu plus de temps du fait de l'allégement progressif en cours de combustion qui fait que l'on dépense un peu moins mais il vaut mieux avoir un peu de réserve..



Il n'y a plus qu'à préparer l'allumage

- PG pour passer en page 2/2
- BV pour appeler la mire de contrôle

Comme le CSM a une inertie importante, il est préférable de centrer la croix en commandant des rotations par les touches 1-3 puis 2-8 avant de demander l'Auto burn pour éviter un risque d'oscillation.

Attention à bien être en mode rotation !

Le Master Alarm du tableau de bord va sûrement se déclencher si vous tournez trop vite. Pas de panique, acquietez le en faisant clic sur le voyant quand le centrage est terminé

- AB pour enclencher Auto Burn

Il n'y a plus qu'à attendre. Vous pouvez accélérer à 10X ou 100X mais pas plus sinon gare au plantage

Les scenarios

12.2 – Solution de tir TEI.scn

12.3 – CSM après TEI.scn

vous placent si vous le désirez en recherche de solution et après allumage avec cette solution

11.3 – Première correction

Il est bon de corriger à environ 29000 km de la Lune pour viser le point recherché dès que le MFD Orbit-Eject n'est plus opérationnel.

Rappelons certaines choses avant d'opérer :

- Il nous reste environ 19% de carburant (environ 150s de mise à feu)
- Nous souhaitons, si c'est possible, arriver le 24 juillet 1969 à 16h50mn35s GMT (MJD 40426.701) dans l'océan Pacifique en un point de coordonnées 13°18 N et 169°9 W

Il est utile de remarquer que l'heure d'arrivée est donnée en GMT et que le point d'arrivée étant sensiblement à 170°W il y a pratiquement un décalage horaire de 12h par rapport à l'heure de Greenwich qui est la notre.

Dans le Pacifique, le soleil se lèvera 12h après qu'il se soit levé chez nous. Apollo 11 à atterri en heure locale soleil vers 4h50mn soit au petit matin

Cherchons la correction à faire dans la mesure du possible. Je m'empresse de vous dire qu'il est impossible de respecter l'horaire avec le carburant restant et que nous sommes obligés de consacrer 3/4 de journée de plus au voyage.

sur MFD de gauche:

- **MNU** dès que le module Orbit Eject n'est plus opérationnel
- **Prv/Nxt puis sélectionner BaseApproach** qui nous permettra d'ajuster nos paramètres d'arrivée
- **Sélectionner si nécessaire** le mode **Approach for Re-Entry**

On peut si on le désire vérifier en appelant MFD Orbit en External MFD que G est voisin de 0.2
Nous sommes en bonne position pour la correction avec BaseApproach avec 20% d'influence de la Terre



Nous allons d'abord entrer les paramètres exacts pour Lon et Lat qui par défaut sont prises au centre de la Terre

- **Prv/Nxt** pour sélectionner Lon puis
- **Set** et entrer la valeur – **169.9** pour la longitude (signe – car elle est W)
- **Prv/Nxt** pour sélectionner Lat
- **Set** et entrer la valeur **13.18** pour la latitude (pas de signe car elle est N)
- **Prv/Nx** tpour sélectionner successivement Alt, ReA et Ant et **Set** pour entrer les valeurs suivantes :
4 pour **ReA** (Il est nécessaire que l'angle de rentrée ReA soit entre 3,5 ° et 5,5°)
75k pour **Alt** (altitude ou le ralentissement atmosphérique devient appréciable)
8 pour Ant (doit être entre 5 et 10°)

Pour l'instant le module Map affiche Invalid Burn Data puisque nous n'avons pas fixé les conditions d'allumage.

Avec toutes ces exigences, vous ne pourrez pas arriver à l'heure prévue qui va être donnée par Hint qui est le temps prévu qui s'écoulera entre l'allumage et l'arrivée. Il faudra tarder un peu



- Sélectionner Hint et l'augmenter jusqu'à obtenir une valeur pour BT compatible avec la quantité de carburant dont on dispose (attention ! la diminution de BT se fait par sauts et non de façon continue)

En faisant PG pour passer en page 2 on affiche le temps ABT d'allumage prévu
Si on refait alors PG on repasse en page 1 et on peut modifier Hint par +/- tout en surveillant ABT

Voir ci-dessus une solution obtenue avec un BT <93 s qui consomme environ 12% de carburant et nous laisse un temps de correction ultérieur possible (rappelons que pour 10% de carburant on peut allumer 80s environ)

Nous atterrirons dans 241000s environ soit dans 2,8 jours (1 jour = 86400 s) Comme la correction a lieu le 22 juillet vers 11h GMT nous arriverions approximativement 2 jours et 22 h plus tard soit le 25 juillet vers 9h GMT au lieu du 24 juillet à 16h50 GMT.

En fait il faudra une ou deux autres corrections qui modifieront un peu cette prévision.

Nous aurons au moins un jour de retard par rapport au vol réel mais heureusement j'avais prévu des provisions et de la bière en plus.

Il ne reste plus qu'à attendre pour terminer le voyage.

On peut accélérer jusqu'à 10000x mais attention à revenir à vitesse normale à temps.

11.4 – Deuxième correction

Il doit nous rester environ 6.9% de fuel (voir sur le HUD standard en haut à gauche) après cette première correction.

Nous avons donc un temps d'allumage possible restant de l'ordre de 55 s

Le mieux est de laisser passer le temps en surveillant BT et Eql de manière à corriger quand Eql est le plus près possible de 13.18° qui est la latitude du point visé et que BT reste inférieur à 35 s pour se garder une marge de manœuvre ultérieure en approche finale.

On commute avec BV pour passer d'un affichage à l'autre pour voir ABT ou Eql
Ci-dessous la figure présente les deux possibilités d'affichage.

Sans rien toucher aux réglages du module BaseApproach, surveiller le temps ABT qui va lentement augmenter et Eql régulièrement en commutant.

Quand ABT atteint au maximum 35s ou si Eql = 13,18° il faut allumer par AB

Nota:

A vous de voir le temps qui correspond à votre réserve de carburant. Vous n'aurez probablement pas exactement ces valeurs mais en principe vous en serez proche.

On se trouve à environ $G=0.5$ lu sur le MFD Orbit



Ci-dessus les deux affichages possibles du MFD montrant la correction avec un BT < 25 s quand $Eql = 13.18^\circ$.

Après correction il nous reste environ 3,7% de carburant

11.5 – Correction finale

Il reste 3,7 % de carburant ce qui nous permet encore une correction finale avec un allumage possible d'environ 29s ($3,7 \times 80/10$) maximum.

Pour affiner la précision d'atterrissage, nous utiliserons une bonne partie de ce carburant pour une dernière correction à faire le plus près possible de la Terre avant le largage du CSM qui a lieu quand Hint = 2100.

- **Continuer l'avance en surveillant ABT. Quand il atteint 20s pour garder une marge, faire un allumage pour une dernière correction**

A environ 45 minutes de l'arrivée à 10 millions de km de la terre (ou Hint = 2100 qui est le temps prévu pour la rentrée en atmosphère) il faut abandonner le Service Module SM

A hint =2300, tourner l'ensemble dans le sens rétrograde (touche \$ et ça prend du temps) pour que le SM qui a une forte inertie se trouve avant le CM dans le sens de la marche. Il va aller plus vite après la séparation et autrement il percuterait le SM

Le scénario

12.4 – Largage du SM.scn

vous place au moment du largage du SM

12 – LARGAGE DU SM ET ATERRISSAGE



Clic droit sur les capots striés jaune et noir CS/SM SEP 1 et 2

- Clic gauche sur les interrupteurs

Adieu le SM nous restons dans le CM livrés aux lois de la balistique avec seulement la possibilité de l'orienter

En arrivant vers 1000 Km d'altitude, orienter le CM dans le sens RETROGRADE (Touche \$) pour présenter son bouclier vers l'avant.

HOUSTON nous approchons....nous sommes à moins de 20 minutes de l'arrivée



On peut ouvrir la MAP pour suivre l'approche

Largage du SM nous sommes au dessus de l'Indonésie (flèche blanche).

Atterrissage prévu au Sud Est d'Hawaï (flèche orange) voir ci après comment visualiser le site d'atterrissage.

Nous arrivons très vite, à presque 11km/s !
Ca va chauffer quand nous entrerons dans l'atmosphère dense à partir de 80km d'altitude

Comment visualiser le site d'atterrissage sur Map ?

1) Créer dans le dossier Config un fichier Pacifique_NASSP5.cfg contenant les lignes

```
; === Surface Base ===
```

```
Name = Retour_Apollo11
```

```
Size = 1000
```

```
MapObjectsToSphere = TRUE
```

2) Dans le fichier Earth_NASSP5.cfg du dossier Config, ajouter la ligne repérée en rouge dans la liste des surface bases :

```
; === Surface Bases ===
```

```
BEGIN_SURFBASE
```

```
Canaveral_NASSP5: -80.675 +28.5208
```

```
Retour_Apollo11: -169.9 +13.18
```

```
END_SURFBASE
```

En faisant Target sur Map on peut alors choisir Retour_Apollo11 qui est visualisée

On peut faire de même pour tous les sites de retour pour des missions suivantes. Le fichier Points_retour est joint dans l'archive, il suffit de le dézipper dans le dossier Orbiter pour avoir tous les sites de retour prévus sur Map)

On encaisse beaucoup de G (voir le cadran sur le tableau de bord) au freinage par l'atmosphère et il est très difficile de trouver le réglage idéal d'angle pour la trajectoire pour limiter le phénomène.

Il faut avoir un angle ReA compris entre 3.5° et 5.5° pour avoir un ralentissement progressif mais pas de rebondissement sur l'atmosphère.

Une fois dans l'atmosphère, le CM est incontrôlable et il n'y a plus qu'à attendre le résultat.



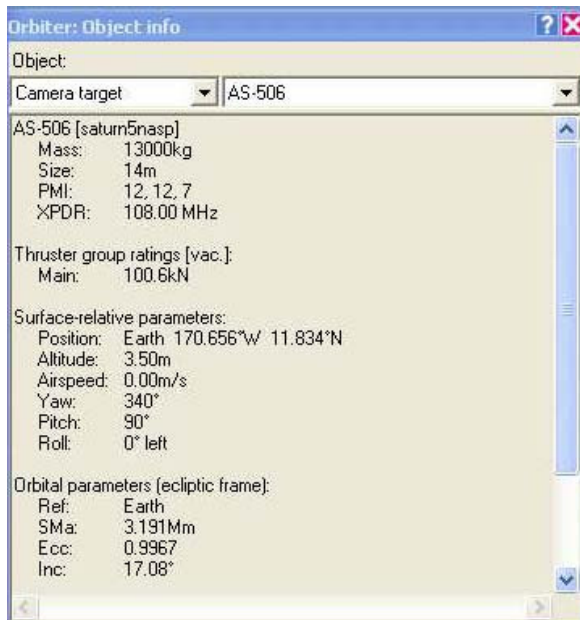
Les communications cessent à la rentrée dans l'atmosphère en raison de l'ionisation due à l'échauffement.

Quelques chiffres à partir du début de ralentissement:

Altitude en m	Vitesse en km/s	Distance au point prévu en km	Temps écoulé en s
83000	10.65	1000	0
60000	10.16	660	32
50000	8.5	450	56
40000	4.1	190	100
30000	1.4	114	137
20000	0.36	110	180
10000	0.17	109	226
0	0	109	654

Il y a une première phase de forte décélération entre 80000 et 30000 m où l'équipage encaisse des G pendant deux bonnes minutes.

L'ouverture des parachutes se fait à 8000 m et la descente dure environ 6 mn



HOUSTON nous avons amerri...

En faisant **CTRL + I** nous pouvons connaître nos coordonnées

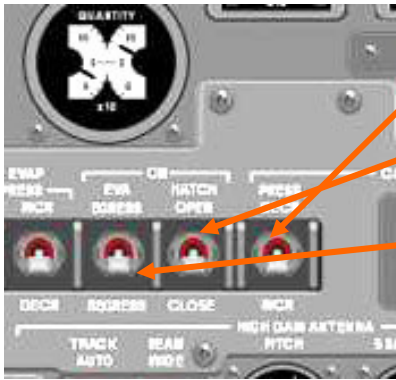
Ici 170.656°W en longitude et 11.834°N en latitude pour un point visé de coordonnées 169°00W et 13°18N

Sachant que 1° en latitude représente environ 111km et que on peut considérer que comme on est près de l'équateur 1° en longitude est aussi de cet ordre (c'est en fait 108km environ) l'erreur à l'amerrissage est de :

- **moins de 84 km en longitude**
- **moins de 150 km en latitude**

C'est bon mais on n'a pas cette précision à tous les coups. Si l'erreur est de moins de 150km en latitude et longitude c'est déjà très bien après un si long voyage !

Il nous reste à attendre notre repêchage en ouvrant le Hatch et en embarquant dans notre radeau pneumatique ce qui nous permettra de prendre l'air.



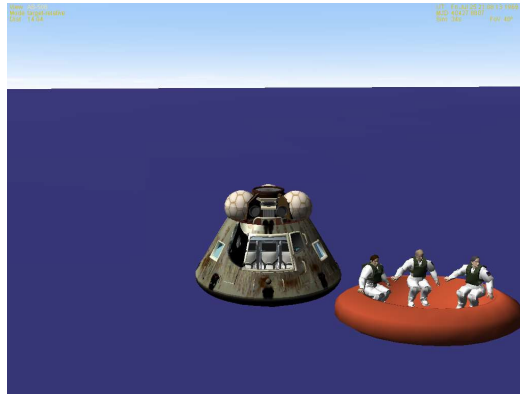
Etablir la pression dans la cabine
(interrupteur en haut)

Ouvrir le Hatch (écoutille)
(interrupteur en haut)

Relever EVA pour déclencher
la sortie

La voie est libre

Fin de notre mission....avec un jour de retard à l'arrivée.



J'espère vous avoir donné le goût du voyage. Vous pourrez ensuite réaliser vous-même d'autres missions Apollo en partant des scénarios de lancement de NASSP, y compris Apollo 13 qui simplifie le travail. Vous chercherez à améliorer les temps, les consommations et la précision de l'alunissage et de l'atterrissage qui font le challenge !

Vous pouvez trouver les dates et horaires des phases essentielles des différentes missions sur le site http://www.capcomespace.net/dossiers/espace_US/apollo/annexes/16_les_missions_apollo.htm

Je suis désolé de vous avoir ramené un peu trop tard sur Terre mais je pense que le moteur du SM manque un peu de poussée ou que sa consommation est un peu trop élevée ou encore que l'inertie du CSM est un peu trop grande. Il faut environ 20s d'allumage de plus qu'en réel pour la mise sur TEI par exemple et bien sûr cette différence se retrouve sur les corrections.

Si on ajoute en trichant 10% de carburant après l'injection en TEI on peut respecter sensiblement l'horaire. L'idéal est d'avoir au moins 50% de carburant avant la mise en orbite d'éjection. Ca ne doit pas être faisable, vous pourrez toujours essayer.

Quoi qu'il en soit le résultat obtenu est remarquable et un grand merci aux développeurs !

J'ai réalisé tout ce que j'ai décrit donc ça marche.... A vous de jouer !

Ne vous découragez pas une mission complète ne se réussit pas du premier coup. Elle met en œuvre toutes les manœuvres possibles, lancement, changement d'orbites, rendez vous, descente, calculs de trajectoires...

Merci de m'avoir suivi ...et pardonnez moi si il reste des petites fautes ou erreurs dans ce tutorial qui m'a demandé beaucoup de travail mais m'a procuré beaucoup de plaisir à écrire et à tester.

Merci à ma femme pour sa patience.

PAPYREF
Juin 2007