

Après l'échec cuisant de Hayabusa 2, dévorée par le Kraken 26 secondes après le lancement, le président Krump décida d'abandonner les missions hasardeuses vers l'espace interplanétaire et, pour relever le prestige du KSC, de lancer un programme habité vers la Lune. Une fois le budget du KSC assuré, le stagiaire Dode Kerman se chargea de payer au président Krump un allez simple vers Duna, laissant carte blanche au KSC. C'est alors que Jim Kerman dévoila son propre plan, autrement plus ambitieux : la construction d'une base lunaire permanente.

Challenge KSC4 Alacool – esmenard

(insérer un joli screen de ma base avec des logos)

Les principaux mods utilisés :

- Kerbin Size Real Solar System (avec la config de RSS pour les ressources, et les inclinaisons équatoriales pour enlever un axial tilt de 23° sur la Lune empêchant toute possibilité de faire une base sur un pic de lumière éternelle)
- Rescale *2.5 : les manoeuvres vont devenir sensiblement plus coûteuses et les fusées sensiblement plus grosses avec ce mod
- TAC Life support : c'est avec un mod de life support que la construction d'une base permanente prend tout son intérêt. TAC Life Support ajoute la nécessité pour les Kerbals d'être approvisionnés en eau, nourriture, oxygène et électricité.
- Kerbal Planetary Base Systems : un mod qui ajoute de nombreuses parts pour la constructions de bases. Il permet également de produire de l'eau, de la nourriture et de l'oxygène avec les ressources présentes sur place.
- Near Future Technologies : un ensemble de mods rajoutant des technologies futuristes, comme de nouveaux moteurs ioniques, des fusées de 5 et 7.5 m, ou encore des capsules à plus grande capacité.

Introduction.....	2
Déroulement du programme.....	2
Les manoeuvres.....	3
Transfert vers la Lune	3
Retour sur Terre.....	3
Mise en orbite sur Terre.....	3
Atterrissage et mise en orbite sur la Lune.....	3
Les lanceurs.....	4
Phase 1 : exploration robotique.....	5
Lunar Reconnaissance Orbiter – Conception.....	5
Lunar Reconnaissance Orbiter – Mission.....	6
Moon Ranger – Conception.....	8
Moon Ranger – Tests au sol.....	9

Introduction

Déroulement du programme

Je suivrai le cahier des charges de la catégorie De Vinci dans un programme inspiré du programme Artemis de la NASA, l'objectif ultime étant de créer une base permanente et auto-suffisante sur la Lune. Ce programme se déroulera en 4 phases :

Phase 1 : Exploration robotique de la Lune

- Lunar Reconnaissance Orbiter : un orbiteur muni d'un scanner afin de scanner l'altimétrie et les ressources présentes, dans le but de déterminer des sites d'atterrissage potentiels
- Moon Ranger : un ou plusieurs rovers qui exploreront les différents sites d'atterrissages potentiels
- Lunar Ressource prospector : un atterrisseur permettant de tester les techniques de forage et de transformation des ressources qui seront utilisés pour la base lunaire

Phase 2 : Exploration habitée de la Lune

- Artemis 2 : première mission habitée du programme, un survol de la Lune sur une trajectoire de retour libre
- Lunar Orbital Platform Gateway : comme son nom l'indique, la LOPG servira d'intermédiaire entre la Terre et la surface de la Lune. C'est là que seront arrimés le vaisseau Orion et l'atterrisseur, et c'est aussi les moteurs de la LOPG qui se chargeront du changement d'inclinaison nécessaire pour atteindre un site d'atterrissage à haute latitude. La LOPG servira également à tester les techniques de support de vie nécessaires à un vol de longue durée. Elle sera constituée de deux modules : le PPM qui assurera la propulsion et fournira la station en électricité, et le module d'habitation où logeront les kerbals.
- L'atterrisseur lunaire : un atterrisseur réutilisable faisant la navette entre la LOPG et la surface de la Lune. Il sera lui aussi constitué de deux modules : le module de transfert qui fera l'aller-retour entre l'orbite elliptique de la LOPG et l'orbite basse lunaire, et le module d'atterrissage qui se posera sur la surface puis remontera en orbite pour s'amarrer avec le module de transfert.
- Artemis 3 : deuxième mission habitée du programme, incluant un séjour sur la LOPG et un atterrissage sur la Lune

Phase 3 : Construction d'une base lunaire

Phase 4 : Extension de la base lunaire pour la rendre auto-suffisante

Les manœuvres

Eh oui, encore une fois pas de delta-v map, donc il faut tout trouver par nous-même.

Transfert vers la Lune

Le transfert classique : une première manœuvre en orbite basse pour monter l'apogée jusqu'à la Lune, puis une deuxième manœuvre au périastre de la Lune pour circulariser. Selon le delta-v et la durée du transfert désiré, il est possible de choisir un transfert optimisé en delta-v mais plus long (où l'apogée est juste au niveau de l'orbite de la Lune), ou un transfert plus court mais plus coûteux en delta-v (où l'apogée est au dessus de l'orbite de la Lune).

Apogée	Delta-v (transfert)	Delta-v (circularisation)	Delta-v (total)	Durée
91 100 km	1 490 m/s	350 m/s	1 840 m/s	58 h
95 000 km	1 490 m/s	370 m/s	1 860 m/s	47 h
110 000 km	1 500 m/s	390 m/s	1 890 m/s	40 h
120 000 km	1 500 m/s	420 m/s	1 920 m/s	37 h
170 000 km	1 510 m/s	460 m/s	1 970 m/s	33 h
250 000 km	1 520 m/s	490 m/s	2 010 m/s	30 h
Libération	1 530 m/s	550 m/s	2 080 m/s	27 h

L'orbite de la Lune étant elliptique, ces valeurs peuvent changer. Penser à prendre une marge.

Pour les missions inhabitées, le transfert le moins cher en carburant sera systématiquement utilisé. Pour les missions habitées, au vu de la masse du carburant et du support de vie, le transfert le plus rapide est le plus efficace (et puis c'est nul de laisser poireauter les kerbals 7 jours dans l'espace).

Retour sur Terre

On fait comme le transfert, mais dans le sens inverse. Pour le retour à la vitesse de libération (qui sera utilisé pour les vols habités), on est donc à 550 m/s et 27 h de trajet.

Mise en orbite sur Terre

Cette fois, pas possible de simplement déterminer le delta-v nécessaire avec des nœuds de manœuvre. Mais d'après internet, pour un rescale il faut multiplier le delta-v par \sqrt{f} , où f est le facteur d'agrandissement. Pour $f = 2,5$, on obtient 5 400 m/s. Il suffit de tester.

Après test sur une fusée avec 5 417 m/s, il manque une dizaine de m/s pour rejoindre une orbite stable. Il faudra retenir que les gravity turns doivent être beaucoup moins intenses en *2,5 qu'en stock. Avec un bon gravity turn, il me reste même plus de 250 m/s en orbite, donc en fait 5,2 km/s suffisent.

Atterrissage et mise en orbite sur la Lune

Pour la Lune, on fait le même calcul, qui donne 920 m/s. Étant donné que mes atterrissages sont généralement assez inefficaces, on va prendre 1 km/s. Puis on teste. Après test, c'est à peu près la bonne valeur.

Les lanceurs

L'idéal serait d'avoir un nombre réduit de lanceurs voire un seul lanceur modulaire.

Lanceur 1 : 2,3 t TLI

7 t LEO

Lanceur 2 : 1,8 t TLI

4,6 t LEO

Phase 1 : exploration robotique

Lunar Reconnaissance Orbiter – Conception

L'objectif de LRO est de scanner la Lune, en particulier les ressources en eau et en minéral, ainsi que l'altimétrie, afin de déterminer des sites d'atterrissage potentiels.

Instruments scientifiques :

- Scanner à bande étroite : cartographie les ressources en minéral
- Scanner à eau à bande étroite : cartographie les ressources en eau
- Capteur altimétrique : crée une carte de l'altimétrie

Orbite : Orbite polaire à 1 200 km d'altitude. Cette orbite permet un champ de vision idéal pour les deux scanners à ressource, juste en dessous de leur altitude maximale de 1 250 km. Le capteur altimétrique a un champ de vision suboptimal (altitude optimale à 1 850 km) mais qui reste assez bon.

Stockage d'électricité : Sur son orbite, LRO va passer au maximum 40 min à l'ombre de la Lune. Il faut donc prévoir suffisamment de batteries pour faire fonctionner la sonde pendant 40 min, ce qui inclut le probe core et les 3 scanners. Il faut donc 2,35 CE/s, pour un total de 5 640 CE.

Production d'électricité : Le probe core et les 3 scanners consomment au total 2,35 CE/s. Deux panneaux solaires classiques font très bien le travail, en produisant 3,2 CE/s (largement assez pour que l'excédent permette de recharger les batteries en 2 h 20 min).

Propulsion : Le delta-v nécessaire est celui pour s'insérer en orbite lunaire, soit 400 m/s. Afin de garder les manœuvres dans un temps raisonnable (moins de 5 min), l'accélération minimum doit être de $1,4 \text{ m.s}^{-2}$, soit un TWR de 0,15.



Et voici la sonde complète :

Masse : 940 kg

Taille : 3,4*1,8*2,3 m

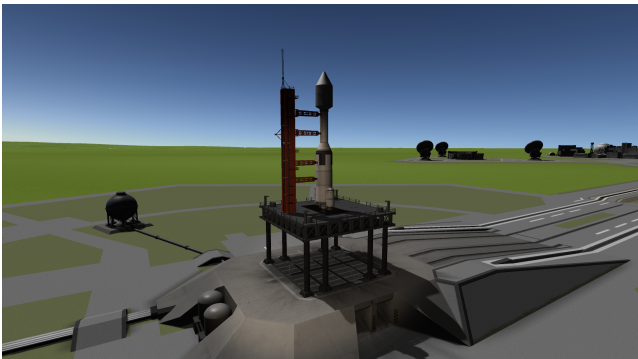
Propulsion : 1 Ant

$a = 2,16 \text{ m.s}^{-2}$

$\Delta v = 422 \text{ m/s}$

Alimentation : 2 panneaux photovoltaïques 3*2

Lunar Reconnaissance Orbiter – Mission



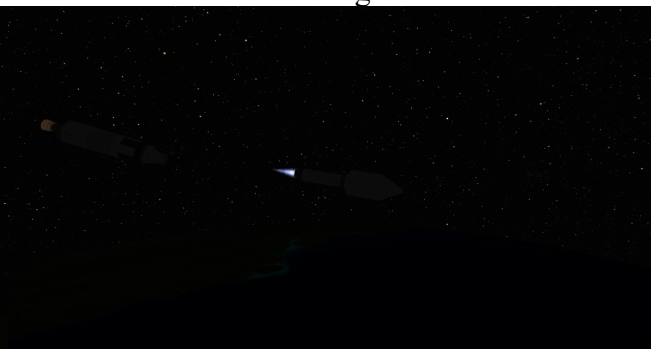
LRO sur le pas de tir



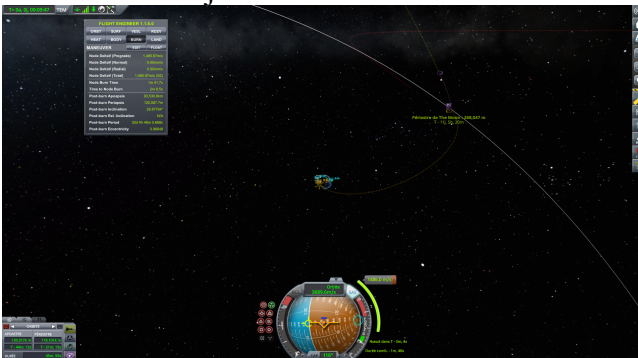
Décollage !



Tous les paramètres propulsifs sont normaux, la trajectoire est normale !



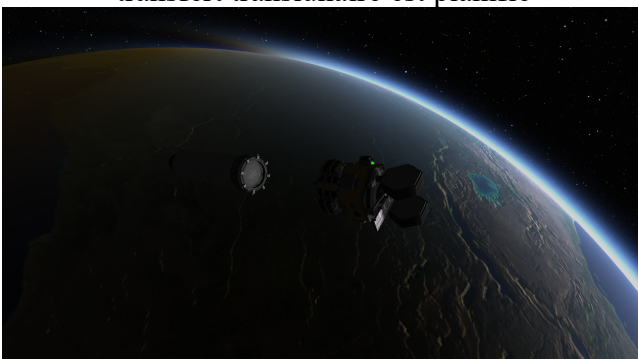
Largage du 1er étage



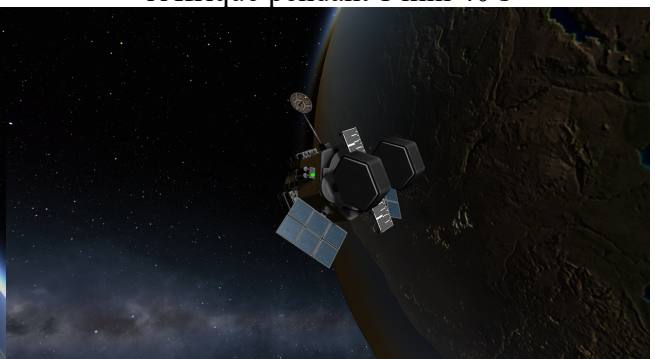
A peine 5 minutes après la mise en orbite, le transfert translunaire est planifié



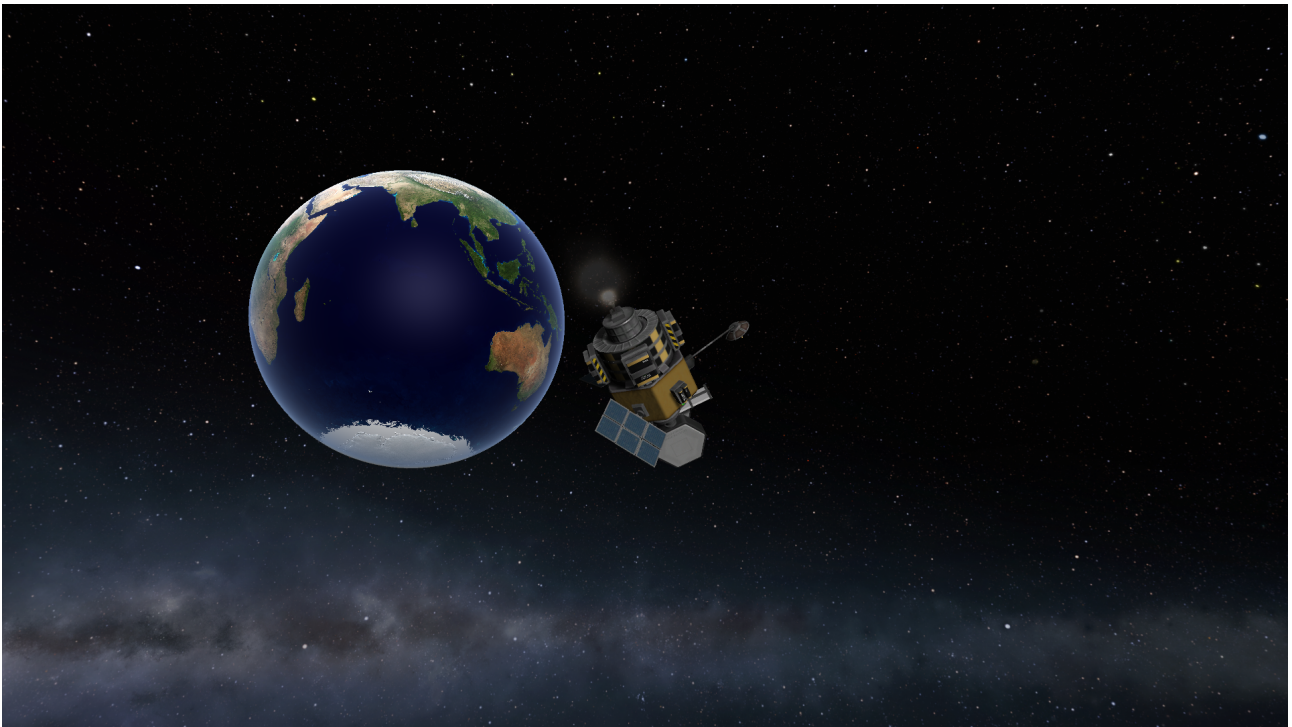
Le deuxième étage se rallume au dessus de l'Afrique pendant 1 min 40 s



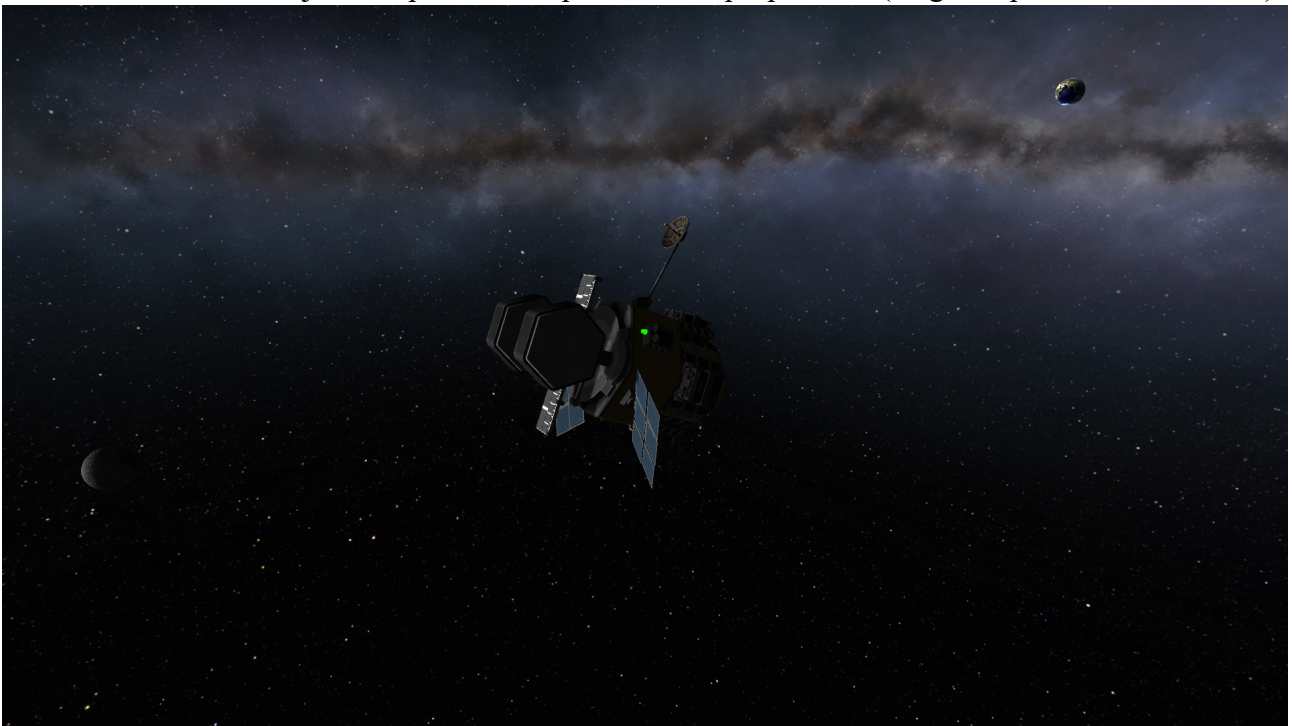
Largage du 2ème étage



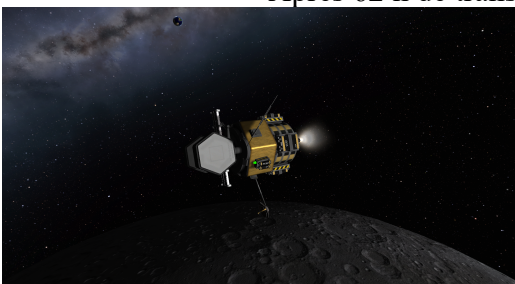
LRO déploie son antenne et ses panneaux solaires



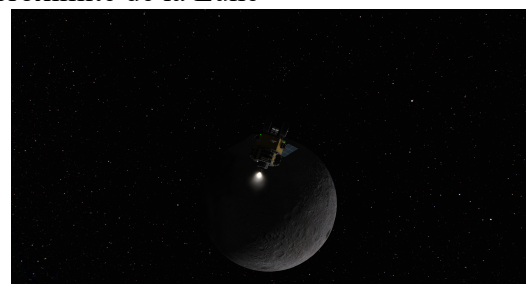
Petite correction de trajectoire pour intercepter la Lune proprement (en grand pour flatter la rétine)



Après 62 h de transfert, LRO arrive à proximité de la Lune

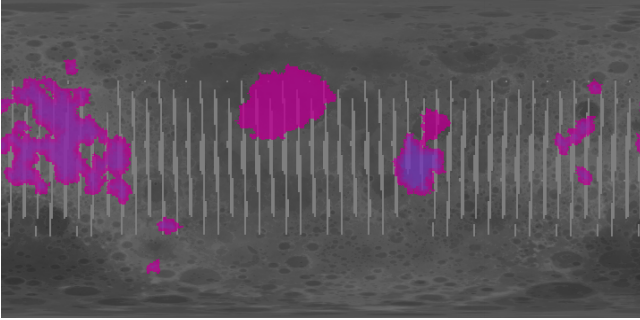


Encore 9 h après, LRO s'insère sur une orbite de 100 par 1 200 km



Et circularisation à 1 200 km

Les 3 scanners sont ensuite déployés, et LRO peut commencer sa mission scientifique. Et après un demi-mois de scan, voilà le résultat :



On remarque une zone de 7° 30' N à 21° 30' S, et de 40° E à 65° E (la Mer de la Fécondité) où la concentration d'eau est de 4,2%. Bonne nouvelle : la zone est plate (la pente ne dépasse que rarement les 5°) et la concentration en minerais est suffisante (2,5%).

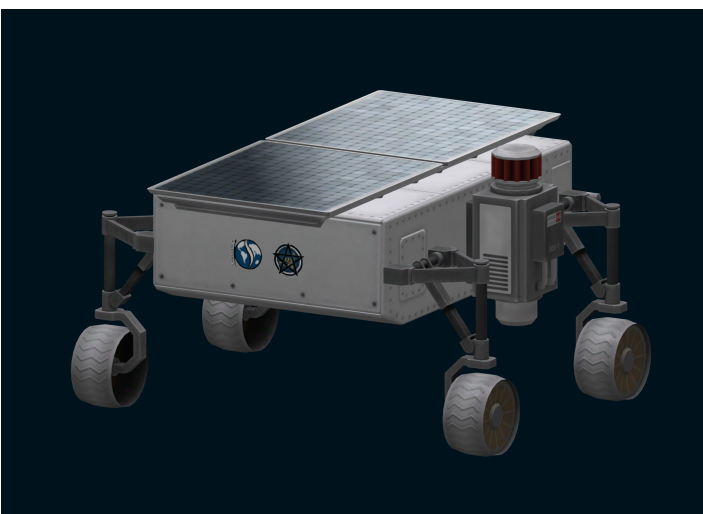
Le scan des ressources est maintenant complet : les deux scanners à ressources sont donc rétractés. Quand à l'altimètre, son faible champ de vision ne lui a pas permis de cartographier l'ensemble de la Lune, il sera donc laissé actif.

Moon Ranger – Conception

Le rover Moon Ranger aura pour objectif d'explorer la zone d'atterrissage choisie afin de choisir un site d'atterrissage plus restreint.

Instruments scientifiques : Scanner de surface permettant d'établir précisément la concentration en ressources là où se trouve le rover

Alimentation en électricité : Le rover devra alimenter les 4 roues (1 CE/s chacune) et le probe core (0,04 CE/s) pour un total de 4,04 CE/s. Par expérience, les panneaux solaires déployables ont tendance à facilement se casser sur un rover, les panneaux solaires fixes sont à privilégier. Des panneaux solaires déployables montés sur le dessus du rover peuvent être acceptés, mais les panneaux solaires déployables montés sur le côté sont à bannir. Le choix est finalement fait sur un panneau photovoltaïque avancé KX-STAT 1*2, produisant 4 CE/s. C'est assez pour alimenter les roues mais pas le probe core, il faudra faire de temps en temps des pauses pour recharger les batteries. La mission devant durer uniquement une journée lunaire, aucun stockage d'électricité pour la nuit n'est prévu.



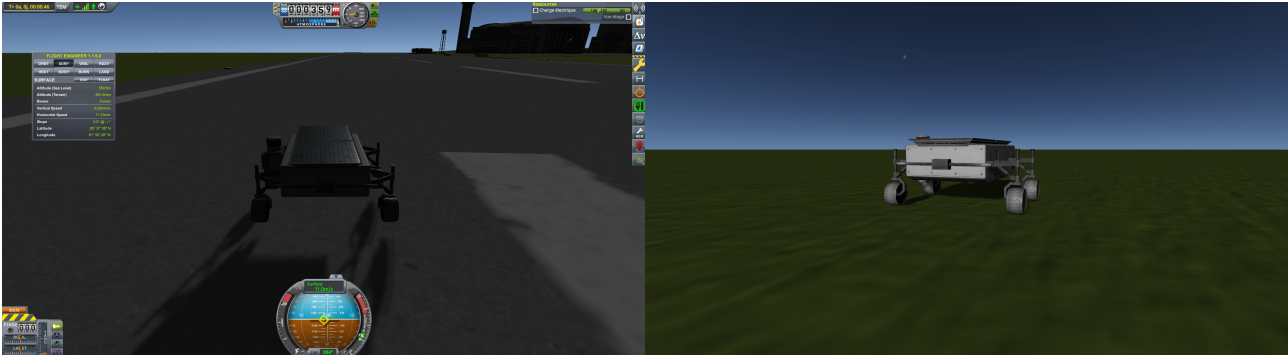
Masse : 426 kg

Taille : 1,8*1,9*1,1 m

Alimentation : Panneau photovoltaïque avancé KX-STAT 1*2

Moon Ranger – Tests au sol

Avant d'envoyer notre rover sur la Lune, un peu de test est nécessaire. J'ai déjà eu suffisamment de problèmes avec des rovers non testés qui se sont avérés inutilisables. On fait donc un test en terrain plat aux environs du KSC.



Vitesse maximale : 11 m/s

Le rover regarde avec envie vers la Lune

Les tests en terrain plat se sont déroulés sans problème. Le rover est prêt pour le lancement, mais il lui faut un atterrisseur. *Certains stagiaires réclamaient un test en montagne, mais Jim Kerman jugea cela non nécessaire, et s'empressa de muter les stagiaires au banc d'essai des systèmes de propulsion expérimentaux.*

Lunar Ressource Prospector – Conception

L'atterrisseur Lunar Ressource Prospector aura pour mission d'amener Moon Ranger sur la surface de la Lune. (J'avais prévu d'emmener une foreuse à minerai et une foreuse à eau avec, mais Planetary Base Systems n'a pas de petite foreuse à eau.)

Production d'électricité : Les systèmes à alimenter sont un RoveMate en hibernation (0,6 CE/min) et un HECS (1,5 CE/min), pour un total de 2,1 CE/min. Deux panneaux solaires statiques font parfaitement l'affaire, produisant chacun 18 CE/min.

Stockage d'électricité : Sur son orbite de parking de 15 km, la sonde reste dans l'obscurité pendant 12 min. Un stockage d'électricité de 25,2 CE est nécessaire. Encore une fois, 2 batteries de 100 CE chacune suffisent largement.

Propulsion : Pour s'insérer en orbite autour de la Lune puis atterrir, LRP aura besoin de 1,4 km/s de delta-v, avec un bon TWR sur la Lune (de l'ordre de 3, soit une accélération d'environ 5 m.s^{-2}). La propulsion choisie comporte 4 Spider, pour un delta-v de 1,5 km/s et une accélération de $4,1 \text{ m.s}^{-2}$.



Masse : 1,9 t

Taille : 2,5*1,9*2,0 m

Propulsion : 4 Spider

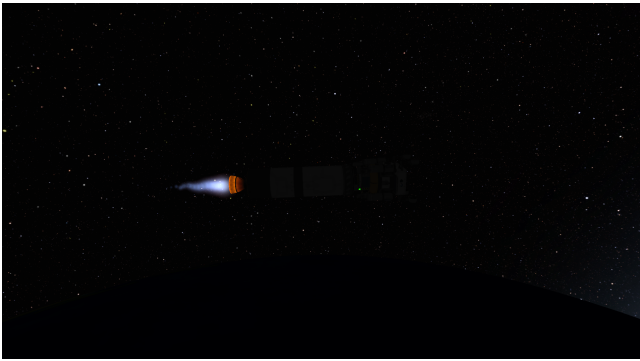
$a = 4,1 \text{ m.s}^{-2}$

$\Delta v = 1516 \text{ m/s}$

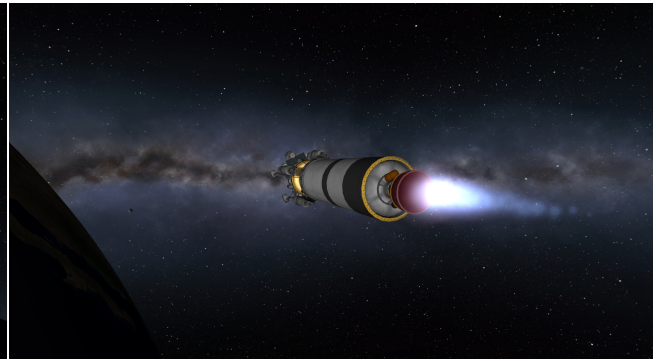
Alimentation : 2 panneaux photovoltaïques OX-STAT

Lunar Resource Prospector – Mission

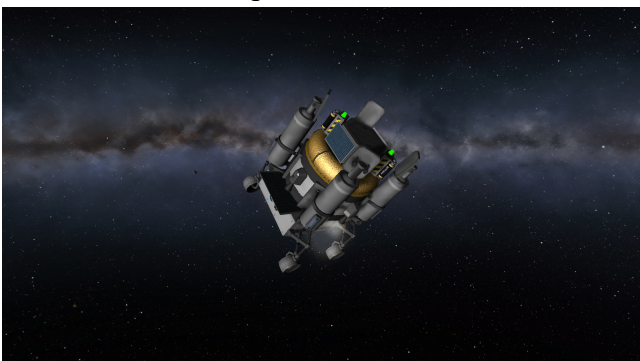
Rien d'exceptionnel sur le lancement : on est sur le même lanceur que LRO.



Et après 7 min 20 s, LRP est sur une orbite de 170 par 110 km



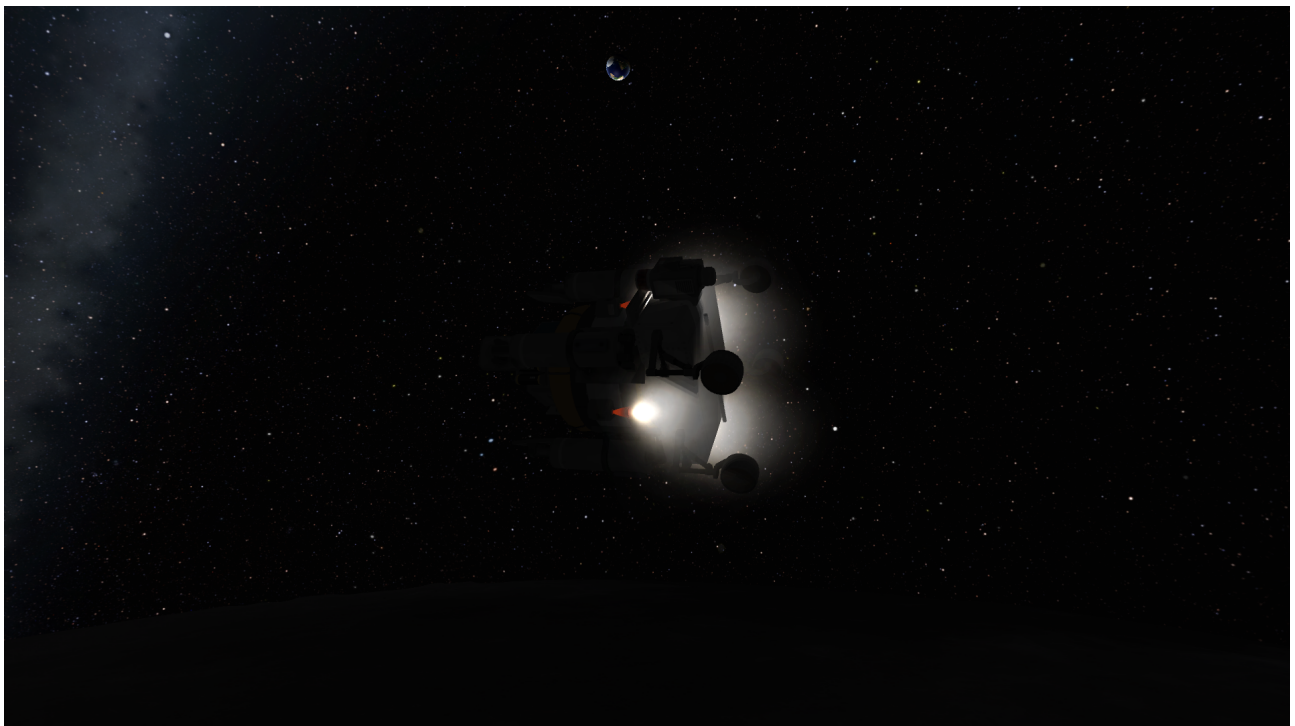
Réallumage du 2ème étage 48 minutes après le lancement pour l'injection translunaire



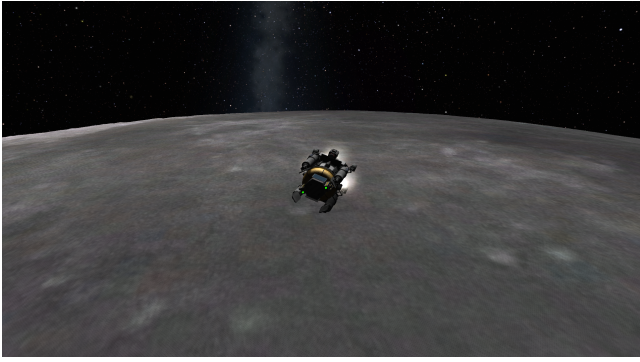
Correction de trajectoire de 10 m/s



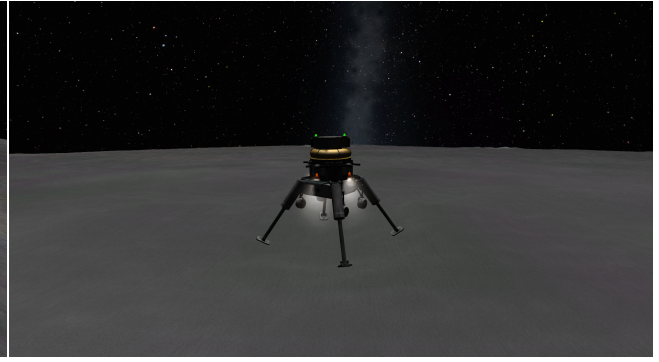
Après 62 h de transfert, LRP arrive à proximité de la Lune. Correction de trajectoire de 4 m/s pour monter le périastre à 15 km.



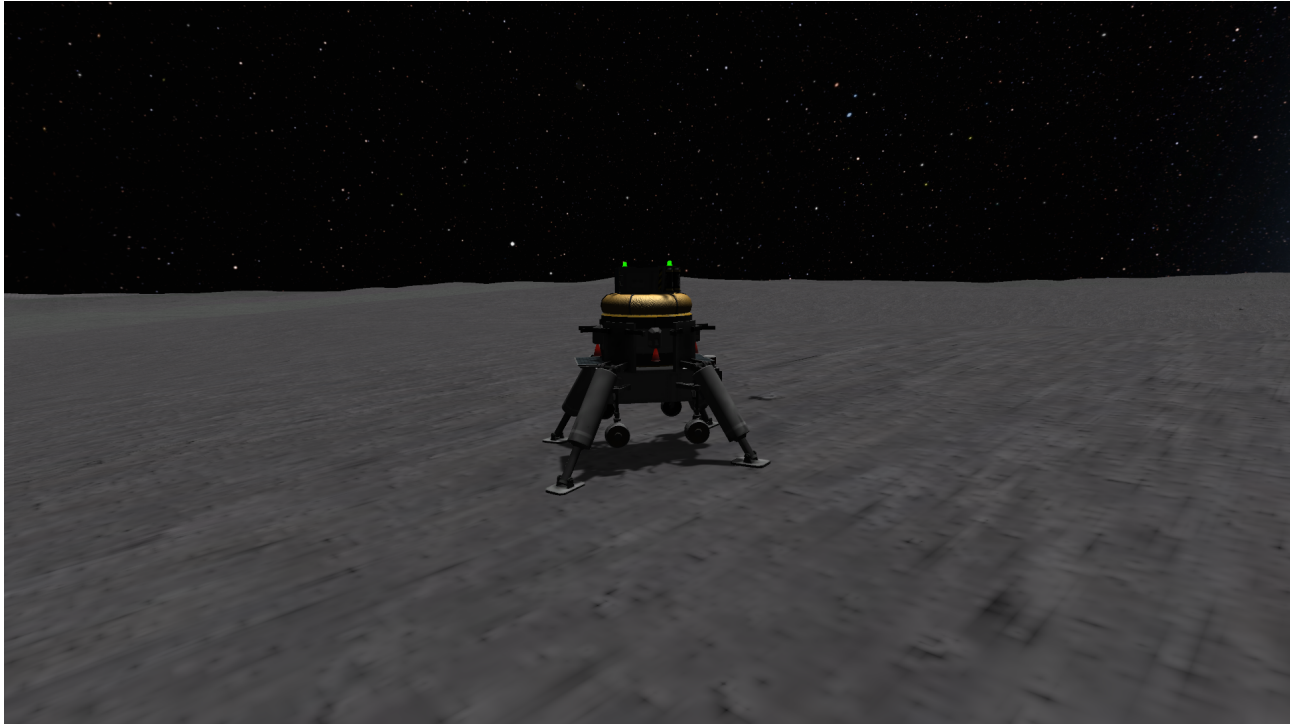
Et 20 minutes plus tard, LRP entre dans une orbite de 15 km autour de la Lune



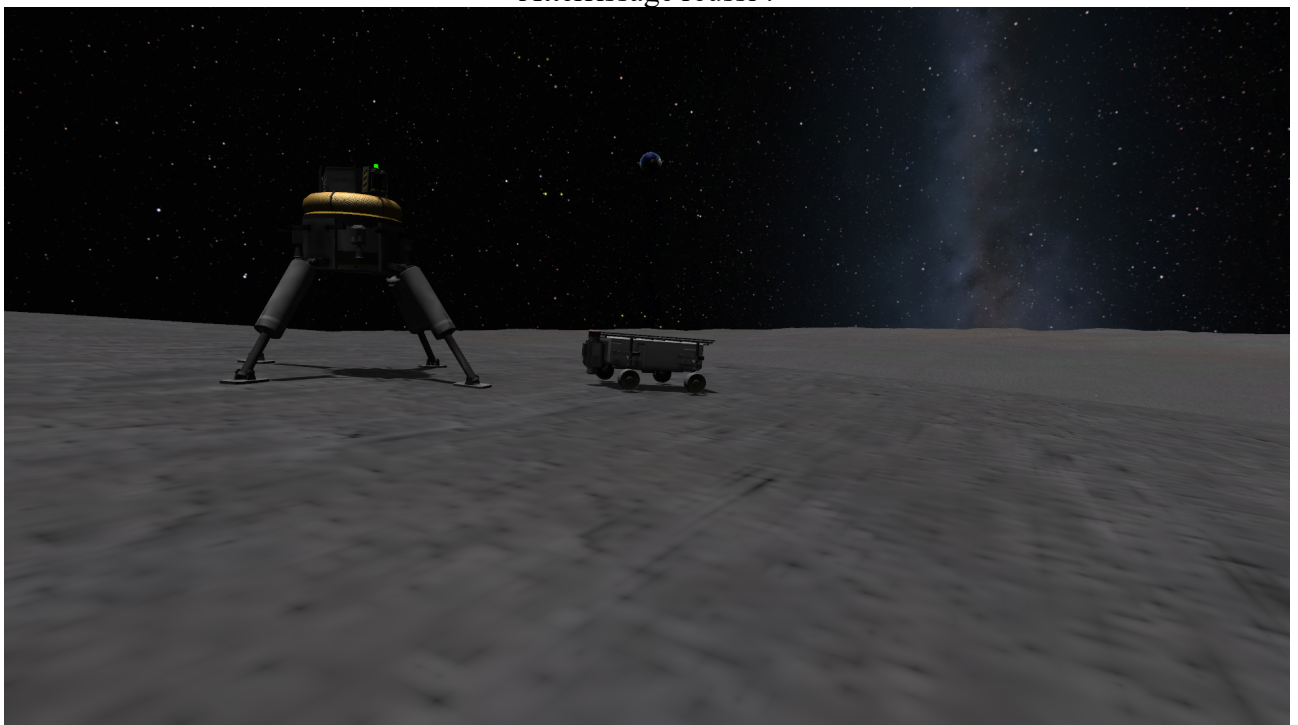
Allumage des moteurs à 9 km d'altitude



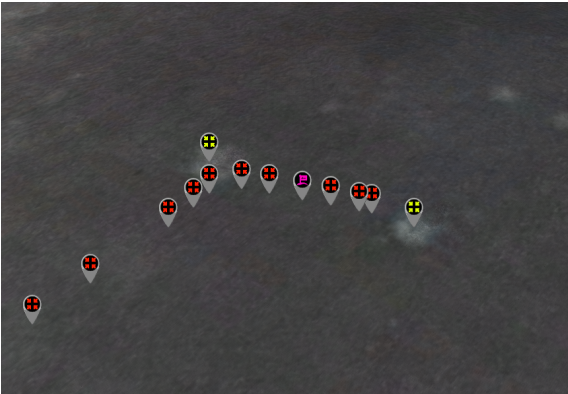
Déploiement des pieds



Atterrissage réussi !



Après la petite photo de famille, Moon Ranger part à l'exploration de la Mer de la Fécondité, afin de cartographier les cratères et collines qui pourraient être hostiles à l'établissement d'une base.



Après avoir roulé un peu, un premier site qui semble assez éloigné de toute colline est choisi. Le rover se dirige donc vers ce site afin de l'explorer plus en détail.

Après une exploration plus précise du site choisi, il est décidé d'établir la base à $1^{\circ} 4' N 49^{\circ} 33' E$. Dans une zone de 200 m autour de ce lieu, la pente ne dépasse que rarement les 7° , et jamais les 8° . Les différents éléments de la base pourront atterrir n'importe où dans la Mer de la Fécondité (sauf les deux cratères signalés) tant qu'il y a un moyen de les amener à la base.