

De la Terre à la Lune

Tutoriel pour Orbiter 2010 P1

par David Courtney

Révision 2011.06.11

Table des matières

| | |
|--|----|
| 1. Avant propos..... | 2 |
| 2. Démarrage rapide..... | 3 |
| 3. Planification de l'heure d'arrivée..... | 4 |
| 4. La fenêtre de tir..... | 5 |
| 5. Le départ vers l'orbite..... | 6 |
| 6. Prioriser Plan d'Alignement et Orbite de Circularisation..... | 7 |
| 7. Alignement de plan..... | 8 |
| 8. Circularisation d'orbite..... | 11 |
| 9. Évaluation de la situation..... | 13 |
| 10. Le MFD Transfer..... | 14 |
| 11. Prêt pour la poussée d'Injection Trans-lunaire (TLI)..... | 20 |
| 12. En roue libre vers la Lune..... | 22 |
| 13. Alignement vers la base..... | 24 |
| 14. Correction perilunaire..... | 26 |
| 15. Insertion en orbite lunaire..... | 29 |
| 16. Prêt à débarquer à Brighton Beach..... | 30 |
| 17. Réglage de l'équipement de navigation..... | 31 |
| 18. Le MFD VOR/VTOL..... | 32 |
| 19. Checklist de la Terre à la Lune..... | 40 |

1. Avant propos

Orbiter est un programme de simulation de vol spatial gratuit et réaliste créé par Martin Schweiger

Site Orbiter: orbit.medphys.ucl.ac.uk/

Communauté Orbiter: www.orbiter-forum.com

Avertissement: Le présent document comprend de nombreuses captures d'écran en couleur pour aider à illustrer les différents concepts en cours de discussion. Il n'est PAS RECOMMANDÉ d'IMPRIMER ce tutoriel. Notez cependant qu'il y a une liste de contrôle à la fin du tutoriel qui convient pour l'impression.

Crédit: J'ai appris les bases d' Orbiter en lisant la documentation exceptionnelle incluse avec Orbiter, en lisant "Go play in space" (Allons jouer dans l'espace) de Bruce Irving, en regardant les missions d'apprentissage accompagnant Orbiter (en particulier, "DG de la Lune"), plusieurs tutoriels et des vidéos sur orbiter-forum.com, et enfin, en dépensant une quantité énorme de temps à poursuivre avec enthousiasme une meilleure compréhension de ce simulateur spatial merveilleux.

Objectif: Ce tutoriel est destiné à aider les débutants qui veulent apprendre à voler de la Terre à la Lune sans l'aide de méthodes automatisées qui font la plupart du travail pour eux mais les laissent désarmés quant au comment et au pourquoi tout fonctionne.

Tous les efforts ont été faits pour rendre ce tutoriel simple et aussi complet que possible, mais il n'est pas destiné à servir de guide d'installation pour le programme Orbiter, ni à servir de guide pour familiariser les débutants à l'utilisation de l'interface d'Orbiter. (Se reporter au document "Orbiter.pdf" dans le dossier Doc afin de se familiariser avec les fondamentaux).

Il est supposé que vous avez déjà installé Orbiter, qu'il fonctionne et que vous avez passé un minimum de temps pour comprendre comment voler dans l'espace et la façon d'interagir avec les écrans multifonctions (MFD).

Ce tutoriel utilise le vaisseau spatial DeltaGlider qui fait partie de l'installation par défaut d'Orbiter.

Ce tutoriel ne nécessite aucun ajout. Toutefois, je recommande fortement d'installer OrbiterSound 4.0 de Dan Steph afin d'avoir les bruits de moteur et de propulseur.

Maintenant que tout cela est dit, nous allons voler vers la Lune!

2. Démarrage rapide

Allons droit au but.

Orbiter est livré avec bon nombre de fichiers de scénarios. Le scénario le plus intégré à utiliser pour suivre ce tutoriel est le scénario Quickstart qui porte bien son nom. Il est situé dans le dossier "Checklists".

C'est un grand scénario de départ, car il vous met sur la piste 33, en cours de journée, au Centre spatial Kennedy, dans le Delta-Glider de base qui est alimenté en carburant et prêt à partir.

Remarque : Une fois Orbiter lancé, appuyez sur F8 pour basculer vers la vue cockpit 2D qui est utilisée dans ce tutoriel.

Nous allons commencer par la mise en place d'un couple de MFD. Sur l'un des écrans MFD, nous ouvrirons par **SEL** la fonction "Align Plane", et sur l'autre la fonction "Map". Sur les deux MFD, cliquez **TGT** et sélectionnez la Lune comme cible (Moon).



Pour voir les plans orbitaux sur le MFD Map, vous devez cliquer sur **DSP** pour faire apparaître les paramètres d'affichage puis sur **MOD** pour modifier la valeur de "Orbit lines". Ce paramètre doit être réglé sur "Orbit plane". Une fois qu'il est défini, cliquez sur **OK**.



3. Planification de l'heure d'arrivée



La Lune tourne sur son axe une fois tous les 29,5 jours. Cela signifie qu'un jour sur la Lune dure environ 14,75 jours. Si vous voulez arriver à votre base cible quand le soleil brille, vous devez quitter la Terre au moment opportun du mois.

Sur votre Map MFD, cliquez sur **REF**, et sélectionnez la Lune (Moon) comme référence. Maintenant, vous êtes en mesure de voir quelle partie de la Lune est dans le soleil, et quelle partie est dans l'obscurité.

Cliquez **TGT** et sélectionnez Brighton Beach comme cible.

Dans l'image ci-dessus, vous pouvez voir que Brighton Beach vient d'entrer dans l'obscurité de la Lune. Si nous devions partir pour la Lune maintenant, nous arriverions à la nuit.

En utilisant l'accélération du temps, nous pouvons sauter plusieurs jours pour que Brighton Beach soit revenu dans la lumière du soleil (comme dans l'image à droite). Si nous partions pour la Lune ce jour-là, nous arriverions quand le soleil brille encore à Brighton Beach.

Il n'y a aucun avantage particulier à l'atterrissage quand le soleil brille. C'est une question de préférence personnelle. Mais prendre ces aspects en considération est quelque chose que vous devriez inclure dans votre planification. Penser à l'avenir est toujours important!

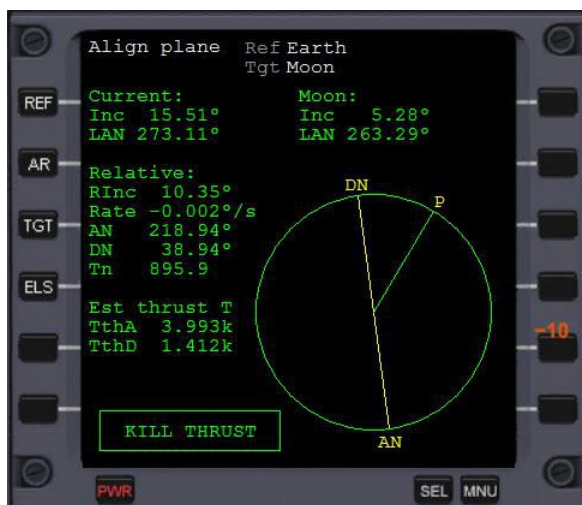


En réalisant qu'il faut plusieurs jours pour se rendre sur la Lune, vous pourriez partir de la Terre lorsque votre base cible est encore dans l'obscurité et arriver quand le soleil se lève sur l'horizon lunaire. Si vous aviez l'intention de réaliser une mission fictive qui exigerait de l'énergie solaire, l'arrivée au lever du soleil lunaire vous donnerait une exposition au soleil maximale pour la durée de la mission.



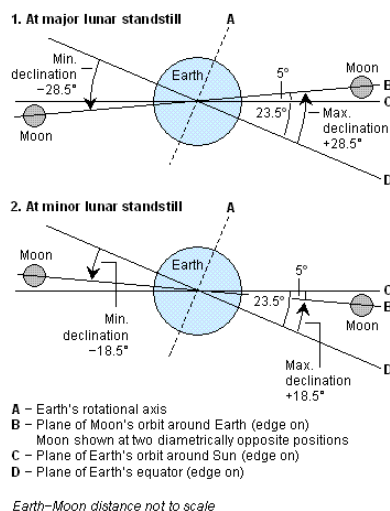
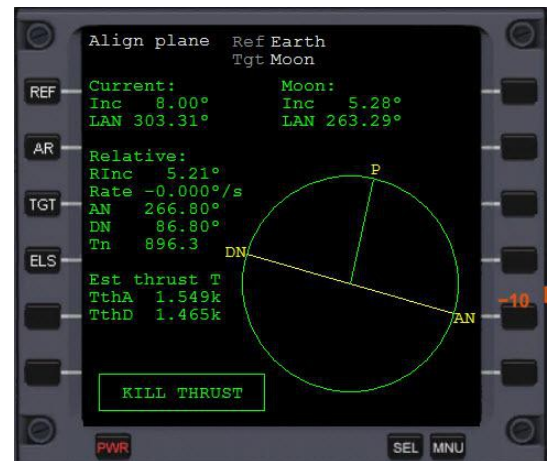
Une fois que vous avez déterminé votre heure d'arrivée à la base cible, cliquez **REF** sur le MFD Map et sélectionnez la Terre (Earth) comme référence.

4. La fenêtre de tir



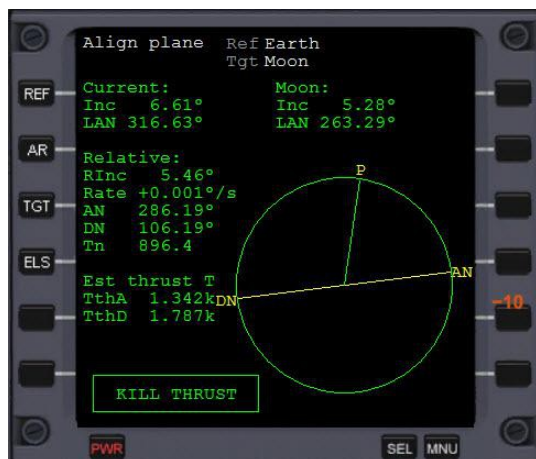
Il est préférable de prendre notre envol lorsque l'orbite de la Lune se rapproche le plus de notre orbite projetée. La valeur de l'indicateur RInc (inclinaison relative) affiché sur le MFD Align plane devient de plus en plus faible à mesure que la fenêtre de lancement se rapproche.

Il est temps de décoller lorsque RInc atteint sa valeur la plus basse. Si vous regardez le MFD Align plane, vous pouvez anticiper cette limite de RInc en suivant le paramètre Rate (juste au dessous de RInc). Vous verrez qu'il affiche quelque chose comme -0.002 ou -0.001. Finalement, il affiche -0.000. Lorsque cela se produit, vous êtes au plus bas de RInc - en d'autres termes, votre fenêtre de lancement est arrivée.



Notez que la valeur RInc n'atteindra jamais zéro. La meilleure RInc que vous pouvez atteindre dépendra de la date de votre lancement.

La Lune se déplace "vers le haut et vers le bas" par rapport au plan de l'écliptique de la Terre. Cela signifie que si vous volez vers la Lune à différentes dates, la meilleure (la plus basse) valeur de RInc variera d'un vol à l'autre.



Si vous continuez à attendre, le taux passera de -0,000 à +0,000; et si vous continuez à attendre encore, la RInc va augmenter à nouveau. (Voir l'image de gauche, la RInc a commencé à monter).

Si la valeur de RInc augmente, cela signifie que la dernière fenêtre de lancement a été dépassée. Vous n'avez plus qu'à vous asseoir et attendre - ou, plus concrètement, accélérer le temps pour atteindre rapidement la fenêtre de lancement suivante.

Vous pourrez toujours aligner votre plan orbital une fois que vous serez en orbite, mais ce faisant, vous gaspillerez du carburant. Dans les vols spatiaux de la vie réelle, le carburant est une denrée précieuse. En terme de vol spatial réaliste, il est une exigence absolue de lancer au moment le plus opportun.

5. Le départ vers l'orbite

Expliquer les détails de décollage et d'entrée dans l'orbite sort du cadre de ce tutoriel. Cependant, j'ai quelques réflexions à partager avec les débutants.

Lorsque vous quittez la piste, tournez et dirigez-vous plein Est (90 degrés) et maintenez cette direction tout le chemin vers l'orbite. La raison principale d'aller directement à l'Est est que vous aurez ainsi un bon plan orbital. Si vous décollez et volez au cap de la piste (330 degrés ou 150 degrés selon le sens du décollage), vous vous éloignerez de votre plan orbital et cela va nécessiter une énorme quantité de corrections.

Si vous arrivez en orbite avec un angle d'environ 90 degrés, la quantité de changement de plan qu'il vous sera demandé de faire sera très faible. Maintenant - après avoir dit cela, je veux au moins vous faire réfléchir sur l'amélioration de votre efficacité pour vos prochains vols.

Dans le tutoriel "DG to the Moon" présent dans Orbiter, il est dit: "Le MFD Align plane fournit une indication approximative de la direction de montée correcte. Essayez de garder l'inclinaison relative entre votre orbite et celle de la Lune à son minimum (indiqué par la lecture RInc)".

Est-ce que cela signifie qu'après avoir décollé et atteint la direction initiale de 90 degrés, vous devez regarder le MFD Align plane et balancer de gauche à droite afin que votre RInc reste à sa valeur la plus basse possible au cours de votre ascension vers orbite. Décoller et tenir un cap de 90 degrés est un peu inefficace. Si vous pouvez faire de petites corrections de cap sur le trajet, vous aurez peu de corrections à faire sur le MFD Align plane dans les prochaines étapes.

Ayant dit cela, mon opinion est que faire ces corrections pendant la montée est une stratégie légèrement avancée. À mon avis, si vous êtes nouveau dans Orbiter, vous ne devriez pas vous soucier de garder votre inclinaison par rapport à un minimum lors de l'ascension en orbite. Concentrez-vous plutôt sur la tenue du cap de 90 degrés; vous ferez une poussée d'alignement de plan une fois que vous serez en orbite dans tous les cas.

Garder votre inclinaison par rapport au minimum est une question d'efficacité. Il est en effet préférable de faire des ajustements de vol lorsque vous montez en orbite, mais quand vous venez juste de commencer avec Orbiter, surveiller le tangage, la vitesse verticale, l'altitude et la vitesse est beaucoup plus important. Alors, pour vos premières tentatives, ne vous inquiétez pas de l'inclinaison relative que vous voulez atteindre. La distraction supplémentaire de surveiller l'inclinaison relative, en plus de tout le reste est un peu trop pour les débutants.

6. Prioriser Plan d'Alignement et Orbite de Circularisation

Une fois que vous atteignez la vitesse orbitale et coupez les moteurs principaux, l'un des sujets les plus pressants est de circulariser votre orbite. Cependant, il arrive souvent que vous traversiez le nœud descendant (DN) avant d'arriver à l'apogée. Lorsque cela se produit, il est généralement dans votre intérêt de faire le changement de plan nécessaire avant de circulariser votre orbite.



La capture d'écran ci-dessus a été faite immédiatement après avoir atteint la vitesse orbitale. J'ai besoin de circulariser mon orbite, mais je ne vais pas arriver à l'apogée avant 1546 secondes. Notez la valeur ApT (Time to Apoapsis - le temps avant l'apogée) de 1.546k. C'est près de 26 minutes à partir de maintenant. En regardant le MFD Align plane, je vois que je vais atteindre le nœud descendant (DN) dans 1025 secondes. Notez le paramètre Tn (Time to Node - temps avant d'atteindre le nœud) la valeur affichée est de 1.025k secondes. C'est seulement 17 minutes à partir de maintenant.

Il arrive parfois qu'on atteigne le point nodal et l'apogée au même moment ou presque. Lorsque cela se produit, circulariser l'orbite est prioritaire. Il ne sera pas bon de faire un changement de plan si vous manquez l'occasion de la poussée à l'apogée et finissez par rentrer dans l'atmosphère une demi-orbite plus tard.

IMPORTANT: Toujours éteindre vos pilotes automatiques avant de commencer à accélérer le temps si vous devez le faire. Appuyer sur le bouton KILL ROTATION arrête le pilote automatique et élimine la plupart des moments angulaires du vaisseau.



Puisque nous avons du temps à perdre, nous allons faire la poussée d'alignement de plan en premier.

Avant de faire la poussée d'alignement de plan, nous allons regarder à quoi ressemble le plan de l'orbite actuelle.

Si vous ouvrez le MFD Map, vous pouvez appuyer plusieurs fois sur **ZM+** pour zoomer et voir de près votre plan orbital autour de la Terre.

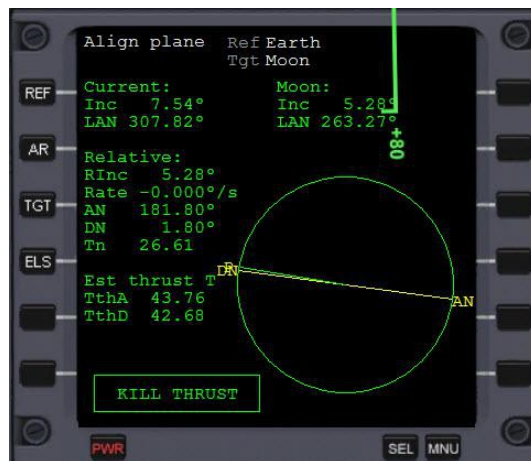
(Rappelez-vous, le plan orbital est affiché en cliquant sur **DSP** et en ajustant la valeur à Orbit lines par **MOD**).

Pour l'instant, contentons-nous d'observer. Dans un instant, nous allons comparer cette image à ce que notre plan orbital ressemble après avoir exécuté la poussée d'alignement de plan.

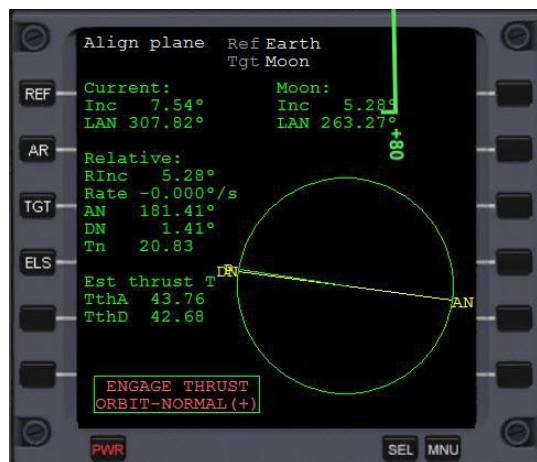
7. Alignement de plan

Si vous ne connaissez pas la *formule secrète* qui se cache derrière le MFD Align plane, alors il faut savoir quand déclencher la poussée et pendant combien de temps. Connaître la marge d'erreur acceptable peut être un mystère total.

Dans l'image de droite, nous voyons que nous sommes à seulement 26,61 secondes du croisement du point nodal descendant. Actuellement, le MFD Align plane est sur le mode "KILL THRUST". Dans un moment, il va changer de "KILL THRUST" à "ENGAGE THRUST ORBIT-NORMAL (+)".



L'heure à laquelle ce message change semble totalement aléatoire lorsque vous êtes nouveau sur Orbiter. Cependant, il est très facile de comprendre la méthode d'anticipation lorsque le message "ENGAGE THRUST" s'affiche.



Vers le bas à gauche du MFD Align plane, il y a deux valeurs à côté des variables TthA (Time thrust Ascending) et TthD (Time thrust Descending). Lorsque le Tn (Time to node) est à peu près à la moitié de la valeur de TthD/TthA, le message "ENGAGE THRUST" s'affiche.

Dans l'image de gauche, nous pouvons voir que Tn est à un peu moins de 21 (21 est à peu près la moitié de 43). Comme nous avons accéléré le temps avant d'arriver à ce point, nous avons ralenti à 1x quand Tn est passé au dessous de 75, ainsi nous avons eu

le temps d'orienter notre DeltaGlider à la position Normal+ avant d'engager les propulseurs.

Si vous êtes nouveau dans Orbiter, vous vous demandez probablement quand utiliser le pilote automatique Orbit Normal (+), et quand utiliser le pilote automatique Orbit Normal (-)? Vous savez sans doute que vous ne pouvez pas attendre que le message "ENGAGE THRUST" s'affiche pour vous demander quelle orientation utiliser. Si vous attendez que le MFD Align plane vous dise l'orientation à utiliser, vous pouvez très bien avoir dépassé le nœud au moment où le pilote automatique oriente le vaisseau. Par conséquent, vous devez savoir comment anticiper le sens de l'orientation à l'avance.

Heureusement, il y a un truc mnémotechnique facile pour savoir dans quel sens orienter votre vaisseau.

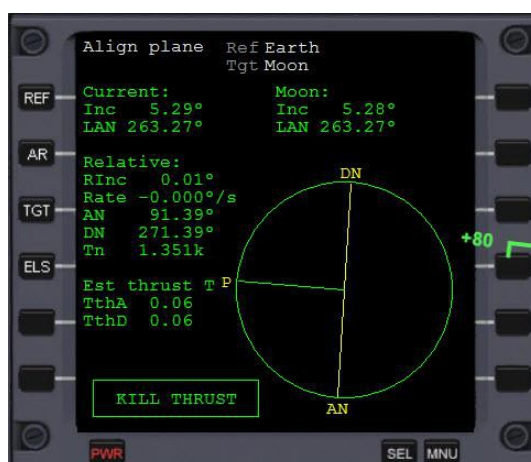
Ascending Node = Anti-Normal (ou AN = AN)

Si vous vous souvenez de ça, alors vous pouvez toujours déduire que le nœud descendant (DN) c'est l'autre.

Quand je faisais cette poussée, je savais que j'avais besoin d'utiliser le pilote automatique LNM + parce que je montais vers le nœud descendant. Je pensais simplement : "AN = AN (nœud ascendant = Anti-normale) et donc le nœud descendant c'est l'autre. Conclusion: Utiliser le pilote automatique NML+".

Quel que soit le type de poussée, vous devez toujours garder un œil sur ce qui se passe afin de pouvoir stopper les propulseurs à temps et ne pas dépasser. Dépasser c'est bâcler la manœuvre et gaspille du carburant. (Mauvais point).

Pour vous empêcher de dépasser lors de la poussée d'alignement de plan, il est préférable de surveiller la valeur Tn.

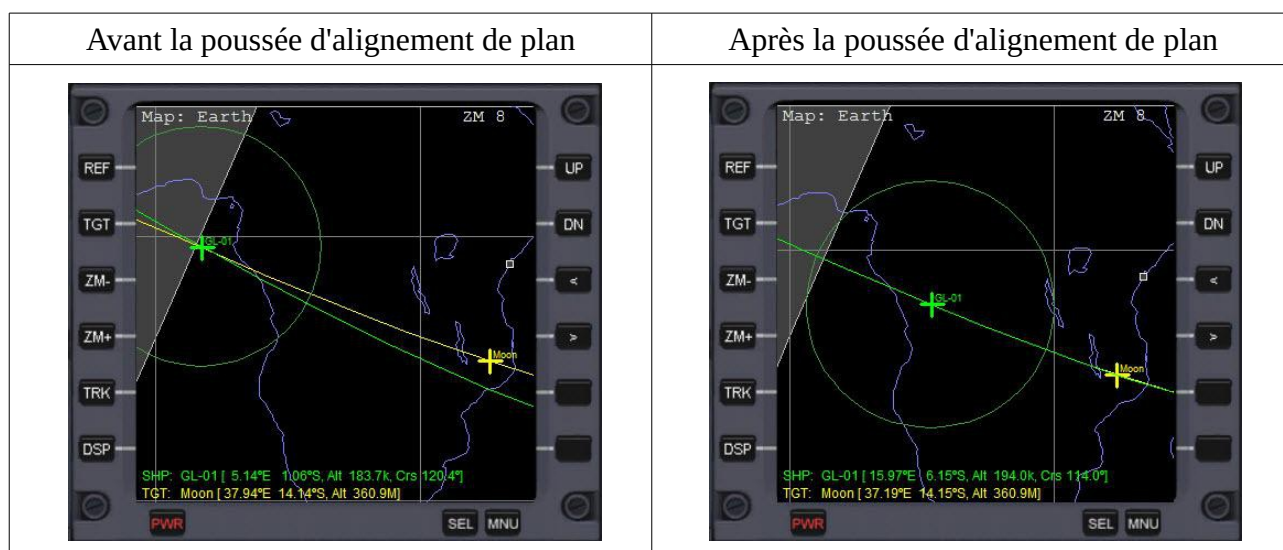


Si T_n atteint 0 et le dépasse, cela signifie que le temps pour rejoindre le nœud est écoulé, et très peu de temps après, vous allez effectivement provoquer une augmentation de votre R_{Inc} si vous continuez la combustion.

Idéalement, vous voulez réduire le R_{Inc} à 0.00, mais ce n'est pas toujours possible de le faire en un seul passage de nœud. Une fois le message "ENGAGE THRUST" disparu, vous devez couper vos moteurs, même si la R_{Inc} n'a pas encore atteint 0.00. Si nécessaire, vous pouvez faire une autre correction au prochain passage de nœud. Cependant, pour aller sur la Lune, un R_{Inc} de 0.01 est plus qu'acceptable. En raison du fait que la Lune est très proche de la Terre (relativement parlant), nous pouvons encore accéder facilement à la Lune avec une inclinaison relative de 0.05 ou moins. (Voir la note technique au bas de cette page).

Notez que lorsque vous devez exécuter de très petites poussées, il est préférable d'utiliser les propulseurs de translation que d'utiliser les moteurs principaux. Les moteurs principaux sont trop puissants, même à leur plus bas régime, car tout ce que vous avez besoin est une toute petite poussée. Si nous voulions ramener notre R_{Inc} à 0.00 lors du prochain passage de nœud, il faudrait le faire pendant 0.06 secondes de T_{thD}/T_{thA} avec les propulseurs de translation à 10% en maintenant enfoncée la touche CTRL (Si vous ne savez pas utiliser pas les propulseurs de translation, il est essentiel que vous lisiez l'article 15.2 de Orbiter.pdf dans le dossier Doc).

Maintenant que la poussée est terminée, si vous affichez le MFD Map, vous pouvez voir à quoi ressemble votre plan orbital par rapport à celui d'avant.



C'est fantastique! Passons à la très importante poussée de circularisation d'orbite.

Point technique: Une poussée d'alignement de plan n'est pas forcément nécessaire pour aller sur la Lune. Si vous utilisez un équipement de navigation plus précis que le MFD Transfer standard (on en parle plus loin), vous pouvez vous rendre sur la Lune en combinant votre poussée d'éjection et celle d'alignement de plan en une seule action. Ceci est particulièrement important dans le cas où vous voulez aller directement vers la Lune à partir de la Station spatiale internationale (ISS). L'ISS est à environ 70 degrés en dessous du plan, si vous vouliez vous détacher de l'ISS et utiliser le

MFD Align plane pour vous aligner avec celui de la Lune avant d'exécuter la poussée d'éjection, ce qui est un changement de plan de 70 degrés, il faudrait une quantité énorme de carburant.

Une fois que vous avez compris la méthode la plus rudimentaire de se rendre sur la Lune comme indiqué dans ce tutoriel, vous aurez peut-être envie d'expérimenter des méthodes plus sophistiquées (plus complexes).


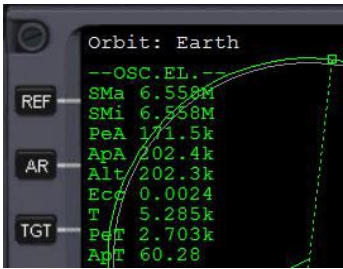
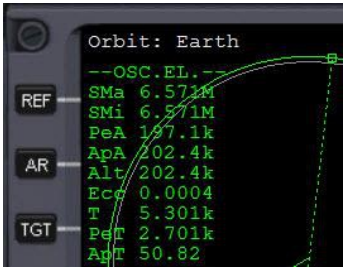
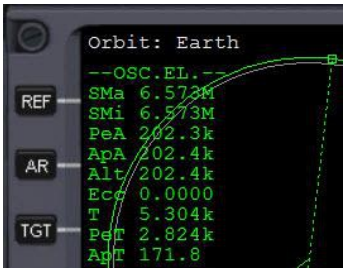
8. Circularisation d'orbite

Lorsque vous circularisez votre orbite après le lancement, il est préférable de le faire en effectuant une série de poussées en ProGrade (plutôt que d'essayer d'amener votre excentricité à 0.0000 en une seule poussée). Quand le temps jusqu'à l'apogée (ApT) est à environ 10 à 15 secondes, lancez les moteurs principaux à plein régime en appuyant sur + sur le pavé numérique. Vous pouvez remarquer que la valeur de PeA (altitude du périégée) augmente, mais que votre ApT augmente également.

Cela arrive parce que vous amenez le point le plus haut de l'orbite légèrement vers l'avant à la suite de la puissante poussée du moteur principal. Quand l'ApT affiche 30 ou 40 secondes, relâchez la touche + et attendez le temps de compter jusqu'à 10 ou 15. La deuxième poussée peut ne pas exiger la pleine puissance des moteurs principaux. Vous pouvez utiliser CTRL + pour la deuxième poussée si vous n'avez pas été au delà de la circularisation de l'orbite.

L'idée est de pousser un peu afin d'atteindre le PeA, attendre que ApT décroisse, pousser à nouveau, attendre le compte à rebours de ApT, pousser encore un peu, et ainsi de suite. A chaque fois, il faudra moins de puissance du moteur que celle qui la précède. Lorsque vous êtes à quelques kilomètres d'avoir une orbite circulaire, vous utiliserez les propulseurs de translation pour éliminer le dernier reliquat d'excentricité.

En réalisant cette série de poussées, vous veillerez à ce que votre apogée ne soit pas affectée. (Voir le tableau à la page suivante).

| | | |
|-----------|---|---|
| Avant |  | Avant la poussée de circularisation d'orbite, l'excentricité est à 0.0137 et le PeA (point de l'orbite le plus bas) à 24.67 km. |
| Poussée 1 |  | Après la première poussée de circularisation avec les moteurs principaux à pleine puissance, l'excentricité décroît à 0.0024, le PeA est à 171.5k, et nous sommes maintenant à 60.28 secondes de l'apogée. Remarquez que nous sommes plus loin de l'apogée maintenant que nous l'étions avant la poussée. Maintenant, attendons environ 10 secondes de décompte de l'ApT. |
| Poussée 2 |  | Après la poussée avec les moteurs principaux en puissance réduite, l'excentricité est en baisse à 0.0004, le PeA est à 197.1k, et nous sommes à 50.82 secondes de l'apogée. <i>Notez que la correction de l'excentricité au delà de cette valeur est tout à fait inutile.</i> |
| Poussée 3 |  | Après une poussée finale des propulseurs de translation uniquement, nous avons ramené l'excentricité au plus bas à 0.0000. Notez que l'ApA (altitude de l'apogée) n'a augmenté que de 0.1 K au cours de la série de poussées. |

9.Évaluation de la situation

Je pense que c'est important de bien comprendre votre situation actuelle à chaque étape du chemin. Avant la poussée de circularisation de l'orbite vous aviez besoin de prendre des mesures dans un délai relativement court pour vous empêcher de rentrer dans l'atmosphère. Maintenant que la poussée de circularisation de l'orbite est terminée, votre situation actuelle est plus détendue. Vous pouvez sans problème tourner autour de la Terre indéfiniment avant de passer à l'action suivante.

Il est important de comprendre que vous n'avez pas uniquement une seule occasion de faire la grande poussée d'éjection qui vous mènera vers la Lune. Vous aurez une nouvelle occasion de faire cette poussée à chaque fois que vous ferez le tour de la Terre. Lorsque vous débutez avec Orbiter, il est facile de subir un effet de tunnel lors de la lecture des didacticiels étape par étape et de la visualisation des vidéos. Vous pouvez penser que suite à une action que vous avez prise cela ne correspond pas exactement à ce que "ce gars dans la vidéo fait", que cela signifie en quelque sorte que vous avez fait une erreur irrécupérable, que vous avez manqué la "fenêtre" entièrement, et la seule façon de corriger est de recommencer.

Ce que vous devez réaliser (et plus tôt vous vous en rendez compte, mieux ce sera), c'est qu'il n'y a jamais deux vols exactement pareils.

Comme exemple des diverses façons de faire dans les étapes précédentes, nous avons fait la poussée d'alignement de plan avant la poussée de circularisation d'orbite, mais nous n'étions pas tenus de les faire dans cet ordre. Nous aurions pu atteindre le nœud descendant et aller directement à l'apogée en faisant la poussée de circularisation d'orbite. Nous aurions pu faire la poussée d'alignement de plan au prochain passage de nœud après l'apogée.

D'autre part, certaines choses doivent en effet être faites dans un ordre précis. Par exemple, nous ne pouvons pas effectuer la poussée d'éjection avant d'avoir fait nos poussées d'alignement de plan et de circularisation d'orbite. Bien que cela soit évident pour quelqu'un qui a un peu d'expérience, ça ne l'est certainement pas pour un nouveau sur Orbiter. Comprendre la séquence des événements et la façon dont vous pouvez modifier l'ordre de certaines tâches vient avec l'expérience.

C'est tout ce que je vais dire sur ce point, mais je voulais que ce soit précisé parce que, encore une fois, je sais combien il est facile de subir un effet tunnel quand vous essayez de comprendre ces choses pour la première fois.

10. Le MFD Transfer

Une fois que vous avez une orbite relativement circulaire, et que vous avez aligné votre plan avec celui de la Lune, il est temps de vous préparer à la poussée d'injection Trans Lunaire (TLI) ce qui dirigera votre apogée vers la trajectoire orbitale de la Lune autour de la Terre.



Afficher le MFD Transfer. Par défaut, il ressemble à l'image de gauche. La vue par défaut du MFD Transfer montre un graphique similaire à ce que vous verriez si vous regardiez le MFD Orbit.

La ligne circulaire représente la Terre, et la ligne radiale unique s'étendant vers le bord du cercle montre la position de votre vaisseau en orbite autour de la Terre.

Par souci de clarté, il peut être utile d'examiner le MFD Transfer côte-à-côte avec le MFD Orbit.



Vous pouvez remarquer que le MFD Orbit montre la même situation que le MFD Transfer.

La première chose que nous devons faire est de cliquer sur **TGT** pour sélectionner la Lune comme cible. Notez que le graphique a été mis à jour.



La nouvelle carte graphique montre un cercle très petit au milieu d'un cercle extérieur orange beaucoup plus grand. Le très petit cercle au milieu est la Terre. Le grand cercle orange extérieur est la trajectoire orbitale de la Lune autour de la Terre.

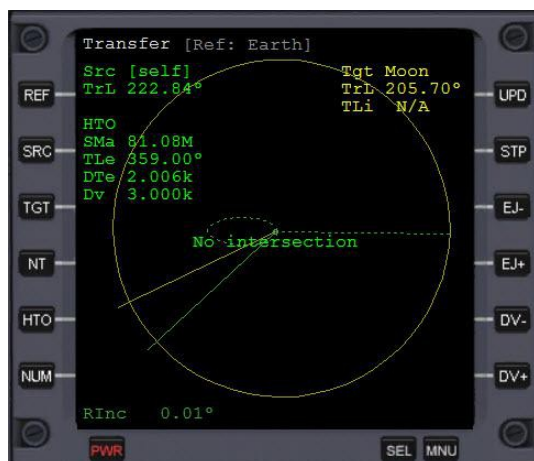
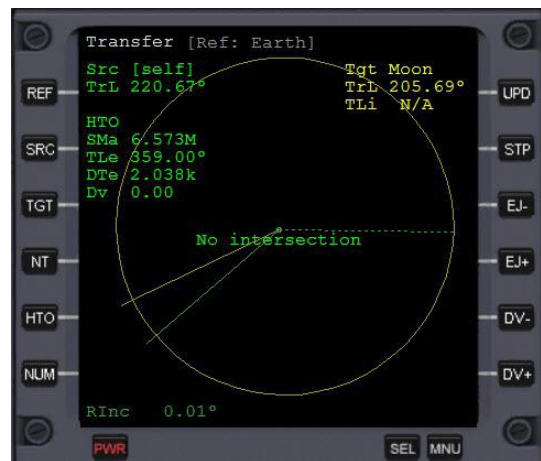
La ligne radiale orange foncé qui pointe vers le bord du cercle nous montre où la Lune est actuellement sur son orbite autour de la Terre.

La ligne radiale verdâtre n'a pas de signification particulière à cette étape.

Cliquez sur **HTO** pour afficher l'orbite de transfert hypothétique. Cela nous permet de créer des "What if?" Scénarios (scénarios hypothétiques).

Le but ici est de créer une solution de travail qui nous mènera à la Lune. Les deux paramètres à ajuster sont les Dv (delta-velocity - c'est la quantité d'énergie dont nous avons besoin) et de l'EJ (point d'éjection - c'est le moment où nous ferons la poussée d'éjection).

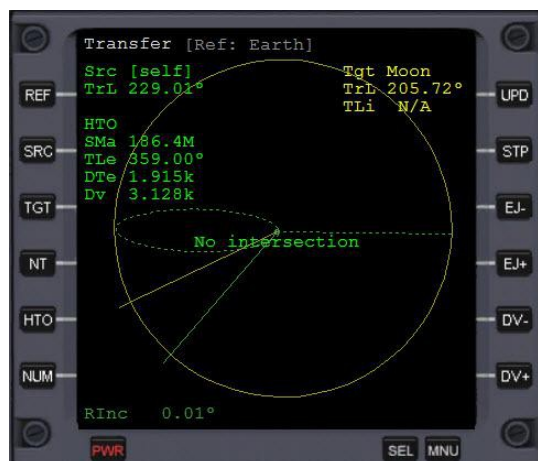
Commencez par cliquer **DV+** et maintenez le pour ajouter un peu de delta-v à votre plan hypothétique. Regardez la valeur Dv sur le MFD Transfer car elle augmente.



DV+ pour ajouter encore plus de Dv.

Lorsque le Dv se rapproche de 3.000k, vous remarquerez une ellipse en pointillé dont la taille augmente de plus en plus depuis le centre jusqu'à l'extérieur vers le bord du MFD. Cette ellipse croissante représente l'orbite prévue autour de la Terre. Rappelez-vous, le petit (imperceptible) cercle au milieu est la Terre elle-même.

Si l'on considère l'image de gauche, elle témoigne que notre orbite s'étend à environ 1/3 de la sortie de la trajectoire orbitale de la Lune. Il est clair que ce n'est pas assez loin, donc continuons à appuyer sur

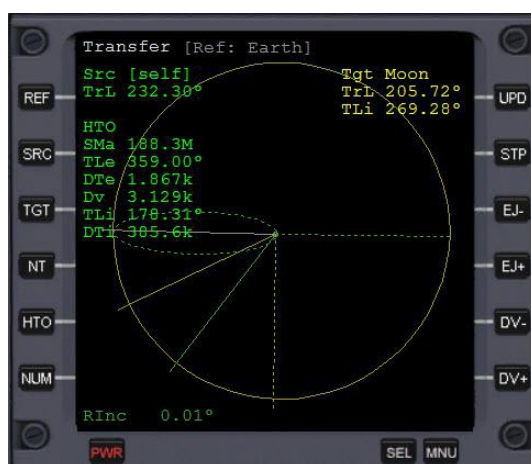


A la valeur 3.128k de Dv, nous avons une orbite hypothétique qui nous amène presque à la Lune, mais le MFD Transfer affiche toujours "No intersection." Cela signifie que nous n'avons pas assez de delta-v pour nous emmener là-bas.

La valeur de Dv qui est nécessaire varie (bien que légèrement) d'un vol à l'autre. La Lune ne tourne pas autour de la Terre selon une trajectoire parfaitement circulaire, de sorte que la valeur de delta-v nécessaire pour y arriver varie en fonction de la période du mois et de l'année.

Un clic de plus sur **DV+** est suffisant pour enlever "No intersection" du MFD Transfer. Une fois qu'il n'y a plus "No intersection" sur le MFD Transfer, c'est une bonne idée d'ajouter de 12 à 15 clics de plus sur **DV+**.

Si nous n'avons pas assez de Dv, le MFD Transfer affichera à nouveau "No intersection" quand nous déplacerons le point d'éjection autour de la Terre dans l'étape suivante. D'une manière générale, nous aurons besoin d'un supplément d'une dizaine de clics sur **DV+** de toute façon.



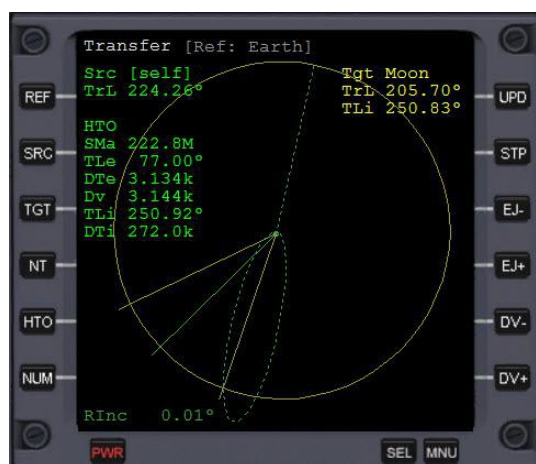
Lorsque vous avez la quantité minimale de Dv pour éviter d'afficher "No intersection" sur le MFD Transfer, vous êtes en fait sur une trajectoire en collision avec la surface lunaire. Ce n'est pas nécessairement un problème parce que vous allez faire une correction à mi-parcours, dans tous les cas.

Cependant, il est préférable d'essayer de planifier votre arrivée comme une trajectoire courbe autour de l'autre côté de la Lune avec un périégée positif. En raison de la relative imprécision du MFD Transfer (et

le fait que nous allons contrôler la synchronisation des poussées manuellement), notre capacité de planifier un parcours parfait autour de la Lune est extrêmement limitée.

Dans l'image ci-dessus, nous avons ajouté 15 autres clics sur **DV+** pour une intersection au-delà de 3.129k. Sans un outil de calcul plus précis, nous pouvons juste deviner combien de Dv supplémentaires nous avons besoin. (Mais je sais par expérience que de 12 à 15 clics supplémentaires est généralement une bonne estimation).





La prochaine chose que nous devons faire est de trouver le point dans notre orbite autour de la Terre où l'exécution de cette poussée nous permettra d'arriver à la trajectoire orbitale de la Lune en même temps et au même endroit qu'Elle. (Si nous sommes trop en retard, ou trop en avance, la Lune ne sera pas au même endroit dans l'espace que nous).

Nous trouverons le point d'éjection correct en cliquant sur **EJ+** et/ou **EJ-**. Ces boutons tournent notre point d'éjection hypothétique dans le sens horaire (EJ-), ou dans le sens antihoraire (EJ+).

La ligne radiale verdâtre pointillée qui s'étend vers le haut du cercle orange représente le point dans notre orbite où nous allons effectuer la poussée d'éjection. Comme nous faisons tourner le point d'éjection en utilisant **EJ+** et **EJ-** notre orbite hypothétique se déplace en conséquence. (Notez que le point d'éjection est exactement sur le côté opposé de la planète). L'objectif est de faire tourner notre point d'éjection jusqu'à ce que notre orbite hypothétiques intercepte la position prévue de la Lune.

La position prévue de la Lune est représentée par la ligne radiale orange pointillée. Nous voulons que la ligne radiale continue grise à droite se trouve au-dessus de la ligne radiale orange pointillée. (Comme dans l'image ci-dessus). Encore une fois, la position actuelle de la Lune est la ligne solide radiale orange. Dans le temps qu'il nous faut pour parcourir les quelques 385000 kilomètres entre la Terre et la Lune, la Lune se sera déplacée sur son orbite autour de la Terre au point représenté par la ligne radiale orange pointillée. Comme nous pouvons le voir sur l'image, notre trajectoire orbitale hypothétique (ellipse verte pointillée) intercepte la Lune à ce moment-là.

Conclusion: nous avons une solution de travail.



suffisante à ce nouveau point.

En passant, n'oubliez pas que nous avons ajouté 15 clics supplémentaires avec **DV+** même après l'affichage de "No intersection" sur le MFD Transfer. Si vous regardez l'image de gauche, vous pouvez voir que 3.129k pour Dv ne sont pas suffisants après avoir ajusté le point d'éjection en utilisant **EJ+**.

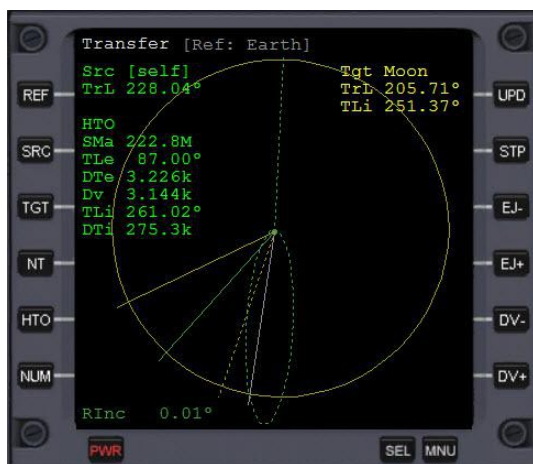
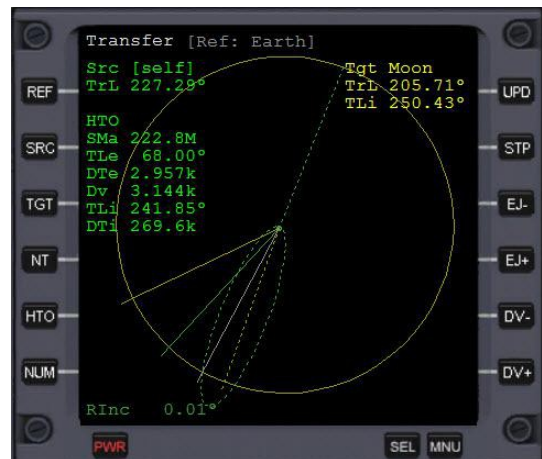
Cela est dû au fait que la Lune est légèrement plus éloignée de la Terre à ce stade de son orbite que ce qu'elle était quelques degrés auparavant. Même si 3.129k nous ont donné un scénario hypothétique de travail avant, cette valeur de Dv n'est plus tout à fait

Pour des raisons de précisions supplémentaires (peut-être même exhaustives) sur l'orbite de transfert hypothétique, voici quelques exemples à prendre en compte.

Dans cet exemple, notre point d'éjection est désactivé à cause d'une valeur excessive. Notez que la ligne solide grise est plusieurs degrés à gauche de la ligne orange pointillée.

Nous n'aurions jamais pu nous rendre sur la Lune avec ce scénario.

Nous pourrions résoudre ce scénario hypothétique en cliquant sur **EJ+** plusieurs fois pour faire tourner le point d'éjection dans le sens antihoraire.



Dans cet exemple, nous avons le problème exactement inverse. Notez que la ligne solide grise est plusieurs degrés à droite de la ligne orange pointillée.

Nous pourrions résoudre ce scénario hypothétique en cliquant sur **EJ-** plusieurs fois pour faire tourner le point d'éjection dans le sens horaire.

Dans ce dernier exemple de ce qu'il ne faut pas faire, nous avons notre point d'éjection correctement alignée, mais nous avons une quantité relativement importante de Dv supplémentaire. Remarquez comment l'ellipse en pointillé vert s'étend au-delà du bord du MFD.

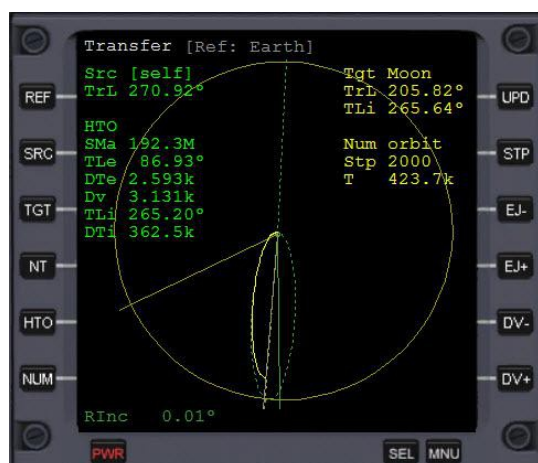
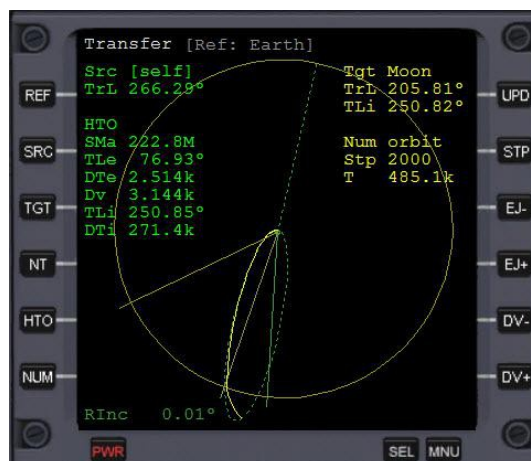
Nous pourrions encore nous rendre sur la Lune avec ce scénario, et le Dv supplémentaire pourrait techniquement accélérer notre voyage très légèrement, mais il est généralement inutile de brûler du carburant supplémentaire.



Il y a une autre caractéristique du MFD Transfer qui peut nous aider à déterminer une valeur plus précise de Dv à utiliser. Si vous cliquez sur **NUM**, il trace une ligne jaune en gras sur le dessus de l'ellipse orbitale hypothétique. Il s'agit de la trajectoire numérique.

Vous pouvez contrôler combien d'étapes il dessinera en cliquant sur **STP** et en tapant une nouvelle valeur. La valeur par défaut de 2000 pas est correcte pour nos besoins, il n'est donc pas nécessaire de la changer.

Comme vous pouvez le voir sur l'image de droite, la trajectoire numérique montre que notre Dv de 3.144k est dépassée. Nous n'avons aucune raison d'apporter des modifications à ce stade. Toutefois, dans un souci de comparaison, nous allons voir à quoi ressemble la trajectoire numérique avec une valeur différente de Dv.

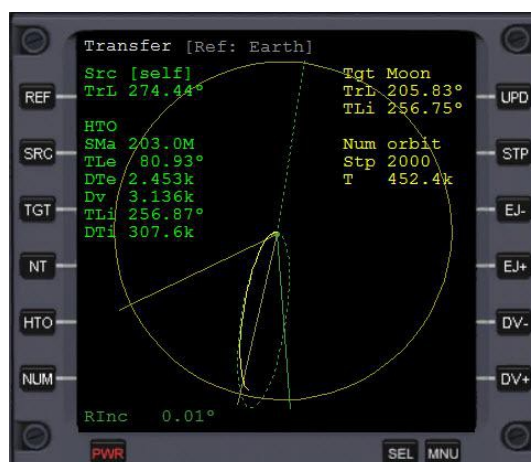


Dans l'image de gauche, nous avons reconfiguré le MFD Transfer avec le minimum de Dv que nous pouvons utiliser sans revenir en arrière à "No interception."

Remarquez comment la trajectoire numérique mise à jour semble raccourcie. Je sais par expérience que nous pourrions encore nous rendre sur la Lune avec 3.131k de Dv. Cependant, ce serait sans doute une trajectoire balistique vers la face visible de la surface lunaire. (bien qu'une correction à mi-parcours permettrait de résoudre ce problème).

Dans ce dernier exemple, nous avons reconfiguré le MFD Transfer en ajoutant quelques clics de plus au-delà des 3.131k minimum. (Un supplément de 5 clics).

Lorsque nous mettons à jour la trajectoire numérique, il semble encore que la trajectoire raccourcit. Encore une fois, nous n'aurions aucun problème à nous rendre sur la Lune avec ce scénario, nous n'aurions qu'à faire la poussée appropriée à la correction à mi-parcours. Mais la trajectoire d'origine (avec 3.144k de Dv) avait l'air mieux, donc restons avec ça.

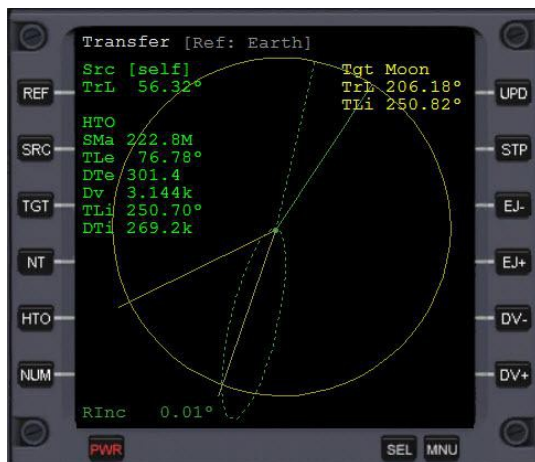


11. Prêt pour la poussée d'Injection Trans-lunaire (TLI)

Une fois que vous êtes satisfait de la solution hypothétique que vous avez trouvée à l'aide du MFD Transfer, il y a peu de choses à faire, seulement s'asseoir et attendre jusqu'à ce qu'il soit temps d'effectuer la poussée. La variable DTe nous permet de savoir combien de secondes il reste jusqu'à la poussée. Grâce à l'accélération du temps, nous pouvons avancer rapidement jusqu'à ce que nous soyons proche du moment de la poussée.

Nous allons commencer notre poussée quand DTe affichera 30 secondes. En outre, notre vaisseau doit être en position ProGrade lorsque nous effectuerons la poussée. Selon l'orientation actuelle de votre vaisseau (et la charge embarquée), cela peut prendre plusieurs secondes pour tourner à la position ProGrade. Donc, ne pas attendre que DTe baisse à 35 ou 40 secondes avant de sortir de l'accélération du temps. Vous devez vous laisser plus de temps car il faut plusieurs secondes pour orienter votre vaisseau.

Quand vous aurez acquis plus d'expérience, vous n'aurez pas à réfléchir à chaque étape comme vous le faites maintenant, et vous n'aurez donc pas besoin d'autant de temps. Mais avant que cela ne devienne une seconde nature pour vous, assurez-vous de vous laisser suffisamment de temps pour chaque action.



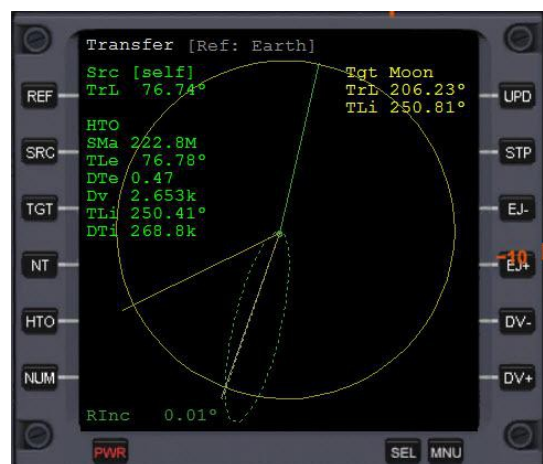
Dans l'image de gauche, nous sommes à 301.4 secondes de la poussée. (Il nous reste environ 5 minutes). Au cours des prochaines minutes, nous allons utiliser le bouton du pilote automatique ProGrade pour orienter notre vaisseau en vue de la poussée. Le moment exact où nous utiliserons le pilote automatique ProGrade dépend de l'amplitude de l'orientation de notre vaisseau. Si nous sommes très proche de la position ProGrade, nous pouvons attendre jusqu'à ce que DTe affiche 40 secondes avant d'armer le pilote automatique ProGrade. Si

nous sommes mal orientés, nous appliquerons le pilote automatique ProGrade quand DTe sera à 60 secondes ou plus.

Dès que DTe atteint 30 secondes, allumez vos moteurs principaux à plein régime. Gardez un œil sur le compte à rebours DTe.



Lorsque DTe atteint 0 secondes, appuyez sur le bouton KILL ROTATION pour couper le pilote automatique ProGrade. *(Remarque: Ne pas éteindre les moteurs principaux à ce point. Continuer à pousser jusqu'à ce que*



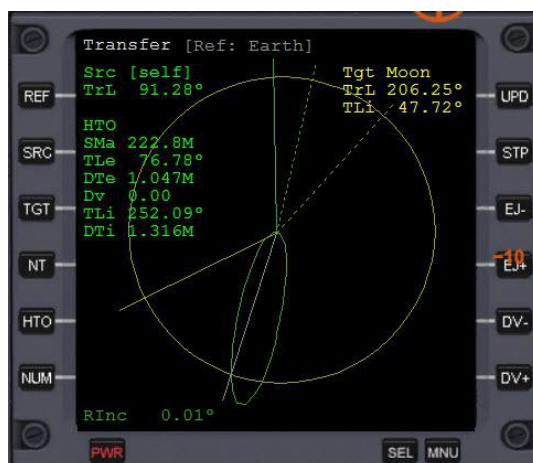
Dv soit à 0 Vous devez tout simplement arrêter le pilote automatique ProGrade à ce moment)..

Pendant que vous utilisez les moteurs principaux pour la poussée de TLI, vous remarquerez que votre orbite autour de la Terre devient très elliptique et que l'apogée augmente rapidement. Sur le MFD Orbit de l'image ci-dessous, vous pouvez voir votre orbite s'allonger à mesure que votre vitesse augmente.



Continuez à pousser les moteurs principaux jusqu'à ce que Dv atteigne 0. Comme toujours, soyez prêt à retenir l'accélérateur sinon vous allez dépasser. Lorsque Dv descend à environ 500, vous pouvez réduire votre manette à 75% et continuer à diminuer l'accélérateur progressivement à mesure que Dv se rapproche de 0.

Au moment où Dv descend à 1 ou 2, vous devez éteindre les moteurs principaux entièrement et utiliser les propulseurs de translation pour ajouter la dernière fraction de poussée à votre trajectoire.



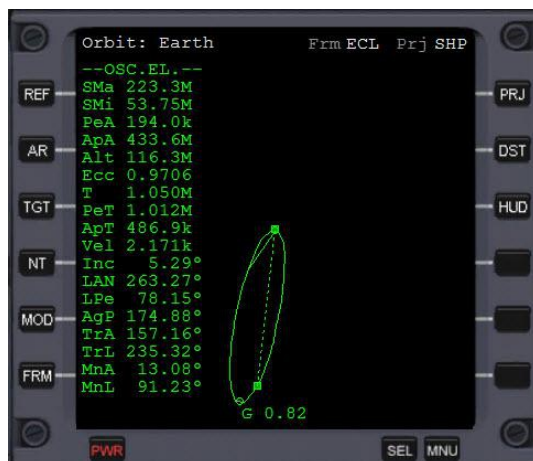
S'il vous arrive de dépasser un peu, ne paniquez pas - il suffit d'utiliser les propulseurs de translation inverse pour supprimer l'excédent.

Une fois votre poussée TLI terminée, cliquez sur **HTO** pour supprimer les lignes en pointillés et les données de HTO. Cette information n'est plus pertinente après la fin de la poussée.

Félicitations, vous êtes sur le chemin de la Lune!

12. En roue libre vers la Lune

Une fois la poussée TLI terminée, vous passerez environ 3 jours en roue libre vers la Lune. Puisque vous êtes à quelques heures du périgée lunaire (périlune), vous aurez l'occasion de faire quelques poussées de correction à mi-parcours (MCC). Si nous utilisions un équipement de navigation plus sophistiqué, nous aurions effectué la poussée de correction à mi-parcours beaucoup plus tôt. Il est plus efficace de faire la correction à mi-parcours à peu près à mi-chemin de la Lune. (Environ 36 heures de vol - car l'influence gravitationnelle de la Terre n'est plus la force dominante) Cependant, puisque nous utilisons l'équipement de navigation de base, nous devons être dans la sphère d'influence gravitationnelle de la Lune (SOI), ce qui n'est pas le cas tant que nous ne sommes pas sur le chemin de la Lune.



Utilisez l'accélération du temps pour vous rapprocher de la Lune. A 1.000x, il faudra environ 4 minutes pour aller de la Terre au point de correction à mi-parcours. C'est une vitesse confortable et vous n'aurez pas à trop vous soucier de dépassement.

IMPORTANT: Vous devez désactiver vos pilotes automatiques avant de commencer à accélérer le temps. Un appui sur le bouton KILL ROTATION arrête le pilote automatique et élimine la plupart des moments angulaires du vaisseau.

Comme vous êtes en roue libre vers la Lune, assurez-vous que vous avez le MFD Orbit ouvert. Dans la partie inférieure du MFD Orbit, il existe un indicateur gravitationnel. (Notez la majuscule G). Le chiffre vous indique le niveau d'influence gravitationnelle que le corps de référence exerce sur votre vaisseau.

En utilisant cette information, vous serez en mesure de prévoir quand vous êtes à proximité du point de correction à mi-parcours de façon à ralentir l'accélération de temps sans dépassement. Lorsque l'influence gravitationnelle de la Terre tombe en dessous de 0.50, l'indicateur devient rouge. (Si nous utilisions un équipement de navigation plus sophistiqué, nous aurions le temps de faire notre correction à mi-parcours).

Si vous êtes impatient, vous pouvez accélérer votre voyage en utilisant pendant un court moment l'accélération à 10.000x. À 10.000x, il faudra environ 30 secondes pour arriver au point de correction à mi-parcours. Cependant, il est très facile de dépasser lors d'une accélération à 10.000x. Vous devez apporter une grande attention au MFD Orbit afin que vous puissiez ralentir quand vous voyez l'influence gravitationnelle de la Terre descendre en dessous de 0.25

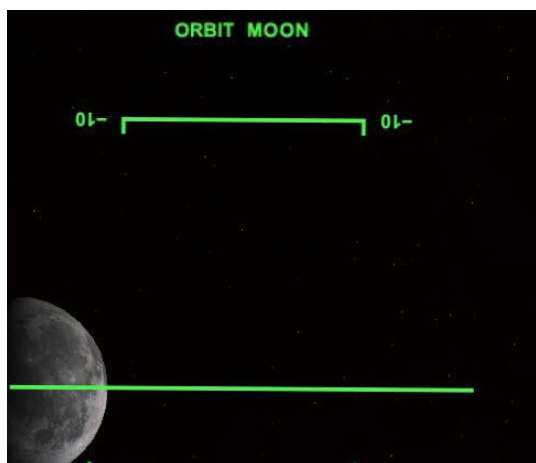
Continuez votre voyage vers la Lune jusqu'à ce que la Lune elle-même devienne le corps gravitationnel dominant. Ce sera le cas lorsque l'influence gravitationnelle de la Terre tombera à environ 0.20. Dans l'image ci-dessous, nous avons ouvert un MFD Orbit de chaque côté. Sur la droite, nous avons la Terre comme objet de référence, et sur la gauche, la Lune comme objet de référence. Il s'agit d'une excellente façon de garder une trace de vos progrès pendant que vous êtes sur votre lancée vers la Lune.

Dans l'image ci-dessous, vous pouvez voir que l'influence gravitationnelle de la Lune est encore rouge. Cela signifie que la Lune n'est pas encore l'influence dominante. (A ce moment du parcours, le soleil est en fait l'influence dominante).



Après quelques temps sur la lancée, le MFD Orbit signale que la Lune est maintenant l'influence gravitationnelle dominante. Notez que l'indicateur de gravité a changé du rouge au vert. Le moment exact de ce changement peut varier d'un vol à l'autre. Quand vous atteignez ce point de croisement, vous devez ralentir l'accélération à 1x de sorte que vous puissiez effectuer la poussée de correction de trajectoire à mi-parcours.





Quand la Lune devient le corps gravitationnel dominant, votre HUD se met à jour automatiquement. (Il doit afficher "ORBIT MOON", comme dans l'image à gauche).

Cependant, si vous remarquez que l'indicateur gravitationnel de la Lune a changé du rouge au vert et que le HUD référence toujours la Terre ou le soleil, cliquez sur le bouton **AR**. Le bouton **AR** dit au MFD Orbit d'utiliser le corps de gravité la plus forte comme référence. Puis cliquez sur le bouton **HUD** pour copier les données de référence de la

Lune sur le HUD.

13. Alignement vers la base

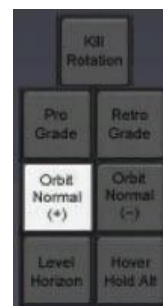
La première poussée de correction à mi-parcours que nous allons faire permet à notre vaisseau de s'aligner avec la base où nous voulons atterrir. L'installation d'Orbiter par défaut ne dispose que d'une seule base, Brighton Beach, de telle sorte que c'est la base avec laquelle nous allons nous aligner. Affichez le MFD Orbit d'un côté et le MFD Map de l'autre. Sur le MFD Orbit, cliquez sur **FRM** pour basculer entre EQU et ECL. (Vue équatoriale et vue écliptique). Nous voulons la vue EQU. Sur le MFD Map, cliquez sur **TGT** pour définir comme cible Brighton Beach, et cliquez sur **DSP** pour définir Orbit lines comme plan d'orbite.



Dans l'image ci-dessus, nous pouvons voir que la trajectoire orbitale autour de la Lune ne passe pas au-dessus de la base de Brighton Beach. Pour résoudre ce problème, nous devons faire une poussée de changement de plan afin de modifier la trajectoire orbitale. En regardant le MFD Orbit, nous voyons que notre inclinaison (Inc) est de presque 180 degrés. Cela signifie que nous sommes sur une orbite rétrograde autour de la Lune. Au lieu d'orbiter d'Ouest en Est comme nous le faisons autour de la Terre, nous sommes sur une trajectoire orbitale d'Est en Ouest. (Si l'inclinaison est

proche de 0 degrés, alors cela veut dire que nous sommes sur une orbite normale d'Ouest en Est).

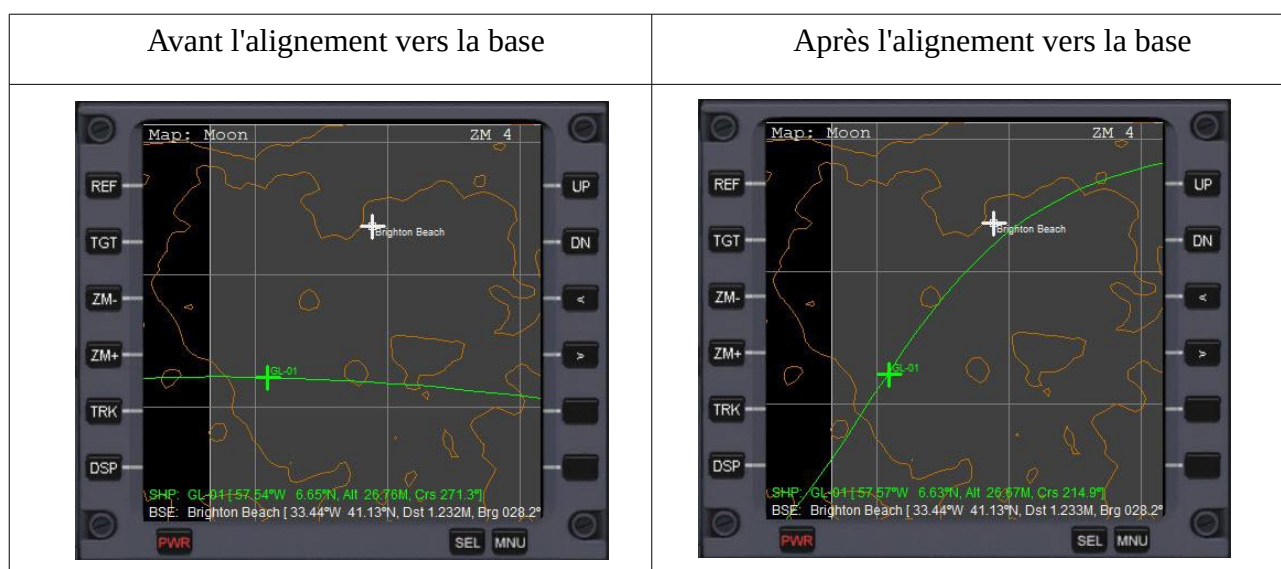
Puisque nous sommes sur une orbite d'Est en Ouest, nous devons tourner notre vaisseau à +90 degrés par rapport à la direction du mouvement vers l'avant de sorte que lorsque nous allumerons les moteurs, la partie occidentale de notre orbite s'orientera au Sud et la partie orientale s'orientera au Nord. (Si nous étions en orbite d'Ouest en Est, ce serait dans l'autre sens, c'est à dire que nous devrions nous orienter à -90 degrés).



L'utilisation du pilote automatique Orbit Normal (+) oriente le vaisseau pour nous.

Une fois que le vaisseau a réglé sa position, appuyez sur CTRL+ 3 ou 4 fois afin d'appliquer une poussée du moteur principal. Continuer la poussée jusqu'à ce que la ligne de l'orbite soit près de Brighton Beach.

Notez qu'il ne faut pas mettre les pleins gaz, car le pilote automatique Orbit Normal (+) doit faire de petites corrections d'orientation au cours de la combustion. Si vous poussez à plein régime, il va diriger votre vaisseau hors de la bonne orientation.



L'alignement vers Brighton Beach n'a pas besoin d'être parfait. Comme nous approchons de la Lune, notre trajectoire orbitale va être perturbé un peu, et nous aligner parfaitement avec Brighton Beach à cette étape ne nous apporte aucun avantage. Nous voulons juste être assez proche.

Astuce avancée: C'est même mieux si vous ne vous alignez pas parfaitement durant cette poussée. Si vous pouviez prévoir combien votre trajectoire orbitale va changer à l'approche de la Lune au cours des prochaines heures de voyage, alors vous pourriez la corriger et vous seriez presque parfaitement aligné avec la base après votre arrivée au périgée lunaire. Cependant, c'est un concept assez avancé qu'un débutant n'aurait pas la chance de découvrir par lui-même. Mais c'est quelque chose à garder à l'esprit pour vos efforts futurs.

14. Correction perilunaire

Ensuite, nous devons ajuster notre orbite prévue autour de la Lune. Cela se fait en élevant ou en abaissant le PeA (altitude du périégée). *Le terme technique pour le périégée lunaire est périlune.*

Affichez le MFD Orbit et assurez-vous qu'il montre des mesures de distance au-dessus de la surface de la Lune, par opposition à des distances depuis le centre de la Lune. Cliquer sur **DST** permet de basculer entre les deux types de mesure différents (indiqués par PeA et PeR respectivement). Nous voulons la distance du PeA.

Dans l'image de droite, nous observons que notre PeA vaut -71.66 km. Cela signifie qu'en dépit de nos efforts pour planifier une PeA positive au cours de l'étape du MFD Transfer, nous sommes toujours sur une trajectoire de collision avec la surface de la Lune. (Tant pis !).



Nous devons augmenter notre PeA pour que notre orbite autour de la Lune soit suffisamment élevée ce qui nous évitera de nous écraser sur des montagnes lunaires. [Le point culminant de la Lune](#) est de 10 786 mètres, de sorte qu'il serait sage d'avoir un périégée d'au moins 13 à 15 kilomètres. (par défaut les surfaces des planètes et de la Lune dans Orbiter sont complètement à plat, pour que nous puissions partir avec un PeA de quelques mètres au-dessus de la surface (car il n'y a pas d'atmosphère pour nous ennuyer), mais c'est plus réaliste si l'on prend l'altitude réelle du sol en considération).

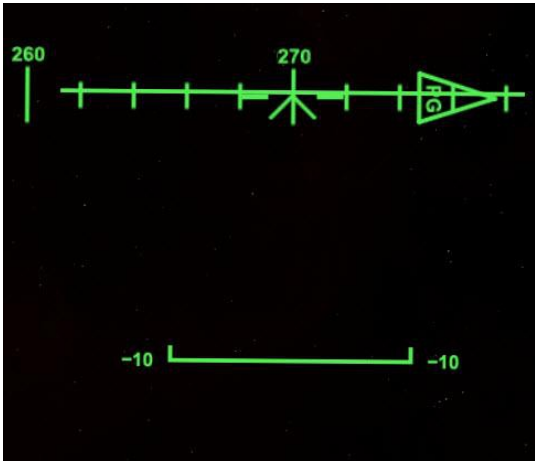
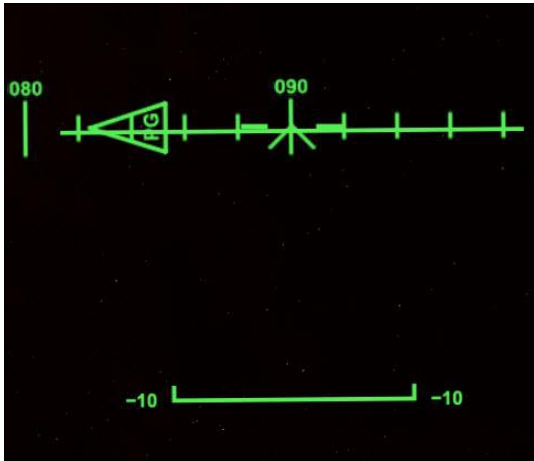


Il y a une autre chose à prendre en considération avant de décider comment nous allons gérer cette poussée. Rappelez-vous qu'après la poussée, nous aurons encore quelques heures sur notre lancée avant que nous atteignons le périlune. Pendant ce temps, notre PeA va baisser considérablement par rapport à ce qu'affiche le MFD Orbit en ce moment. Si nous ne tenons pas compte de cette différence (plus de détails dans un instant), nous allons nous planter dans la Lune.



Le type de poussée que nous devons faire à ce stade est une poussée vers l'"extérieur". Nous avons besoin de faire un changement de vitesse vers l'extérieur. Cela se fait par un mouvement de lacet de 90 degrés par rapport à la direction de déplacement. Commencez par appuyer sur le bouton ProGrade, puis attendez que le vaisseau se positionne.

Une fois que le vaisseau est positionné, appuyez sur KILL ROTATION puis utilisez les propulseurs de rotation pour faire tourner le vaisseau à droite. (Comme sur l'image de gauche).

Ensuite, utilisez les propulseurs de rotation pour tourner en lacet à 90 degrés de la ligne centrale. Si vous avez besoin d'augmenter votre PeA (comme je le fais dans ma situation), vous devez tourner le vaisseau vers la droite. Si vous avez besoin de réduire votre PeA, vous devez tourner le vaisseau vers la gauche.

| Lacet -90 degrés vers la gauche | Lacet +90 degrés vers la droite |
|--|---|
|  |  |
|  |  |

Une fois que le vaisseau est réglé en position, appuyez sur KILL ROTATION, puis appliquer un peu de poussée du moteur principal en appuyant sur CTRL +. Remarque : cette manœuvre ne nécessite pas beaucoup de puissance moteur. Ne pas utiliser la pleine puissance des moteurs principaux pendant cette poussée.

Comme il n'y a pas de pilote automatique pour garder votre vaisseau dans cette orientation, il peut se produire un peu de lacet ou de tangage au cours de la combustion. Pas de problème. Cette poussée est courte, et nous sommes si près de la Lune à ce moment que nous n'avons pas à être méticuleusement précis.

Si vous avez l'intention d'alunir à Brighton Beach, vous devrez viser un PeA approximativement de 60 kilomètres. Cela devrait tenir compte des 20 ou 25 km que vous allez probablement perdre quand vous vous approchez du périlune (vous laissant avec un PeA final d'environ 35 à 40 km). Si vous vous approchez de la Lune avec un PeA considéré comme trop bas, vous devrez faire une autre poussée vers l'extérieur après ce point en répétant les étapes précédentes.

Sur l'image de droite, vous pouvez voir que nous avons ramené notre PeA à environ 60 kilomètres. Tant que le PeA ne baisse pas de plus de 45 kilomètres au cours des dernières heures de roue libre vers la Lune, nous serons suffisamment loin au-dessus de la surface pour ne pas avoir à nous soucier d'un éventuel crash dans les montagnes.

Une fois que vous avez augmenté (ou réduit) votre PeA selon les besoins, il va immédiatement commencer à décroître. Ne vous inquiétez pas à ce sujet. Nous nous attendions à ça, c'est pourquoi nous avons paramétré une altitude suffisante au-delà de ce qui était nécessaire.

Maintenant, vous pouvez rejoindre le périlune.

Vous devez appuyer sur ProGrade pour que votre vaisseau soit tourné vers l'avant. (Ce sera plus attrayant si vous êtes face à la Lune). Une fois que votre vaisseau est stabilisé, appuyez sur KILL ROTATION. Si nécessaire, utiliser les propulseurs de rotation pour aligner l'assiette du vaisseau avec l'indicateur horizontal sur le HUD, puis appuyez sur KILL ROTATION à nouveau pour arrêter le moment angulaire.

À ce stade, vous avez terminé avec les poussées de correction à mi-parcours. Utilisez l'accélération du temps pour avancer jusqu'au périlune. Soyez particulièrement prudent avec la fonction d'accélération du temps à ce moment car vous êtes très proche de la Lune. Cela vous prendra environ 3 minutes et demie pour atteindre le périlune à 100x qui est une vitesse confortable et vous n'aurez pas à trop vous soucier de dépassement, mais si vous êtes pressé, vous pouvez utiliser 1.000x.

A 1.000x, il faudra moins de 30 secondes pour atteindre le périlune. Lorsque PeT (Time to perilune) passe en dessous de 2.000k, ralentir à 100x ou vous allez très certainement dépasser. Ce n'est pas une situation que vous pouvez vous permettre. Si vous manquez le périlune, vous allez vous retrouver dans une situation très désagréable qu'il sera difficile de corriger. (À tout le moins, vous allez consommer beaucoup de carburant. Au pire, vous allez frôler la Lune et finir en orbite autour du soleil).



15. Insertion en orbite lunaire



La prochaine chose que vous devez faire est l'insertion en orbite lunaire (LOI). Notre trajectoire actuelle nous a amené autour de la Lune dans un espace vide. (Ce serait un vrai mauvais moment à passer s'il y avait une défaillance du moteur principal).

Sur l'image de gauche, nous voyons qu'en arrivant au périlune, notre PeA est à 38.19k. Si nous avions réglé le PeA à 15k lors de la correction à mi-parcours, nous aurions maintenant un PeA d'environ -7k ce qui signifierait que nous nous écraserions

bientôt sur la Lune.

La LOI est très simple. Il suffit d'appuyer sur le bouton RetroGrade pour que le pilote automatique mette votre vaisseau dans le bon sens, puis vous activerez les moteurs principaux jusqu'à ce que vous ayez une orbite lunaire circulaire.

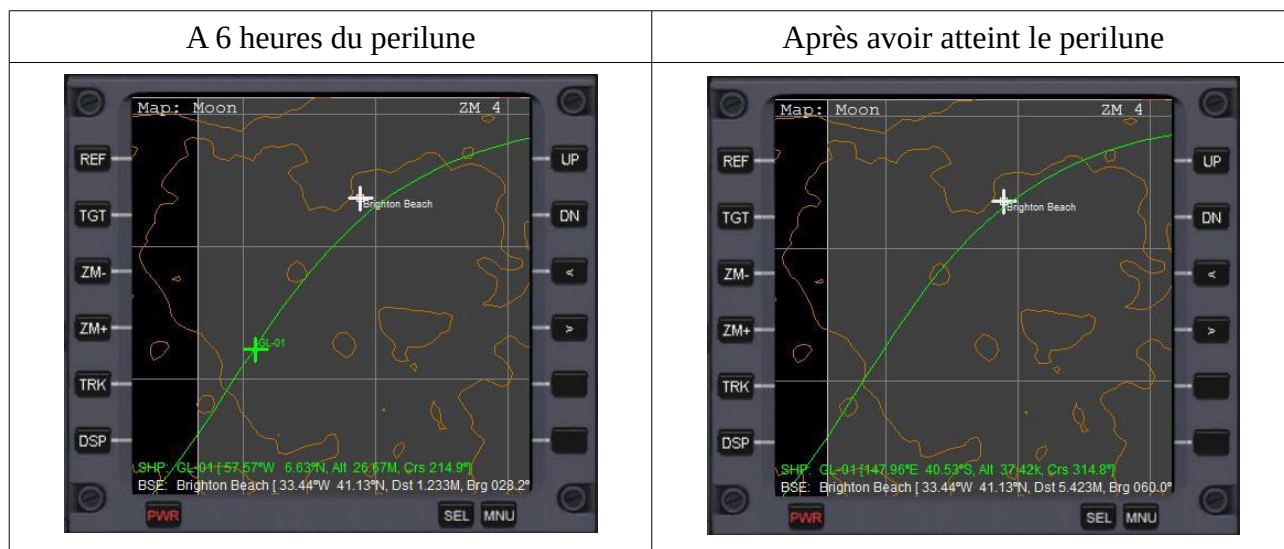
On suppose que vous comprenez la mécanique orbitale de base, donc je ne vais pas m'étendre sur cette étape. Cependant, comme dans la circularisation d'orbite que nous avons faite autour de la Terre, il est également conseillé d'effectuer la poussée de la LOI par série de poussées rétrogrades. Remarque : pour cette poussée, vous devez faire la première mise à feu (en utilisant la pleine puissance des moteurs principaux) lorsque le PeT est encore à environ 50 ou 60 secondes. Si vous attendez jusqu'à ce que le PeT soit au dessous de 10 ou 15 secondes, vous atteindrez le périlune avant que l'orbite soit complètement circularisée.

Gardez un œil sur la valeur du PeT. Quand il commence à s'élever au-dessus de 60 secondes, stoppez les moteurs principaux et attendez qu'il décroisse de nouveau. Comme l'orbite devient plus circulaire, vous pouvez attendre que le PeT arrive à 30 secondes (puis 20, puis 10)

Après avoir effectué une série de poussées, nous avons une belle orbite circulaire autour de la Lune et notre PeA est assez proche de ce qu'il était quand nous avons commencé.



Maintenant que la poussée de LOI est terminée, il est temps de préparer notre atterrissage à Brighton Beach. Si vous vous souvenez de la correction d'alignement vers la base à mi-parcours, nous avons volontairement laissé notre trajectoire orbitale dévier légèrement au sud de Brighton Beach. Voyons à quoi ressemble l'alignement maintenant.



Comme vous pouvez le voir dans l'image ci-dessus, si nous avons aligné notre trajectoire orbitale directement au milieu de Brighton Beach lors de la combustion d'alignement vers la base, notre trajectoire orbitale passerait maintenant au nord. En laissant intentionnellement celle-ci un peu plus au sud, la trajectoire orbitale est par conséquent plus près du centre de Brighton Beach. (Évidemment, il n'aurait pas fallu beaucoup de différence, mais ce type de stratégies avant-gardistes vous aidera à mieux comprendre Orbiter).

16. Prêt à débarquer à Brighton Beach

Maintenant que vous êtes en orbite autour de la Lune, et sur un chemin qui vous emmène près de Brighton Beach, il est temps de comprendre comment se désorbiter et se poser. Se désorbiter dans un environnement comme la Lune qui n'a pas d'atmosphère est en fait très simple. En bref, tout ce que vous avez à faire est de tourner votre vaisseau dans la position rétrograde, maintenir le niveau de votre vaisseau sur l'horizon, pousser les moteurs principaux à plein régime jusqu'à ce que votre vitesse horizontale soit nulle, et utiliser les moteurs de sustentation pour descendre gracieusement à la surface lunaire.

La difficulté relative de l'alunissage à Brighton Beach vient de la précision souhaitée au milieu de l'une des zones d'atterrissage. Lorsque vous êtes nouveau sur Orbiter, voler avec les propulseurs de translation dans un environnement sans friction peut être très difficile dans un premier temps. Cette dernière partie du voyage nécessitera probablement quelques essais pour y arriver, et il faudra peut-être beaucoup, beaucoup d'essais avant que cela devienne une seconde nature.

La commutation entre les propulseurs de rotation et de translation, en gardant un œil sur votre descente verticale, et en assurant l'alignement sur l'aire d'atterrissage semble impossible au premier abord. Mais nous allons essayer de vous présenter une méthode qui décompose la descente en étapes logiques qui, nous l'espérons, la rendra un peu plus facile pour vous.

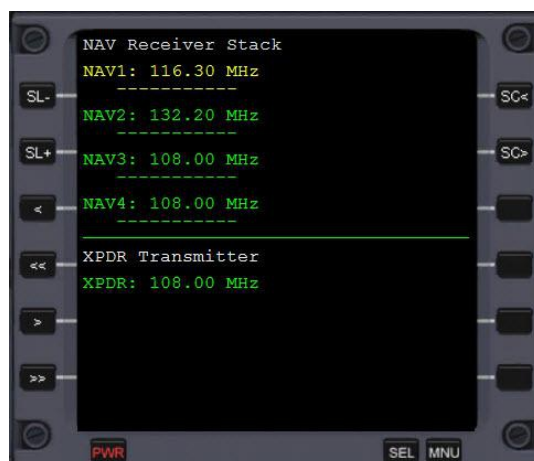
17. Réglage de l'équipement de navigation

Pour nous aider à préparer notre approche à Brighton Beach, nous devons paramétrer notre équipement de navigation aux fréquences adéquates. Ouvrez le MFD NAV/COM et réglez NAV1 à 116.30. C'est la fréquence de la balise radio longue portée de Brighton Beach.

Nous allons utiliser la balise radio pour amener notre vaisseau parfaitement aligné et planifier nos poussées moteur pour réduire notre vitesse.

Régler NAV2 à 132.20. C'est la fréquence de la piste 1.

Vous obtiendrez un signal de la balise radio lorsque vous serez dans un rayon de 500 kilomètres de Brighton Beach. Les aires d'atterrissage, d'autre part, ont des signaux à très courte portée. Vous n'obtiendrez pas de signal de la piste d'atterrissage avant d'être à quelques dizaines de kilomètres de Brighton Beach.



Orbiter possède un module pratique intégré pour vous aider à trouver des informations sur les vaisseau, les ports spatiaux et les planètes/lunes. Si vous appuyez sur CTRL + I (I pour information), une petite fenêtre d'information s'ouvrira. Vous pourrez sélectionner le port spatial dans le menu déroulant à gauche et Brighton Beach dans la liste déroulante.

Vous aurez alors une liste de toutes les fréquences pour les aires d'atterrissage, et la fréquence de la balise radio de Brighton Beach.

Remarque : dans l'image ci-dessus, cet utilitaire nous montre que toutes les aires d'atterrissage à Brighton Beach sont libres.

S'il y a un vaisseau déjà posé sur une aire particulière, vous devez choisir une aire d'atterrissage différente. Dans l'image de droite, vous pouvez voir que les aires d'atterrissage 4 et 5 sont occupées.

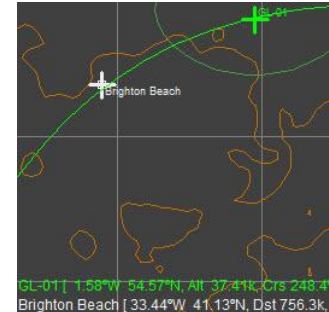


18. Le MFD VOR/VTOL

Une fois que vous avez réglé votre équipement de navigation pour les fréquences adaptées, ouvrez le MFD VOR/VTOL et assurez-vous qu'il est réglé sur NAV1. Le MFD n'affiche les informations que si vous êtes à portée de la balise radio.

Si vous regardez en bas du MFD Map, vous pouvez voir de combien vous êtes éloigné de Brighton Beach en observant la valeur Dst (Distance). (Si vous n'avez pas choisi Brighton Beach comme cible, vous ne verrez pas cette information).

Dans l'image du MFD Map à droite, nous voyons que nous sommes à 756.3 kilomètres de Brighton Beach. Au rythme où nous avançons (1664 m/s), nous capterons la balise radio dans un peu plus de 2 ½ minutes.



C'est le moment d'orienter le vaisseau pour la prochaine poussée d'alignement vers la base. Appuyez sur le bouton Level Horizon pour que le pilote automatique oriente le vaisseau dans le sens du déplacement. À ce stade, nous conservons toujours le HUD Orbit, il ne faut pas passer au HUD surface pour l'instant.

Ensuite, utilisez les propulseurs de rotation de lacet du vaisseau afin qu'il soit exactement à l'opposé de la direction du déplacement. Vous pouvez savoir que le vaisseau fait face par l'arrière en amenant le vecteur vitesse œil de bœuf sur la marque de 180 degrés.



Dans l'image de gauche, le MFD VOR/VTOL montre maintenant l'information dont nous avons besoin pour préparer notre atterrissage.

La première chose à noter est que nous devons planifier soigneusement nos actions si nous ne voulons pas dépasser Brighton Beach.

$$492.4/1.664 = 295.91$$

C'est le nombre de secondes qu'il faudra pour arriver à Brighton Beach à notre vitesse actuelle. (295 secondes équivaut, bien sûr, à environ 5 minutes).

Nous ne voulons pas commencer à réduire notre vitesse trop tôt cependant. Les moteurs principaux sont très puissants et peuvent annuler la vitesse de 1664 m/s en à peu près 90 secondes. (Cela dépend de la quantité de carburant que vous avez à bord. Plus vous avez de carburant, plus votre masse est importante et plus il faudra de temps pour réduire votre vitesse à zéro).

Si nous devons appliquer la pleine puissance aux moteurs principaux dès que la balise radio est en ligne et jusqu'à ce que notre vitesse soit tombée à un confortable 100 m/s, nous finirions environ à 400 ou 420 km de Brighton Beach.

À cette vitesse et compte tenu de la distance, il faudrait environ 65 à 70 minutes pour voler en sustentation jusqu'à l'aire d'atterrissage. Pendant ce temps, vous brûler beaucoup de carburant en utilisant les moteurs de survol pour vous maintenir au dessus de la surface. En fonction de votre consommation de carburant à ce moment-là, vous pouvez même l'épuiser avant que vous n'ayez atteint l'aire d'atterrissage. D'un autre côté, si nous attendons trop longtemps, nous allons passer au-dessus de Brighton Beach et nous devons faire demi-tour et revenir. (Cela peut être encore plus frustrant que d'arriver trop lentement).

Maîtriser cette partie du processus d'atterrissage nécessite un peu de pratique. Finalement, vous aurez une bonne idée des distances et des vitesses. Je suppose que si vous êtes bon en calcul mental, vous pouvez faire les calculs appropriés à la volée. Mais pour les autres d'entre nous, nous avons tendance à nous sentir un peu exclus.

Avant de réduire la totalité de notre vitesse, nous voulons nous maintenir parfaitement alignés



avec la balise radio. La façon de faire consiste à tourner notre vaisseau selon l'axe de lacet de telle sorte que le radiophare soit exactement de 90 degrés d'un côté ou de l'autre.

Si vous êtes sur une trajectoire orbitale qui passe au Sud de Brighton Beach, vous devez tourner votre vaisseau sur l'axe de lacet pour que la balise radio marque -90 degrés comme indiqué sur votre HUD.

Dans l'image ci-dessus, notez que la ligne verte pointant vers la balise dans le graphique VOR/VTOL est parfaitement alignée avec la ligne médiane sur la gauche. La flèche jaune représente le sens du mouvement. En orientant le vaisseau vers cette position, nous pouvons appliquer une poussée du moteur principal pour nous aligner avec la balise radio de Brighton Beach.

Remarque : si votre trajectoire orbitale passe au Nord de Brighton Beach, vous devez tourner votre vaisseau dans l'axe du lacet pour que la balise radio soit à +90 degrés à la place. En d'autres termes, la ligne verte dans le graphique VOR/VTOL doit être parfaitement aligné avec la ligne médiane de droite.

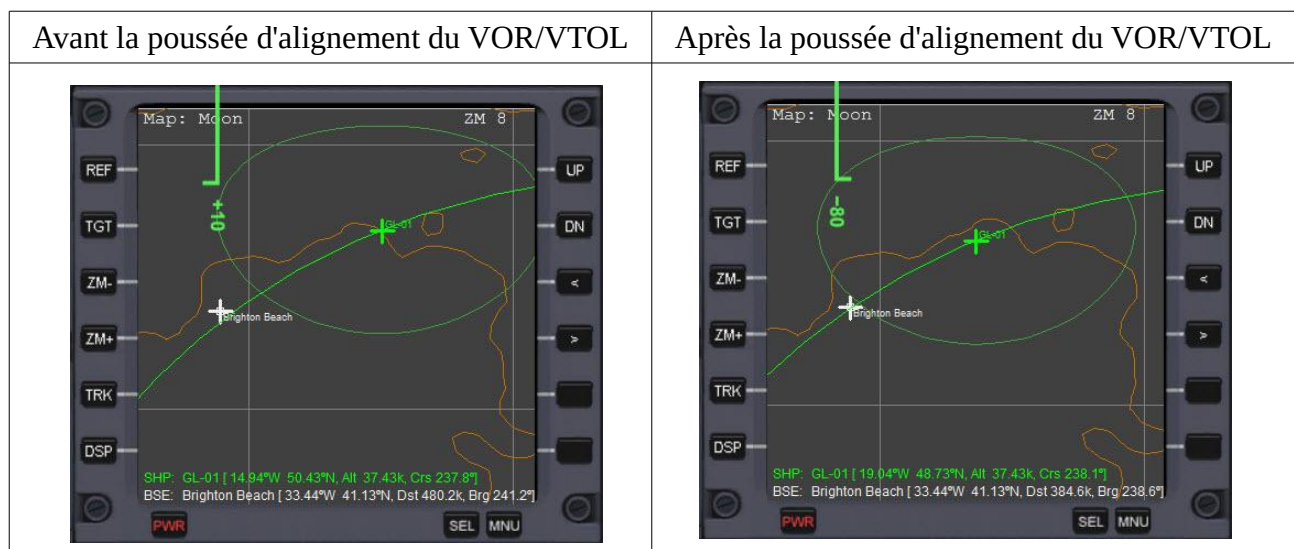
Une fois la poussée terminée, la flèche jaune (qui est l'indicateur qui représente notre sens de déplacement) est parfaitement alignée avec la ligne verte.

Cela signifie que nous sommes maintenant parfaitement alignés avec Brighton Beach. Notez que pendant les quelques secondes qu'il nous a fallu pour orienter le vaisseau et faire cette poussée, nous avons déjà parcouru 100 km!



Nous sommes maintenant à moins de 400 kilomètres de Brighton Beach. (Environ 4 minutes à notre vitesse actuelle). Il est important de travailler sur cet alignement de base attentivement, mais rapidement.

Pour illustrer davantage l'objet de cette poussée, regardez ce qui suit avant et après les images prises sur le MFD Map.



Maintenant que nous sommes alignés avec la balise radio, nous avons besoin d'un mouvement de lacet du vaisseau afin qu'il soit orienté vers l'arrière à nouveau. Amenez l'œil de bœuf représentant le vecteur vitesse au niveau du marqueur de 180 degrés.

Avec votre Vaisseau dans cette orientation, les moteurs principaux agiront comme un frein, ce qui vous permet de ralentir dans une série poussées afin que vous puissiez planifier votre descente vers Brighton Beach.



Dès que vous commencez à décélérer, vous aurez besoin pour commencer de regarder votre vitesse verticale. Notez l'indicateur VSPD (Vertical Speed) dans l'image de droite.

La gravité de la Lune est relativement faible, mais il n'y a pas d'atmosphère pour ralentir votre descente, il est donc important de ne pas laisser votre vitesse verticale hors de contrôle. Nous ne voulons pas arriver au dessus de Brighton Beach, à une altitude de 37.43 km, donc nous n'allons pas utiliser le pilote automatique de maintien d'altitude à cette étape. Au moment où nous serons près de l'aire d'atterrissage, nous devons être à une altitude de seulement 300 à 500 mètres.

Si vous êtes débutant sur Orbiter, la meilleure façon de réaliser votre arrivée à Brighton Beach est d'observer l'action et la réaction. Activer les moteurs principaux pendant quelques secondes pour réduire la vitesse, puis stoppez les moteurs et attendez quelques secondes pour observer avec quelle rapidité l'indicateur de distance se modifie. Répétez le processus jusqu'à ce que la distance baisse à peu près à 30 km et votre vitesse à environ 100 m/s.

A 30 kilomètres de Brighton Beach en se déplaçant à 100 m/s, il faudra 5 minutes pour atteindre la piste d'atterrissage, et vous volerez assez lentement pour utiliser les moteurs rétro et les propulseurs de translation si nécessaire.

Lorsque vous êtes à moins de 5 kilomètres de Brighton Beach, vous devez commencer à ralentir encore plus. 25 m/s à 5 kilomètres, c'est le bon objectif à atteindre.

Pendant tout ce temps, n'oubliez pas de surveiller votre vitesse verticale! Quand votre vaisseau commencera à descendre, vous aurez besoin d'utiliser les moteurs de sustentation afin de garder votre taux de synchronisation sous contrôle. Lorsque vous descendrez à environ 3 kilomètres, utilisez le pilote automatique de maintien d'altitude. Cela vous libérera de ne plus avoir à vous soucier de votre taux de descente de sorte que vous pourrez vous concentrer sur votre alignement avec l'aire d'atterrissage.

L'approche finale de la piste d'atterrissage se fait avec les propulseurs de translation lorsque vous volez à seulement 5 à 10 m/s. Et le positionnement final lorsque vous êtes au-dessus de l'aire d'atterrissage se fait avec 10% de puissance des propulseurs. (Autrement dit, vous maintenez la touche CTRL enfoncée tout en utilisant les propulseurs de translation). A ce stade, votre vitesse horizontale (HSPD) ne devrait pas être supérieure à 1 m/s. Lorsque vous êtes enfin aligné au dessus

du pad, utilisez les propulseurs de translation à 10% afin d'amener votre HSPD à 0.00.

La plupart des choses sur Orbiter peuvent être apprises en lisant, en regardant des images fixes et/ou des vidéos et/ou des enregistrements d'Orbiter. Cependant, à mon avis, l'atterrissage est une expérience pratique et ne peut être appris qu'en le faisant vous-même autant de fois que nécessaire pour obtenir la bonne sensation. (Cela est vrai pour l'atterrissage sur la Lune, ou pour l'atterrissage dans des conditions atmosphériques comme sur la Terre).

Cela dit, je vais expliquer la démarche que j'ai pratiquée en réalisant ce tutoriel juste pour expliquer un certain nombre de choses qui me sont venues à l'esprit pendant les atterrissages.



Sur ma lancée un peu plus loin vers la base, j'ai constaté que la balise radio était légèrement hors de l'alignement par rapport à mon sens de déplacement. En regardant le MFD Map, j'ai pu voir que ma trajectoire orbitale était encore un peu plus au Sud, donc j'ai tourné le vaisseau à 90 degrés (comme avant), et appliqué un peu de poussée du moteur principal pour redresser l'alignement.

La clé d'une bonne approche est de garder votre vaisseau parfaitement aligné avec la balise radio.



Quand je suis arrivé à une distance de 250 kilomètres, j'ai utilisé toute la puissance des moteurs principaux pour décélérer jusqu'à environ 1000 m/s.

J'ai réalisé que j'avais besoin de plus de temps pour permettre à mon vaisseau de perdre de l'altitude, de sorte que j'ai engagé à nouveau les moteurs principaux pour décélérer jusqu'à 600 m/s.



Poursuivre le ralentissement progressif pendant le rapprochement de la base.

Notez que mon altitude a diminué de 1/3 à cette étape. J'applique maintenant une poussée de maintien stationnaire afin de garder le contrôle sur ma descente.



Remarquez que nous devons passer à la fréquence radio de la piste d'atterrissage. Nous ne voulons pas atterrir sur le dessus de la balise radio, il est donc important de passer à la fréquence du pad lorsque nous sommes dans les derniers kilomètres de Brighton Beach.

Notez que notre altitude est descendue à 2 km et que notre vitesse verticale est bien sous contrôle.

Il est temps d'ouvrir les portes des moteurs rétro et de faire tourner le vaisseau à 180 degrés.

Le commutateur de la porte de rétro moteur se trouve en bas de tableau de bord 2D. Vous devez utiliser la flèche vers le bas pour faire défiler le tableau de bord vers le bas et faire apparaître cette rangée de commutateurs.



Nous tournons le vaisseau de 180 degrés aussi l'aire d'atterrissage est maintenant directement en face de nous.

Après avoir chuté en dessous de 1000 mètres d'altitude, nous engageons le pilote automatique de maintien stationnaire d'altitude, donc nous n'aurons pas à nous soucier de notre altitude quand nous essaierons de nous aligner sur la piste d'atterrissage.



Si vous êtes nouveau sur Orbiter, une agréable et lente approche de l'aire d'atterrissage est la clé de la réussite d'un atterrissage. Ne jamais utiliser les moteurs principaux quand vous êtes si près de l'aire d'atterrissage. Vous devez garder votre vitesse horizontale lente et harmonieuse, de sorte que peu importe ce qui arrivera, vous ne finirez pas à la dérive loin de l'aire d'atterrissage à des centaines de mètres par seconde.



Remarquez que nous sommes un peu en dehors de l'alignement avec la piste d'atterrissage. Lorsque vous êtes si près de l'aire d'atterrissage, et que vous volez aussi lentement, vous pouvez corriger ces erreurs d'alignement en utilisant les propulseurs de translation gauche/droite (Appuyez sur 1 ou 3 du pavé numérique au besoin).

Vous n'avez pas besoin de faire tourner le vaisseau à 90 degrés, comme nous l'avons fait avant. A cette très faible vitesse, les propulseurs de translation sont plus que suffisants pour régler votre

alignement.

Une fois aligné, vous pouvez utiliser les propulseurs de rotation pour orienter directement le vaisseau vers la piste d'atterrissage de nouveau. (En d'autres termes, assurez-vous que la ligne verte est parfaitement centrée dans le milieu).



Dans l'image de gauche, vous pouvez voir que nous sommes juste au-dessus de la piste d'atterrissage et que le train est sorti.

Nous sommes prêt pour l'atterrissage.



pad.

Posé et arrêt moteur.



Notez que notre vitesse horizontale (HSPD) est effectivement nulle, notre distance (DIST) du centre du pad est inférieure à 1 mètre, et notre vitesse verticale est d'environ $\frac{1}{4}$ de mètre par seconde.

Notez que la piste est assez grande. Si vous êtes nouveau sur Orbiter et que votre distance est inférieure à 30 mètres lorsque vous atterrissez, vous pourrez considérer votre atterrissage comme un succès retentissant. Il n'est donc pas utile de peaufiner les derniers mètres. Vous ne ferez que brûler du carburant en vol stationnaire au dessus du



Une fois que vous avez atterri sur la piste, désactivez le pilote automatique "Level Horizon" et assurez-vous que les moteurs de sustentation sont complètement éteints.

Si c'était votre premier atterrissage réussi sur la Lune, laissez-moi être le premier à vous féliciter pour ce travail bien fait!

19. Checklist de la Terre à la Lune

- 1) Planifiez votre heure d'arrivée à Brighton Beach en utilisant le MFD Map. Réglez la référence moon et observez si Brighton Beach est dans la zone sombre ou éclairée par le soleil. Si vous souhaitez arriver à une heure spécifique, utiliser l'accélération de temps autant que nécessaire.
- 2) Utilisez le MFD Align plane pour déterminer le meilleur moment pour décoller de la Terre. Définissez la Lune comme objectif et décollez quand RInc est à sa valeur la plus basse.
- 3) En montant en orbite, garder un oeil sur la valeur RInc dans le MFD Align Plane. Essayez de balancer de gauche à droite pour garder RInc à la valeur la plus faible possible.
- 4) Après avoir atteint la vitesse orbitale, aligner votre plan avec celui de la Lune lors du prochain passage au point nodal.
 - a) Utilisez le MFD Align plane pour réduire RInc autant que possible. Il sera temps d'allumer les moteurs lorsque Tn atteindra la moitié de TtHD/TtHA.
 - b) AN = AN (nœud ascendant = Anti-Normal). Utilisez Orbit-Normal (+) lors de la poussée au nœud descendant (DN). Utilisez Orbit-Normale (-) lors de la poussée au nœud ascendant.
 - c) Idéalement, la RInc devrait être 0.00, mais une RInc jusqu'à 0.05 est acceptable.
- 5) Lorsque vous atteignez l'apogée après le lancement, circulariser l'orbite en faisant une série de poussées en ProGrade.
 - a) Quand ApT (Time to Apogee) est à environ 15 secondes, utiliser la pleine puissance des moteurs principaux pour réaliser la plupart des circularisations d'orbite.
 - b) Lorsque ApT commence à remonter, arrêtez la poussée et attendez qu'ApT redescende à 15 s à nouveau.
 - c) Répétez le processus en utilisant moins de puissance moteur à chaque poussée.
 - d) Utilisez les propulseurs de translation pour affiner les derniers kilomètres.
- 6) Utilisez le MFD Transfer pour planifier la poussée de TLi (Trans Lunar Injection).
 - a) Appuyez sur **TGT** et choisissez la Lune comme cible.
 - b) Appuyez sur **HTO** afin de pouvoir planifier un scénario «What if?» (Hypothétique).
 - c) Appuyez sur **DV+** pour ajouter du Delta-v au scénario hypothétique.
 - i. Il faudra environ 3.130k de Delta-v avant que l'ordinateur de bord affiche "No intersection."
 - ii. Faites 15 clics supplémentaires sur **DV+** après l'affichage de "No intersection."
 - d) Utilisez **EJ+** / **EJ-** pour aligner la ligne radiale grise continue au-dessus de la ligne radiale orange pointillée.
 - e) Appuyez sur **NUM** afin de voir la trajectoire numérique. S'il semble que votre plan hypothétique est un peu court, ajouter un autre clic ou deux sur DV + et ajuster EJ au besoin. Appuyez sur **UPD** pour mettre à jour la trajectoire numérique et tester les modifications apportées.
- 7) La valeur DTe sur le MFD Transfer vous indique le nombre de secondes qui restent avant la poussée.
 - a) Utilisez prudemment l'accélération du temps pour avancer jusqu'au moment d'exécuter la poussée de TLi.
 - b) Lorsque DTe descend en dessous de 100, assurez-vous que l'accélération du temps est à 1x ainsi vous aurez le temps d'orienter votre vaisseau en ProGrade avant de commencer la poussée.
 - c) Lorsque DTe atteint 30 secondes, lancez les moteurs principaux à pleine puissance.
 - d) Lorsque DTe atteint 0, appuyez sur KILL ROTATION pour couper le pilote automatique ProGrade.
 - e) Lorsque Dv descend en dessous de 500, commencer à réduire les gaz pour ne pas dépasser. Continuer à soutenir l'accélérateur jusqu'à ce que Dv commence à baisser.
 - f) Au moment où Dv est au plus bas, stoppez les moteurs principaux entièrement et finissez la poussée

avec les propulseurs de translation.

8) Lorsque la poussée TLI est terminée, appuyez sur **HTO** pour supprimer les données hypothétiques.

9) Appuyez sur KILL ROTATION et utilisez l'accélération du temps pour avancer vers la correction à mi-parcours.

a) Ouvrir le MFD Orbit des deux côtés. Choisissez la Lune comme référence d'un côté et la Terre comme référence de l'autre côté.

b) Lors de l'éloignement de la Terre, surveillez l'indicateur G en bas du MFD Orbit pour vous aider à déterminer quand vous approcherez de la mi-parcours.

c) A 1000x, il faudra environ 4 minutes pour arriver à la correction à mi-parcours. À 10000x, il faudra environ 30 secondes. Si vous utilisez 10000x, assurez-vous de ralentir quand l'indicateur de la gravitation de la Terre tombe en dessous de 0,25 sinon vous dépasserez le point de correction à mi-parcours.

d) Lorsque l'indicateur G en bas du MFD Orbit de la Lune devient vert, ralentissez immédiatement jusqu'à 1x car vous êtes maintenant dans le SOI de la Lune (sphère d'influence). Il est temps de faire la correction à mi-parcours.

10) Pour réaliser la correction d'alignement de la base à mi-parcours, ouvrez le MFD Align Plane et assurez-vous que Brighton Beach est sélectionné comme cible.

a) Assurez-vous que le MFD Orbit de la Lune affiche la page EQU. Si l'inclinaison (Inc) est proche de 180 (ce qui sera la plupart des cas), alors vous approcherez de la Lune vers une orbite d'Est en Ouest. Si l'inclinaison est proche de 0, alors votre trajectoire fera un 8 et vous intégrerez une orbite d'Ouest en Est.

b) En supposant que la situation soit normale (une inclinaison proche de 180), vous devrez orienter votre vaisseau en utilisant le pilote automatique Orbit-Normale (+) lors de l'alignement avec la base. (Si vous intégrez une orbite d'Ouest en Est, utilisez à la place le pilote automatique Orbit-Normale (-)).

c) Lors de l'alignement avec la base, ne pas utiliser la pleine puissance des moteurs principaux. Laissez la trajectoire orbitale légèrement au sud de la cible. Lorsque vous approcherez de la Lune, la trajectoire orbitale sera probablement déviée un peu plus au nord, aussi laissez-la un peu au sud, ce sera plus précis lorsque vous atteindrez le périlune.

11) Pour la correction à mi-parcours vers le périlune, gardez à l'esprit que vous voulez finir en orbite autour de la Lune avec un PeA d'au moins 13 à 15 kilomètres.

a) La poussée que vous ferez à ce point devra prendre en compte les 20-25 kilomètres que vous allez probablement perdre dans les dernières heures de voyage vers la Lune.

b) Appuyez sur ProGrade pour orienter votre vaisseau dans la direction du mouvement vers l'avant.

c) Une fois que le vaisseau est correctement orienté, appuyez sur KILL ROTATION et utilisez les propulseurs de rotation pour positionner votre vaisseau droit et de niveau.

d) Si vous avez besoin d'augmenter votre PeA, tournez le lacet de votre vaisseau vers la droite. Si vous avez besoin de réduire votre PeA, tournez-le vers la gauche.

e) Cette poussée nécessite très peu de puissance du moteur principal; ne pas utiliser la pleine puissance des moteurs principaux.

f) Un PeA raisonnable est de 60 kilomètres.

g) Après la poussée, appuyez sur ProGrade de façon à faire face à la Lune.

12) Appuyez sur KILL ROTATION pour arrêter le pilote automatique et nous laisser en roue libre vers le péri Lune.

a) Cela ne vous prendra qu'environ 3 minutes et demie pour atteindre le périlune à 100x.

b) A 1000x, il faudra moins de 30 secondes pour atteindre le périlune. Lorsque PeT passe au dessous de 2,000k, ralentir à 100x sinon vous allez très certainement dépasser.

13) Lorsque le PeT descend à environ 100, remettez l'accélération du temps à 1x si vous ne l'avez pas déjà fait. Vous ne pouvez pas vous permettre de dépasser le moment de la poussée de la LOI (Lunar Orbit Insertion).

- a) Appuyez sur RetroGrade pour orienter le vaisseau pour la LOI.
 - b) Faites une série de poussées rétrogrades pour circulariser l'orbite.
- 14) Ouvrez le MFD NAV/COM et réglez NAV1 à 116.30; réglez NAV2 à 132.20. Si vous souhaitez obtenir des informations supplémentaires sur la base, appuyez sur CTRL + I.
- 15) Ouvrez le MFD VOR/VTOL et réglez-le sur NAV1.
- a) Vous n'obtiendrez pas de signal de Brighton Beach tant que vous n'êtes pas à moins de 500 kilomètres de la base. Jusque-là, si vous regardez en bas de la MFD Map, vous pouvez voir à quelle distance vous êtes de la base en surveillant la valeur du paramètre Dst (Distance).
- 16) Lorsque vous captez le signal de la balise radio, appuyez sur le bouton du pilote automatique Level Horizon pour que le pilote automatique oriente le vaisseau dans le sens du déplacement et ensuite utilisez les propulseurs de rotation de lacet du vaisseau de manière à l'orienter exactement à l'opposé de la direction de mouvement. Vous saurez que le vaisseau fait face à l'arrière si le vecteur vitesse œil de bœuf est sur la marque de 180 degrés.
- 17) Si le MFD VOR/VTOL est affiché, utilisez le pour aligner parfaitement votre vaisseau avec la base.
- a) Si vous êtes sur une trajectoire orbitale qui passe au sud de Brighton Beach, vous devez tourner votre vaisseau sur l'axe de lacet pour que la balise radio marque -90 degrés comme indiqué sur votre HUD (La ligne verte doit viser à gauche).
 - b) Si vous êtes sur une trajectoire orbitale qui passe au nord de Brighton Beach, vous devez tourner votre vaisseau sur l'axe de lacet pour que la balise radio marque +90 degrés comme indiqué sur votre HUD (La ligne verte doit viser à droite).
 - c) Une fois que le vaisseau est orienté, allumez les moteurs principaux jusqu'à ce que les lignes vertes et jaunes soient parfaitement alignés.
- 18) Une fois que vous êtes parfaitement aligné avec la balise radio, utilisez les moteurs principaux de ralentir à l'approche de Brighton Beach.
- a) Si vous ralentissez trop et trop tôt, il faudra très longtemps pour atteindre Brighton Beach et vous pourrez manquer de carburant avant d'y arriver.
 - b) Si vous attendez trop longtemps pour commencer vos poussées de décélération, vous dépasserez Brighton Beach et vous devrez faire demi-tour et revenir.
 - c) N'oubliez pas de prendre votre altitude en compte que vous planifiez vos poussées de décélération. Il est préférable d'arriver à Brighton Beach, à une altitude d'environ 300 à 500 mètres.
- 19) Mettez votre MFD VOR/VTOL sur NAV2 lorsque vous êtes à portée de l'aire d'atterrissage. (Si vous ne le faites pas, vous finirez par atterrir sur la tour à la place de l'aire d'atterrissage).
- 20) Ouvrez les portes du moteur rétro en appuyant sur la flèche bas pour afficher la rangée inférieure de commutateurs. Lorsque vous êtes à moins de 100 m/s, tournez votre vaisseau afin qu'il soit orienté vers l'aire d'atterrissage et d'utiliser les moteurs rétro pour le freinage.
- 21) Lorsque votre altitude tombe à environ 500 mètres, utilisez le pilote automatique Hover Hold Alt pour maintenir votre altitude verrouillé de sorte que vous n'aurez pas à vous soucier de votre vitesse verticale en essayant de vous aligner avec la piste d'atterrissage.
- 22) Lorsque le MFD VOR/VTOL affiche la distance de 30 mètres, vous êtes dans les limites de l'aire d'atterrissage.
- a) A ce stade, utilisez les propulseurs de translation (ou la translation de 10%).
 - b) Maintenez une très faible vitesse horizontale (HSPD) lorsque vous êtes à proximité de l'aire d'atterrissage.
 - c) Lorsque vous êtes au plus près du centre de l'aire d'atterrissage que vous voulez atteindre, utilisez les propulseurs de translation à 10 % jusqu'à amener votre HSPD à 0,00.
- 23) Couper le pilote automatique Hover Hold Alt, appuyez sur G pour sortir le train d'atterrissage, et cliquez sur 0 ou . sur le pavé numérique pour descendre le DeltaGlider doucement sur l'aire d'atterrissage.
- 24) Après l'atterrissage sur le pad, appuyez sur . à plusieurs reprises pour s'assurer que les moteurs de sustentation sont complètement éteints et coupez le pilote automatique Level Horizon.