

Un retour au bercail

Par Nicolas Appriou

Avril 2010



Index

1.Introduction.....	3
2.Retour depuis ISS.....	4
1.Détermination de l'orbite de retour.....	4
2.Désorbitation et configuration des outils.....	5
3.Aérobrake, votre nouveau maître.....	7
4.Plongée dans la fournaise.....	9
3.Atterrir.....	11
4.Pour aller plus loin.....	13
1.Le freinage atmosphérique.....	14
2.Ejection de l'orbite lunaire.....	15
3.Correction de trajectoire.....	16
4.Le freinage.....	17
5.Conclusion.....	19
6.Sources.....	20

1. Introduction

Le premier défis d'un orbinaute consiste souvent en un docking réussi à la station spatiale internationale. C'est d'ailleurs l'occasion d'aller payer une tournée au Papybar pour décompresser et se complaire des félicitation de l'assistance tout entière. Mais une fois la fête terminée il est grand temps de rentrer chez soi, chose bien plus compliquée qu'un amarrage.

De nombreux dangers guettent l'orbinaute lors de sa rentrée atmosphérique. S'il n'est pas carbonisé par les flammes de rentrée, il arrive très souvent qu'il se retrouve à des milliers de kilomètres du lieu visé.

J'utiliserais l'XR2 pour ce tuto. Il est peut-être moins connu que le DGIV, mais son pilote automatique de rentrée est beaucoup plus précis et les données de son ordinateur de bord sont, à mon sens, mieux présentées. De plus, il dispose d'aide à l'atterrissage plus pratiques que le DGIV. Un autre interet de l'XR2 : il se comporte à peu près de la même façon qu'un DGIV. Une fois que vous maîtriserez la rentré atmosphérique avec l'XR2, un retour avec le DGIV sera très similaire.

Les retours sur terre se feront en visant Cap Canaveral, qui dispose de plusieurs pistes d'atterrissages. Ca nous permettra une plus grande liberté de manoeuvre lors de l'approche finale. N'hésitez surtout pas à embellir cet endroit avec les nombreux addon dispo sur OrbitHangar.

Pour finir, il nous faudra quelques instruments de bord. Basesync servira à la désorbitation, et aérobrake sera notre guide lors de la plongée dans l'atmosphère.

Je vous demande d'installer les addons suivant pour suivre ce tutos. Si vous préférez jouer sur le DGIV ou démarrer d'ISS, vous êtes libre de modifier les scénarii en conséquence.

XR2	http://www.dougsorbiterpage.com
BaseSyncMFD	http://koti.mbnet.fi/jarmonik/Orbiter.html
Aerobrake	http://sites.google.com/site/gregoriopiccoli/aerobrakemfd

Je vous laissez découvrir tranquillement le XR2 en vous laissant aller vous docker à ISS. Le scénario 01-En route vers ISS vous place dans une bonne configuration de départ.

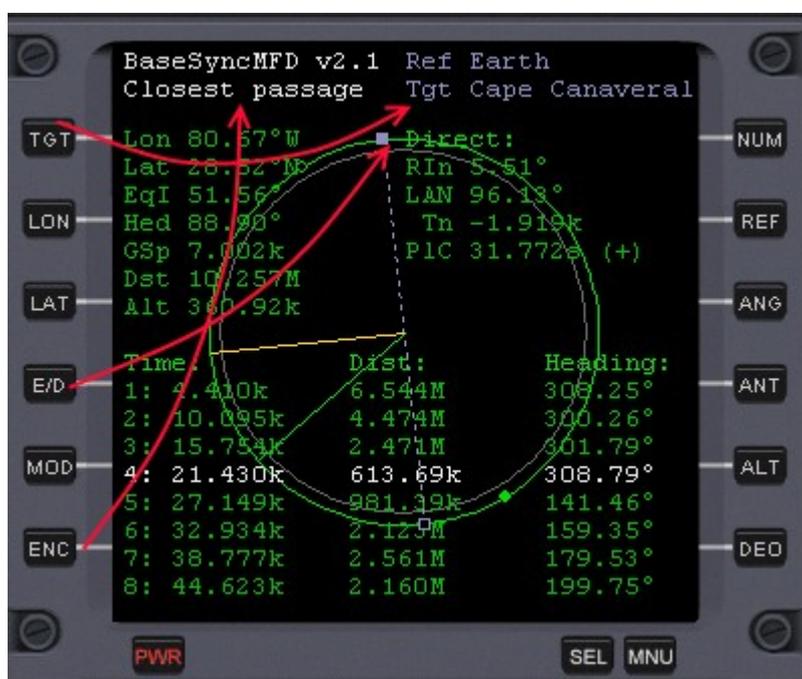
Vous allez voir, ce n'est pas du tout évident d'utiliser le moteur SCRAM! Bonne chance.

2. Retour depuis ISS

1. Détermination de l'orbite de retour

Bien, on va passer aux choses sérieuses. Chargez le scénario 02 – Docké à ISS. Vous et votre équipage êtes à présent sur ISS. Votre séjour vient de se terminer, il faut à présent penser à rentrer sur terre. L'XR2 est en veille. Vous pouvez remarquer que ses réservoirs SCRAM sont vides. Leur contenu a été transféré aux réservoirs de la station spatiale. Les radiateurs sont repliés, votre circuit réfrigérant est branché sur celui d'ISS. Vous n'utilisez plus non plus vos réservoirs d'O₂ : le sas de sortie est ouvert et profite des systèmes de survie de la station.

Ce n'est pas encore le moment pour tout l'équipage de retourner au vaisseau, mais il va falloir commencer à prévoir le moment de retour sur terre. Vous, le commandant du vaisseau, allez devoir retourner à votre siège et démarrer l'outil BaseSyncMFD sur le MFD de gauche.



Pressez le bouton TGT pour sélectionner la cible « Cape Canaveral ». Pressez E/D pour avoir le semi-axis en mode direct. Cette modification permet d'utiliser un minimum de carburant lors des changements d'inclinaison de l'orbite pour se positionner plus finement par rapport à la cible. Pour finir, le bouton ENC vous placera en mode Closest Passage. Un petit coup d'œil au tuto de Papyref « Endeavour, Aller retour Terre-ISS avec la navette » vous en dira un peu plus. Un coup d'œil plus poussé dans le manuel du MFD est vivement recommandé pour un maximum de compréhension.

En parlant de précision... Ce qu'on veut, c'est arriver sur notre cible. BaseSync permet de prédire la

distance minimum entre notre orbite projetée sur la terre et Cape Canaveral. On peut voir sur l'écran que dans 4 orbites, nous ne passerons qu'à 613,69 km de notre lieu d'atterrissage. L'orbite où nous sommes pour l'instant nous amène à quelques 6 455 km, on conviendra que ça fait beaucoup. N'hésitez pas à démarrer MapMFD sur l'écran de droite pour bien visualiser ce qui se passe.

On est encore un peu loin de notre cible. En général, je préfère choisir une orbite que me fait passer à 300 km avec un vaisseau de type XR ou DG et 100 km avec un vaisseau plus réaliste (genre navette, soyouz, CTV...).

Accélérez le temps jusqu'à avoir une bonne fenêtre de rentrée. N'hésitez pas à attendre longtemps. A cette altitude, vous effectuez une bonne quinzaine de révolution par 24 heures (sur OrbitMFD, l'information T vous donne votre durée de révolution en secondes).

Un peu plus tard, j'en tiens une bonne! Je passe à 75km de ma cible. C'est parfait. Quelques

Un retour au bercail

orbites avant, 3 ou 4 tout au plus, on va se désamarrer de la station. Deux ou trois choses importantes avant. Comme je suis votre instructeur, vous allez faire comme je vous dis. Et pour l'instant, je vous dis qu'une bonne rentrée se fait avec un vaisseau léger. On va donc transférer du une partie de notre carburant à la station ISS. On peut utiliser le MFD FuelManagement pour le faire, mais comme les réservoirs d'ISS sont presque au maximum, il va falloir purger dans le vide. Laissez à peu près 25% de carburant. A présent, il faut fermer les portes étanches du SAS de sortie (Outer Door et Inner Door), déployer les radiateurs et couper le système de couplage du système de refroidissement (External Cooling) à la station . Pensez aussi à allumer vos feux de navigation. Eloignez vous un peu de la station, et on va pouvoir travailler tranquillement.

2. Désorbitation et configuration des outils

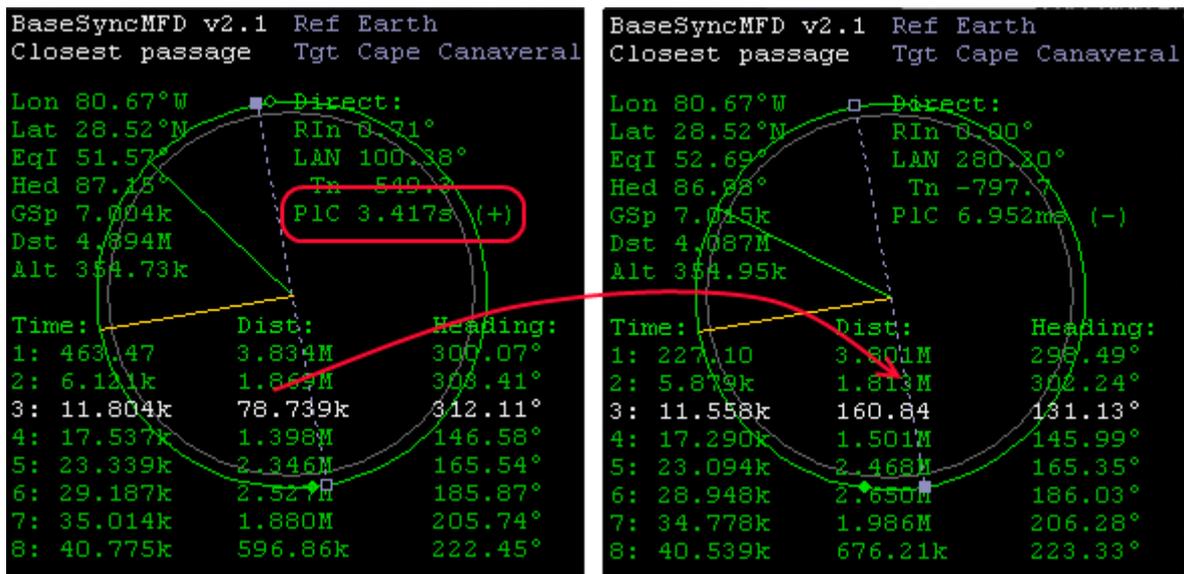
Il nous reste un peu de temps devant nous. On va pouvoir préparer tranquillement le retour. Une fois qu'on aura commencé, tout s'enchainera très vite, il vaut donc mieux que tout soit prêt à l'avance. On va d'abord configurer les outils qui nous seront utiles en toute fin de rentrée.

On commence par préparer les radio NAV pour notre approche finale ainsi que notre atterrissage. Ouvrez votre bloc de donnée sur Cape Canaveral : F4 puis Object Info, Spaceport et enfin Cape Canaveral. Deux systèmes nous seront utiles : le VOR, un instrument qui permet de retrouver la direction de la base dans un rayon de 500 km et l'ILS qui nous aidera à nous aligner à la piste d'atterrissage. Ouvrez le MFD COM/NAV et rentrez dans NAV1 la fréquence du VOR, dans NAV2 la fréquence de l'ILS de la piste d'atterrissage (Runway) 33/15. Ce dernier code signifie que votre piste est orientée vers les directions 330° et 150°. On choisit cette piste parce que c'est la plus longue. L'autre est tout aussi utilisable, mais il faut être plus précis.

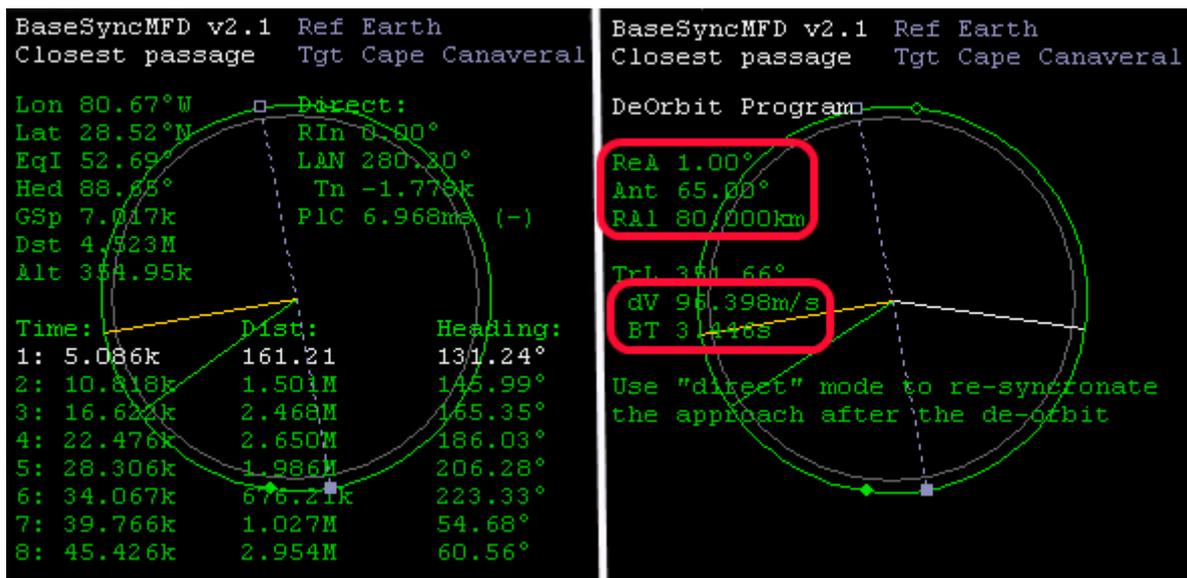
Un peu avant l'approche finale, il faudra que nous ayons une vitesse suffisamment basse pour ne pas dépasser Cap Canaveral, mais aussi suffisamment haute pour garder une bonne marge de manoeuvre. On va utiliser AeroBrake sur les MFD de gauche et de droite lors du freinage atmosphérique. Ouvrez l'outil, et sélectionnez Cape Canaveral comme cible (TGT) sur chacun d'eux.

Et enfin, il va falloir nous désorbiter. On ouvre à nouveau BaseSyncMFD sur l'écran de gauche. On va commencer par s'aligner encore plus finement avec la base cible. On utilise l'information PIC qui nous donne le temps de combustion pour modifier l'inclinaison de notre orbite pour la faire passer juste au dessus de la base. Entre parenthèse, on a un signe + ou - qui se réfère à l'orientation Normal + ou Normal -. Dans mon cas, j'allume mon moteur principale pendant 3,417s en Normal +. Et voilà le travail!

Un retour au bercail



Je suis passé de 78,739 km à 160,84 m. Quand on arrive à notre dernière orbite, on passe en mode DEO.

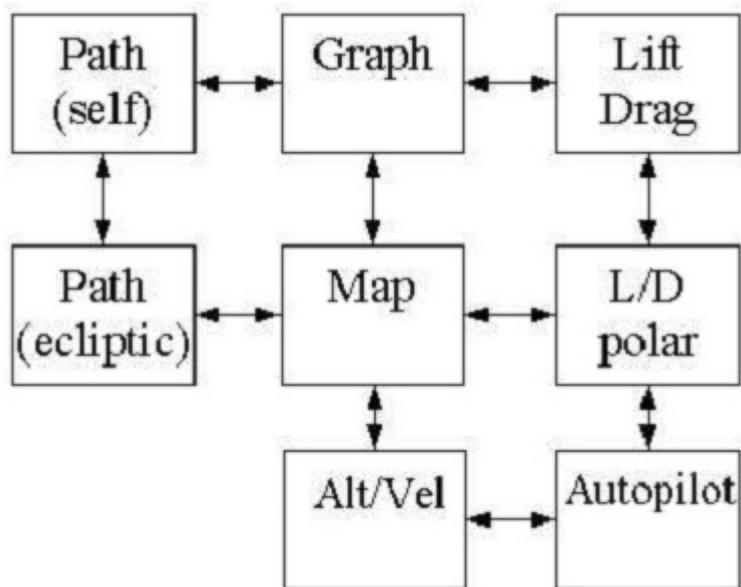


On va devoir choisir les valeur d'angle de rentrée ANG, d'anticipation ANT et l'altitude ALT de l'atmosphère. Une fois encore, je vous renvoie au tuto de Papyref « Endeavour, Aller retour Terre-ISS avec la navette » qui vous expliquera tout ça avec des schémas. Quand vous (le trait vert) arrivez au point de désorbitation (le trait blanc), placez vous en prograde et allumez vos moteur durant 3,446 s pour diminuer votre vitesse de 96,398 m/s. Un peu trop compliqué? C'est vrai que ça demande de la précision. Dans les fait, occupez vous de faire baisser la valeur de BT le plus bas possible. Utilisez les RCS de translation pour paufiner. Ah, j'allais oublier. Ne vous préoccupez pas du message en rouge qui s'affiche vers la fin de votre freinage.

Et voilà! Vous plongez dans l'atmosphère, droit sur la cible. Il est temps d'utiliser Aérobrake et de se préparer un nouveau café. A ce propos, n'en abusez pas trop : Balzac en buvait beaucoup, on dit même qu'il en aurait été mort. (Calembour!).

3. Aérobrake, votre nouveau maître

On va à présent devoir ouvrir Aérobrake MFD. Je l'ouvre en général vers 100 km d'altitude, après avoir rétracter le radiateur. C'est très important de le rentrer au dernier moment : les système de l'XR2 adorent chauffer lorsqu'ils fonctionnent, je me suis plusieurs fois retrouvé à atterrir en urgence avec une alerte de surchauffe de tous mes systèmes dans les oreilles. Pour l'instant, prenez un peu de temps pour lire la suite. Ne soyez pas si pressé de percuter l'atmosphère.

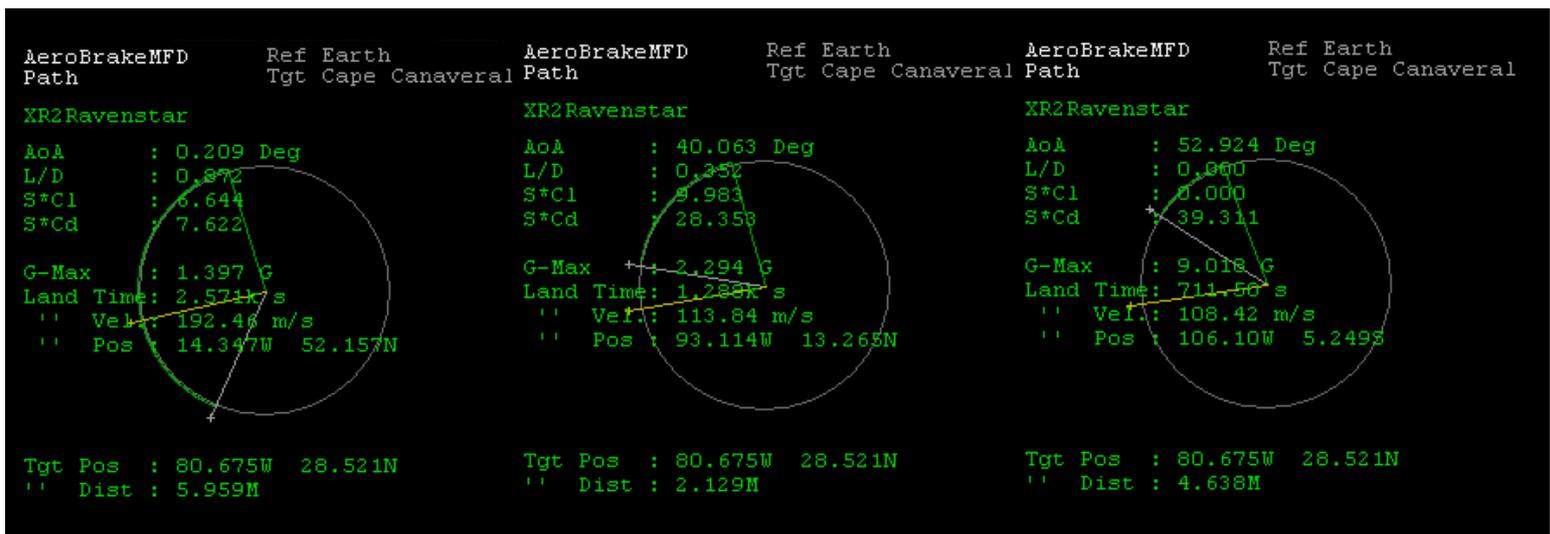


J'imagine que vous avez jeté un oeil au manuel d'Aérobrake, non? Il en existe même une version française sur le site OrbiterFrancophone. Vous avez donc vu que ce MFD est composé d'une foultitude d'écrans. J'attire votre attention sur ce schéma du manuel qui vous aide un peu à savoir où vous êtes. On utilise les boutons PG et PRJ pour naviguer à travers les page. On va principalement utiliser les pages Path pour déterminer un angle d'attaque AoA correct, Graph pour surveiller une grande partie de paramètres de notre rentrée et Map pour s'orienter. Petit tour du propriétaire, suivez-moi bien.

Chacun de ces écran peut afficher des données communes aux autres écrans. On peut changer l'affichage de ces données en pressant la touche MOD. En général, j'affiche ces données en même temps que les écran Path et Graph. Je laisse Map vide de toutes donnée supplémentaire. Les captures d'écrans que je vous présente peuvent donc varier selon la manière dont vous souhaitez les afficher. Je ne parlerais que des éléments qui me semblent les plus important. Le manuel vous présentera les autres.

On commence par Path, qui nous donne une idée de la trajectoire de notre vaisseau. Le plus simple est de commencer par un exemple. Ces trois captures d'écrans (celles de la page suivantes) ont été prises à quelques secondes d'intervalles. A vue de nez le seul paramètre qui change, c'est l'AoA. Dans le premier cas le vaisseau est cabré à 0°, à 40° dans le second cas (c'est en général autour de cette valeur que s'effectuent les rentrées atmosphérique) et 53° dans le dernier. Jetez un coup d'oeil à la valeur de L/D, Lift/Drag (la portance divisée par la traînée). L/D inférieur à 1 indique que la traînée est plus importante. Le vaisseau freine. Inversement, une valeur supérieure à 1 indique une bonne portance : le vaisseau effectue un vol plané et peut aller bien plus loin. On peut voir la valeur de G maximum encaisser durant le freinage : très correct dans les deux premiers cas, mais un peu trop élevé à mon goût dans le dernier. Puis viennent une estimation du temps avant l'atterrissage, la vitesse estimée à l'atterrissage et la position du vaisseau. Par atterrissage, comprenez le contact entre le vaisseau et la terre. Si on ne prend pas les choses en main, on appellera plutôt ça un crash. La dernière valeur est la plus importante : la distance qui sépare le point d'impact au sol de la cible. Et pour finir, on a une estimation de la trajectoire de notre vaisseau. La position de la cible est en jaune, celle du point d'impact en blanc.

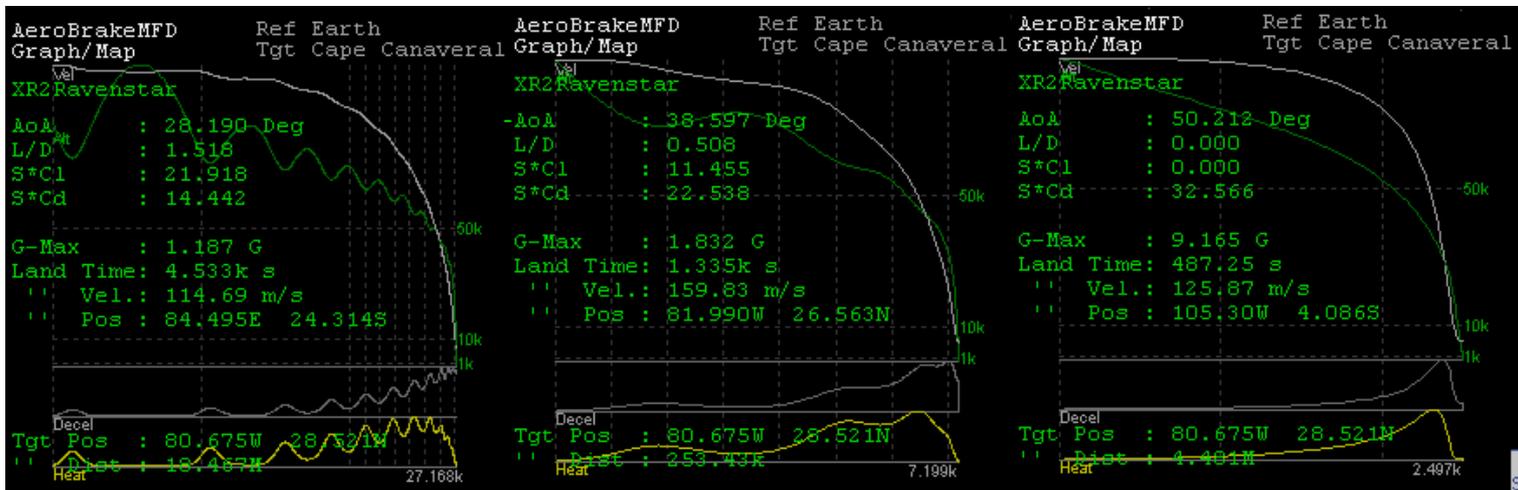
Un retour au bercail



Sur Map, on a un visuel de notre point d'impact. Cette carte, couplé à Tgt Dist de l'écran Path va nous permettre de prévoir au mieux notre freinage. Je pense que des explications plus poussée seraient superflues, non? Une case représente 200 km, mais je n'en suis pas vraiment sûr. De toute manière, dans quelques minutes, vos yeux ne seront braqués que sur Tgt Dist. Cet écran vous apportera juste un léger complément d'informations.

Je fini sur l'écran Graph qui nous servira tout au long de la descente. C'est en le surveillant qu'on pourra anticiper l'évolution de la température du bouclier thermique et agir en conséquence pour revenir entier sur terre. En plus, c'est un outil qui permet de vraiment comprendre les mécanismes physiques qui influencent un freinage atmosphérique. On peut voir 4 courbes. La verte représente votre altitude, la grise votre vitesse. Plus bas, vous avez les

allure de la décélération du vaisseau ainsi que de l'énergie qui sera dégagée par la friction de l'air. J'insiste sur ce point! Il s'agit bien de l'énergie (!) et non de la température du bouclier thermique. La



Un retour au bercail

température atteinte par le bouclier dépend des matériaux qui le composent. Dans l'idée, la température du bouclier est proportionnelle à l'énergie qui lui est appliqué. On peut donc voir sans risque cette courbe comme étant l'allure de la courbe de température. Est-ce que le bouclier pourra résister? Nous verrons bien. Les courbes évoluent en temps réel, on peut donc facilement comparer l'influence de l'angle d'attaque sur notre freinage.

L'angle d'attaque modifie la portance de l'appareil. C'est l'angle d'attaque qui fera la différence entre une rentrée tout en douceur et une rentrée brutale. Vous vous rendrez compte qu'un bon choix d'AoA est primordial. Allez-vous faire une rentrée rapide et directe, ou rebondir plusieurs fois sur l'atmosphère avant de plonger dans les couches plus denses? Je vous laisse rattacher les diagrammes un peu plus haut à ces deux situations.

Pour freiner plus efficacement, il faut offrir à l'atmosphère une plus grande surface de bouclier thermique projetée dans un plan normal au déplacement. Ça augmentera votre traînée. Vous me direz que pour un freinage maximum, il faudrait donc un AoA de 90°. Moi je dis non! L'aérodynamisme d'un vaisseau de type « avion » induit un déplacement dans l'axe Z (vers l'avant). Un AoA de 90° vous fera donc reprendre de l'altitude. On peut éviter ce phénomène tout en gardant une valeur L/D correcte pour un freinage en effectuant une manoeuvre dite « S-Turn ». Si vous avez suivi des tuto sur la navette, vous savez qu'il s'agit de se mettre sur la tranche pour freiner. Ainsi, le déplacement se fait vers le côté, et non vers le haut.

4. Plongée dans la fournaise

Il est temps de s'y mettre, non? Il faut savoir qu'Aérobrake calcule toutes ces données en temps réel en fonction de l'orientation du vaisseau. Par conséquent, il manque cruellement de précision si on est trop loin de l'atmosphère. On commencera les manoeuvres entre 200 et 100 km d'altitude. Ouvrez Aérobrake sur les deux écrans. Map à gauche et Path à droite.

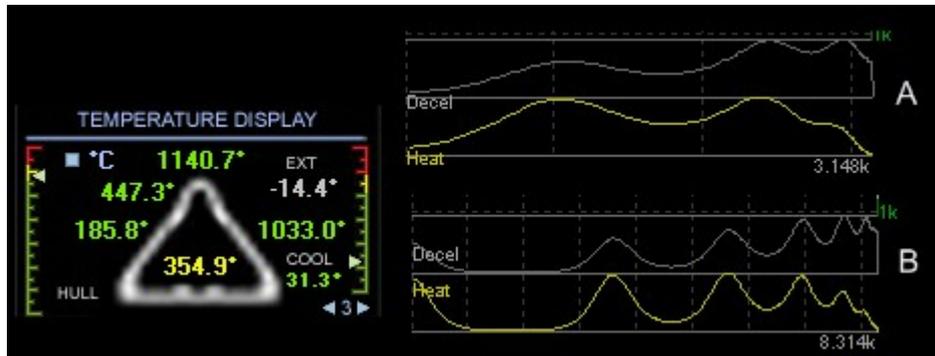


On va utiliser le pilote automatique de maintien d'altitude en mode AoA. Pressez la touche 1 (pas celle du pavé numérique) pour démarrer ce programme. Cliquez sur Set Pitch pour lire « Set AoA » à la place. Cliquez sur Engage. On peut modifier la valeur de l'AoA avec les flèches affichées à l'écran, ou avec les touches 8 et 2 du pavé numérique. Sur l'image de gauche, l'AoA est de 38,5°. On appuie en même temps sur Alt pour un réglage plus fin. De même, 4 et 6 vous feront tourner en augmentant votre valeur de « bank » (flanc). Trouvez un AoA qui vous amène assez proche de la base. Vous ne pourrez sans doute pas obtenir une grande précision. A ce moment-là, on est à la centaine de kilomètres près, mais on corrigera ça par la suite. Surveillez aussi la valeur de G-Max. G-Max est fonction de la décélération et est souvent atteint vers la fin du freinage. Si vous avez une valeur trop haute, il faut trouver un compromis entre les G encaissés et la position d'impact avec le sol. Prenez un AoA bien élevé en début de freinage, même si le point d'impact se trouve à des milliers de kilomètres avant la cible. Une fois que vous aurez suffisamment freiné dans les couches hautes de l'atmosphère vous continuerez avec un AoA bien plus faible, en vol plané, dans les couches plus basses. Vous réduirez ainsi les G encaissés. C'est vraiment une question de jugé. Il faut savoir un peu comment se comporte le vaisseau, et ça se fait tout seul.

Une fois que ça vous semble bon, passez de Path à Graph sur le MFD de droite. Vous allez devoir surveiller la valeur de Tgt Dist et garder votre point d'impact proche de la cible en modifiant l'AoA. C'est très difficile au début, n'essayez pas d'être à zéro c'est quasiment impossible et la valeur affichée fluctue énormément. Plus vous vous rapprochez, plus cette valeur sera précise.

Un retour au bercail

Surveillez aussi la courbe jaune qui vous mettez en relation avec l'écran Température Display du XR2 (touche 3, pas celle du pavé numérique). Si vous approchez trop de la valeur limite, vérifiez la courbe jaune. Si vous êtes sur une portion ascendante, modifier l'AoA pour que cette portion devienne descendante. Mais si vous êtes sur une portion descendante, tout est OK : la température de montera pas plus haut. Un petit exemple?



On voit ici qu'on est proche de la désintégration. Dans le cas A, on est mal. On se rend compte que la température continuera de monter bien plus que que la limite acceptable. Dans le cas B on a juste atteint le sommet du pic de température, on a eu chaud! Malgré tout, on a d'autre pics de même intensité qui vont nous arriver dessus dans pas longtemps. Il faudra bien surveiller la températures à ces moment là.

3. Atterrir

Viens le moment crucial! Si vous n'avez pas explosé dans les couches denses de l'atmosphère, autant essayer de ne pas réduire en miette son appareil au moment de rejoindre le sol, non?

Essayez de viser une entre 20 et 50 km plus loin que la cible. L'idée est de passer au dessous du mur du son quand on survole Cape Canaveral. Au dessus de cette vitesse, le vaisseau est très difficile à manoeuvrer. L'idée est d'être à une altitude et à une vitesse assez élevées pour rejoindre la piste d'atterrissage en vol plané sans avoir à allumer les moteurs. C'est plus classe et ça économise le fuel.

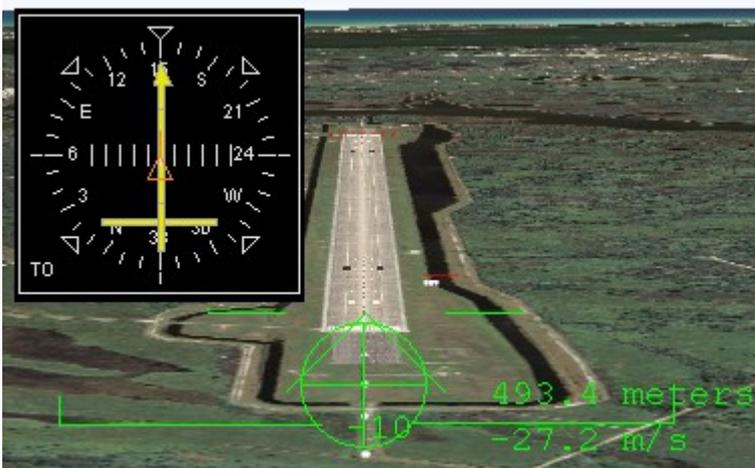
Vous pouvez vous aider du MFD VOR/VTOL pour visualiser la direction de la cible. Rien de bien compliqué sur cet outil. Pour plus d'infos, vous devriez appuyer sur F4 dans Orbiter, puis cliquer sur Help.

Logiquement, vous devriez passer au dessus de Cap Canaveral. Ne coupez pas le pilote automatique avant d'être passer sous la vitesse du son, il serait très peu maniable. Une fois que vous avez entendu le *BANG* caractéristique, reprenez le control de l'appareil et commencez à planer. Il vous reste deux ou trois petites choses à faire. Commencez déjà par repérer votre piste d'atterrissage. Si vous êtes encore trop haut ou trop rapide pour atterrir, faites des ronds dans le ciel pour perdre altitude et vitesse. N'oubliez surtout pas de remettre le trim à zéro! Vous risqueriez de tomber comme une pierre. Si vous manquez de vitesse n'hésitez pas à remettre les gaz. L'autopilote Hold AirSpeed est très pratique dans ce cas. Une vitesse air de 150 à 200 m/s est suffisante pour se présenter devant la piste. Par contre, si vous allez trop vites, les aérofreins sont vos amis (ctrl+B).

Vous pouvez utiliser le HSI pour vous aligner correctement avec la piste. Sélectionner le canal NAV sur lequel vous avez configuré la fréquence de l'ILS de la piste. La fleche indique la direction de la piste (dans notre cas 330° ou 150°). Le milieu de la fleche peut se déplacer à droite ou à gauche. Si il est droite, vous êtes trop à gauche et inversement. Utilisez également l'indicateur de vecteur vitesse. Il pointe à peu près vers l'endroit du sol où vous allez toucher le sol. C'est une aide précieuse. Dans l'exemple que je vous ai mis, vous êtes trop à droite. Il vous faut suivre la partie centrale de la fleche et vous décaler sur la gauche.



Un retour au bercail



Pour l'atterrissage, votre vitesse verticale (indiquée sur le HUD surface) ne doit pas être inférieur à -4 m/s. En approche final, relevez le nez de l'appareil pour que les roues arrière touchent le sol en premier. Surveillez le taux de descente!

Une fois au sol, les touches point-virgule et deux points (; et :) commandent les freins de roue gauche et droite. Et voilà!

4. Pour aller plus loin

Vous vous en sortez jusqu'à maintenant? On va pousser tout ça un peu plus loin. Par plus loin, j'entends la Lune. Pour les besoins de l'exercice, je vous demande de configurer la puissance des moteurs de votre vaisseau selon les valeurs par défaut. Pour faire ça, ouvrez le fichier config/XR2RavenstarPrefs.cfg. Fouillez un peu jusqu'à arriver à la ligne MainFuelISP et entrez la valeur 2. Ça correspond à une puissance permettant d'aller jusqu'aux célestes.

Démarrez Orbiter, prenez votre XR2 et allez-y. Je vous retrouve là-bas. Si vous ne savez pas comment faire, vous pouvez vous lancer sur le tutorial de Papyref IMFD 5.3 - Théorie + Exercices ou plus simplement lancer le scénario 05 – En orbite autour de la Lune. Vous y êtes? On va commencer par quelques travaux pratiques. Si besoin est, ouvrez le tuto de Papyref, section exercices, à la page 17 pour savoir comment revenir de la Lune à la Terre. Ce que je vous demande à présent, c'est de revenir en orbite autour de la terre sur une orbite de 5 000 km d'altitude et passant par Cape Canaveral (inclinaison équatoriale autour de +30°). Tout ça, bien sûr, en utilisant le moins de carburant possible.

Le scénario 06 – Retour depuis la Lune vous place un peu après l'éjection avec 25,6% de carburant restant. Pour avoir un peu de challenge, essayez de faire en sorte d'avoir plus de 20% en fin de manoeuvre.

...

Hey! je vous ai donné des consignes. Arrêtez donc de lire et démarrez Orbiter!



Un retour au bercail

C'est bon, vous avez fini? Je vais vous montrer ce que j'ai réussi à faire, histoire que vous puissiez comparer. En utilisant la méthode de Papyref, c'est à dire en plaçant sa trajectoire de manière à avoir un périégée de 5M puis en circularisant depuis ce point, je suis arrivé aux valeurs suivantes :



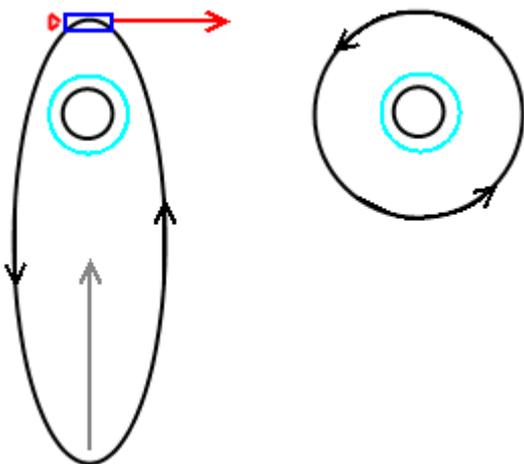
Je pense qu'il est difficile de faire mieux. J'ai tenté de faire le minimum de manoeuvres, mais on va quand même être un peu juste pour se désorbiter et rentrer sur terre, même si c'est faisable. Mais bon, j'avais dis « 20% de carburant restant »...

Pour réussir ce coup de force, on va se servir d'une technique très peu utilisée dans la réalité : un freinage atmosphérique sans rentrée. Peut-être avez-vous compris où je voulais en venir dans la page précédente. Il s'agit d'utiliser la friction de l'atmosphère à la place de ces moteurs. Contrairement à la méthode d'avant, on va placer notre périégée au dessous de la limite de l'atmosphère et s'en servir pour descendre notre apogée à la hauteur voulu. Puis, on circularise à partir de l'apogée, et le tour est joué. J'ai eu beaucoup de chance lorsque j'ai tenté la manoeuvre. Il me restait 25,6% de carburant, je me suis fixé les 20% de manière tout à fait arbitraire, sans avoir aucune idée de la faisabilité de la chose. Et voilà le travail :



Vous comprenez mieux l'intérêt de la chose? On peut malgré tout remarquer que les RCS ont travaillé bien plus. On va tenter de comprendre comment tout ça fonctionne.

1. Le freinage atmosphérique



Le retour de la Lune nous a amené sur une orbite dont l'excentricité est proche de 1. C'est à dire très aplatie. On va pouvoir circulariser notre orbite de deux manières.

La première méthode est simple. Un petit coup de réacteur dans le sens opposé à notre déplacement nous fait perdre pile ce qu'il faut de vitesse pour ramener l'excentricité à 0. La vitesse perdue est exprimée dV (delta V). C'est une donnée importante. De nombreux outils permettent de la déterminer et de circulariser automatiquement l'orbite. Les plus communs sont IMFD et BurnTimeCalculator.

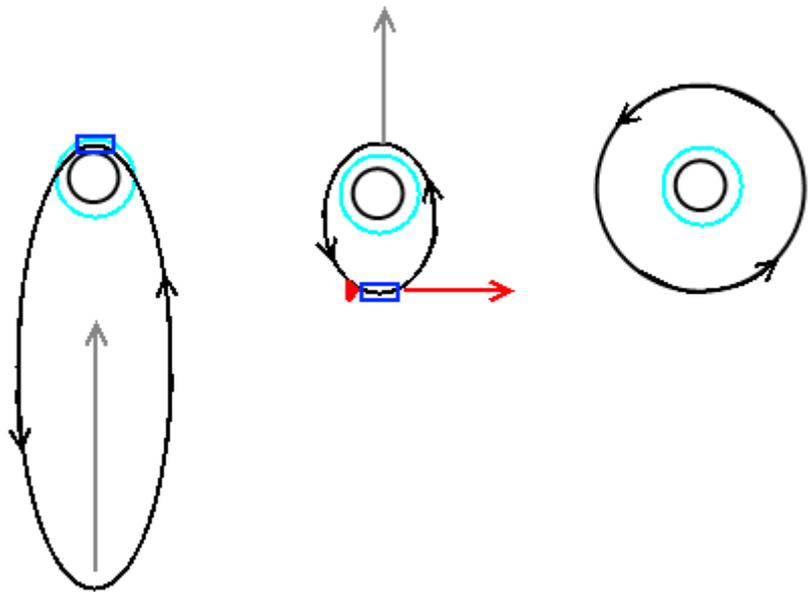
Je vous préviens, je ne tolérerais aucune remarque concernant la qualité graphique de ce schéma. J'y ai représenté la planète autour de laquelle nous orbitons ainsi que son atmosphère en bleu clair. Le carré bleu, c'est le vaisseau. Remarquez les flammes représentant le réacteur en marche! La flèche rouge montre la direction de la poussée du réacteur et la grise la variation de l'orbite.

Un retour au bercail

Et ça, c'est ce qu'on va faire. On plonge dans l'atmosphère pour décélérer de manière à atteindre l'apogée ciblée, puis on circularise le tout. Ici, pas d'outil nous permettant un freinage automatique dans l'atmosphère. Il va falloir déterminer tout ça à la main.

La première chose à faire sera de modifier notre trajectoire le plus tôt possible lors de notre retour de la Lune histoire de dépenser le moins de carburant possible. Tout se passe avec IMFD. Les captures d'écran qui vont suivre sont tirées du scénario 05 –

En Orbite autour de la Lune. Il s'agit d'un cas particulier, ça ne fonctionnera pas dans tout les cas. Retenez surtout l'idée générale. Je serais très bref sur les différentes fonction d'IMFD. Pour plus d'infos sur cet outil, consultez le tuto de Papyref.



2. Ejection de l'orbite lunaire

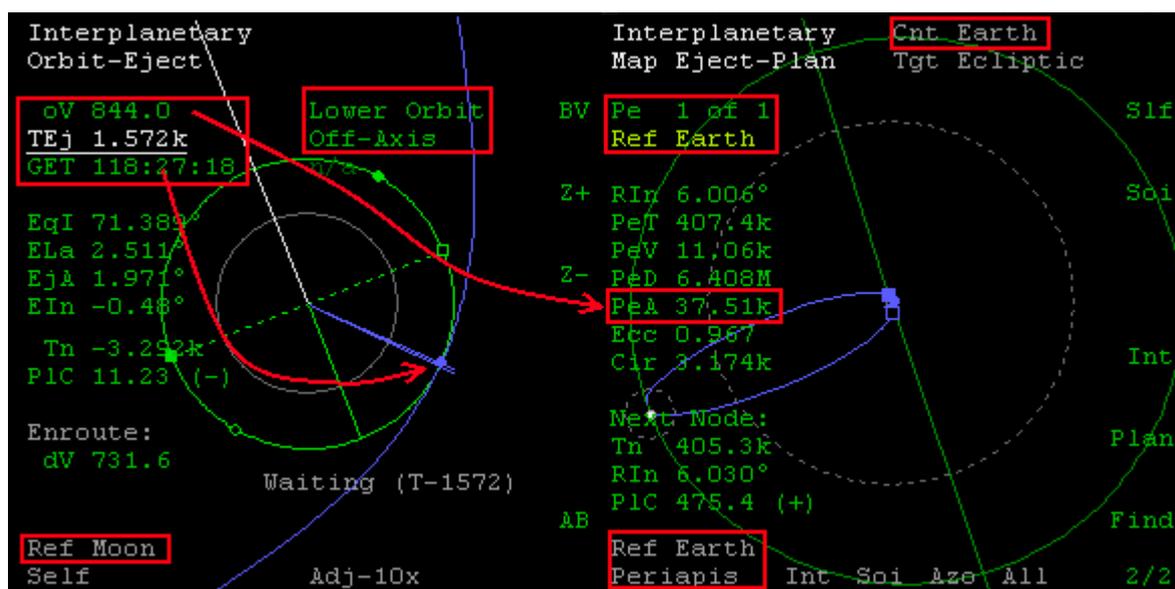
Sur le MFD de gauche, démarrez IMFD. **MNU** pour ouvrir le menu. Sélectionnez Orbit-Eject. Naviguez des les options avec **PRV** et **NXT** pour sélectionner Lower Orbit. On change Realtime en Off-Axis plus approprié pour des longues combustions.

Sur le MFD de droite, démarrez aussi IMFD et coupez cet écran avec le premier : OpMode → 0. Ouvre le module MAP. **TGT** → Earth. **REF** → Earth. Cliquez plusieurs fois sur **MOD** pour arriver à la fenêtre Map-Config. Naviguez jusqu'à Time-Limit, bouton **SET** pour rentrer manuellement 800k. Pour finir, on clique sur **PLAN** pour afficher la trajectoire théorique calculée avec le module Orbit-Eject.

Dans Orbit-Eject, on va faire varier deux paramètres. Le temps d'éjection TEJ de manière à avoir le moment de démarrage des moteurs (traits violets) placé sur le moment optimum calculé par IMFD (trait vert en pointillé). Il faut aussi régler oV (une sorte de dV) pour avoir PeA lu sur Map proche de l'atmosphère.

On démarre l'autopilote pour s'éjecter correctement : **PG** pour changer de page puis **AB** (AutoBurn). On peut afficher les données relatives au vecteur de poussée en cliquant **BV** (Burn Vector).

On est un peu sorti du sujet me direz-vous. C'est pas faux, je m'empresse d'y revenir.



Il va falloir attendre d'être sorti de la sphère d'influence de la Lune pour commencer les manoeuvres d'approche. On va orienter notre orbite de façon à ce qu'elle passe par Cape Canaveral (plus pratique pour atterrir) et que son périégée soit à une bonne hauteur pour le freinage. On veut un freinage efficace, mais qui ne détruit pas la vaisseau.

Comment déterminer cette altitude? C'est un peu morbide, mais il va vous falloir mourir. Faites des tests. Selon ce que j'ai expérimenté, un freinage à 50 km d'altitude ne vous laisse aucune chance de survie. A 60 km on chauffe le bouclier à blanc, on encaisse pas mal de G mais tout se passe bien avec un peu de doigté. A 70 km, il n'y a aucun danger mais le freinage est plutôt faible. A vous de choisir, il reste assez d'oxygène pour tenir quelques jours. Un freinage atmosphérique se fait en plusieurs fois. Dans notre cas, trois ou quatre passages dans l'atmosphère seront suffisants. Dans le cas réel de la sonde Mars Global Surveyor, c'est plusieurs jours de freinages atmosphériques qui ont été nécessaires. Et oui : l'économie de carburant se paye en temps. Comme quoi, on n'a pas tort en citant « le temps c'est de l'argent ».

3. Correction de trajectoire

On fera quelques corrections de trajectoire en cours de route. En général, j'en fais une à la moitié du trajet Lune SOI de la Terre et une dernière en entrant dans la SOI.

On va utiliser le module Planet Approach d'IMFD sur le MFD de gauche. **MNU** puis **Course**. Sélectionnez Planete Approach. Ici, rien de bien compliqué. On choisi l'inclinaison equatoriale visée. Cape Canaveral étant à 28,52°N (info dispo sur MapMFD), on va viser une inclinaison proche de ça, voire un peu plus haute. +30° c'est pas trop mal. (pour une inclinaison sud, on aurait pris une valeur négative. C'est les conventions d'IMFD). On peut aussi choisir un PeA.

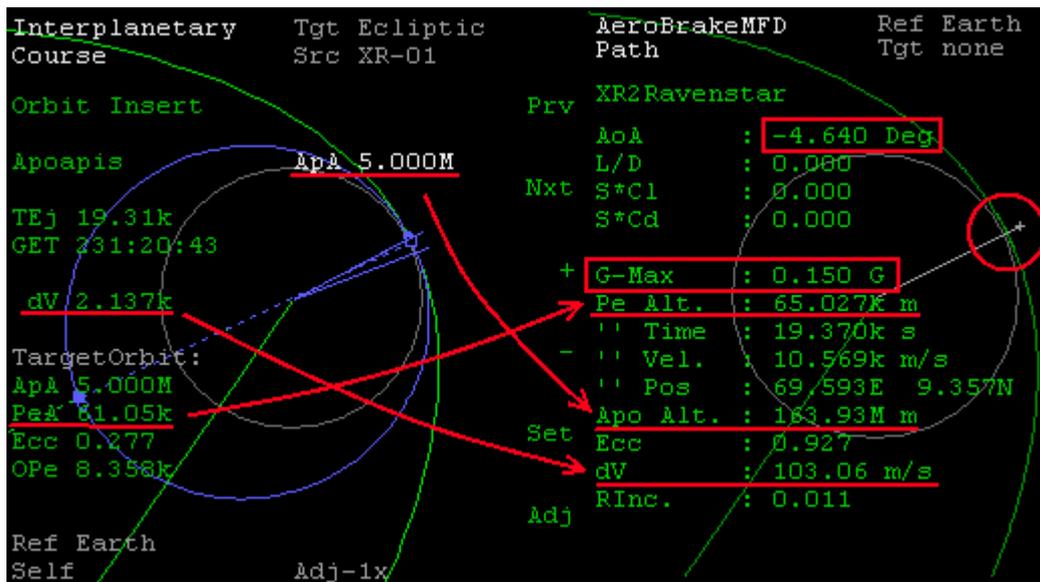
On sélectionne les éléments avec **PRV** et **NXT** et on entre les valeur avec **SET**. Configurer EqL à 30 et PeA à 65k. AB pour finir.

Voilà pour les première corrections. On a besoin d'une valeur très précise de PeA pour notre freinage. En approche, on pauffera avec OrbitMFD qui est plus précis quand on est proche de la

planète.

4. Le freinage

Pour les corrections finales, utilisez OrbitMFD à gauche et Aerobrake à droite. Quelques poussée en translation selon Z devrait suffire pour caler correctement le périhé. Aerobrake commence à fournir des données à partir de PeT 20 000 s. Continuez à corriger de temps en temps, puis ouvre le module Orbit-Insert d'IMFD à gauche. **PRV-NXT** pour sélectionner Planet Approach, bouton + puis Orbit-Insert. De là, utilisez + et - sur Eccentricity pour choisir Apoapsis. De là, vous pouvez lui assigner la valeur de votre choix. Ici 5M.



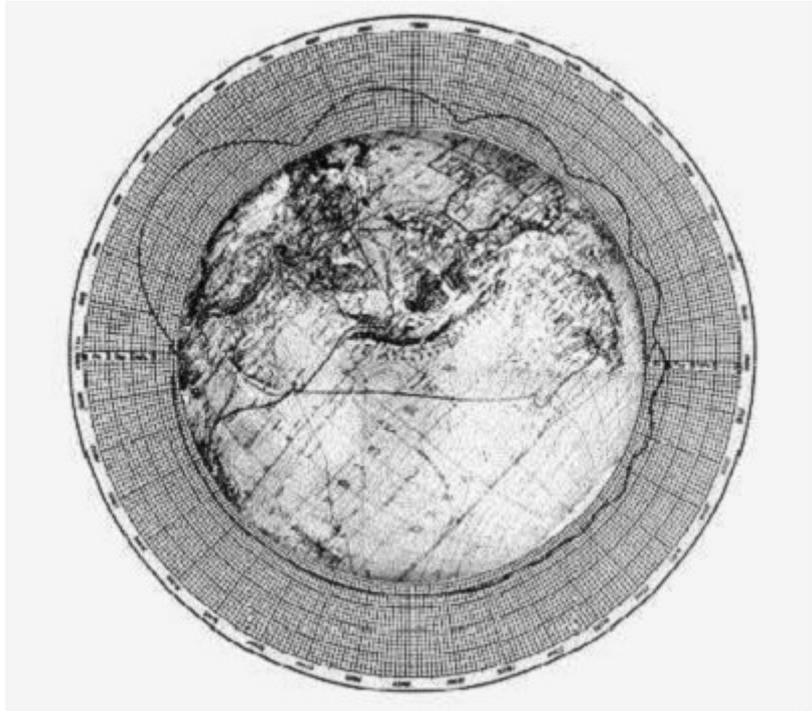
Et voilà, on a pas mal d'infos intéressantes. Sur le schémé d'Aérobrake on remarque déjà qu'on sera bien en freinage atmosphérique et non en rentrée atmosphérique. C'est du tout bon ça! On connaît le dV qu'il faudra appliquer lors du freinage à gauche, et le dV qui sera appliqué dans la situation où nous sommes. On peut aussi y lire l'Apogée de fin de freinage, très utile. L'altitude du périhé. La valeur d'aérobrake est en général plus proche. Il faudra aussi surveiller le nombre de G qu'on va encaisser. A partir de là, il faut faire varier l'AoA pour avoir un freinage correct. Dans la mesure du possible, laissez vous quelques centaines de m/s de décélération en sortie d'atmosphère afin de régler finement votre freinage lors du dernier passage. Souvenez-vous aussi qu'Aérobrake est bien plus précis quand on est proche de l'atmosphère. Ne vous étonnez pas de voir vos valeurs varier au cours du temps. En général, on commence à obtenir des valeurs dignes de confiance en dessous des 200 km d'altitude pour la terre.

Lors de votre freinage, surveillez la température du bouclier ainsi que les estimation de température à venir. Gardez toujours un oeil sur l'apogée final et sur le dV que vous pouvez modifier en changeant l'AoA. Vérifiez les G-Max pour ne pas trop souffrir. La valeur de dV affichée correspond aux dV restant à perdre jusqu'à la fin du freinage, et non les dV perdus au total. Pensez aussi vérifier Pe Alt. ou la courbe d'altitude. Il serait dommage de transformer un freinage atmosphérique en atterrissage en catastrophe!

Une fois votre apogée à la bonne hauteur, vous n'aurez plus qu'à circulariser. Vous avez tous les éléments nécessaires pour vous lancer.

Un retour au bercail

Je vous ai fait circulariser à 5M d'altitude parce que c'est une bonne valeur pour tester des rentrées assez complexes. Vous trouverez des exemples dans la doc d'aérobrake.



5. Conclusion

Et voilà, on arrive à la fin. Je pense avoir traité suffisamment du sujet pour vous laisser voler de vos propres ailes. Pour bien maîtriser les rentrées atmosphériques, il faut juste savoir lire les instruments pour anticiper les manœuvres. Si vous voulez un peu plus de challenge, tentez donc une rentrée atmosphérique sur une autre planète que la terre. Les conditions y sont différentes, il faut pas mal modifier ses habitudes. Sur Mars, par exemple, la densité de l'atmosphère est bien plus faible que sur la terre. Le freinage est donc moins effectif. Un petit défi pour finir : tentez de rentrer sur terre sans générer de flammes de rentrées. Bonne chance!

6. Sources

La photo en première page montre la trainée laissée par la rentrée atmosphérique d'Apollo 13. Je l'ai trouvée sur ce site :<http://www.astr.ua.edu/keel/space/apollo.html>

Pensez à jeter un coup d'oeils aux différents tutos disponibles sur le site des Addon Francophones.

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=tutorials>

Le manuel d'Aérobrake est disponible en français. Manuel Fr de AerobrakeMFD de Gregorio Piccoli.

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=16>

Pagir nous avait déjà montré comment faire une rentrée atmosphérique. Son tuto traite d'une rentrée avec le CTV. Maintenant, vous devriez pouvoir adapter ces nouvelles techniques à tous les vaisseaux spatiaux. Une rentrée précise en CTV de Pagir.

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=17>

Papyref nous a offert quelques tutos sur les missions Apollo. Dans l'un d'eux, il nous apprend à faire une rentrée directe à partir de la Lune. Un peu de challenge! Apollo, Réaliser la mission Apollo 11 de A à Z de Papyref.

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=17>

Papyref, toujours, est l'auteur de ce tuto culte que tout débutant doit avoir fait au moins une fois dans sa vie. J'y vais plusieurs fois référence. Endeavour, Aller retour Terre-ISS avec la navette de Papyref

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=23>

Vous pourrez trouver un peu de théorie sur la rentrée atmosphérique dans le manuel de la capsule Mercury, à la page 8. Tutoriel Mercury de Nulentout.

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=39>

Vous trouverez des infos sur la rentrée atmosphérique en navette spatiale grâce aux deux addons complémentaires Utilisation des navettes Shuttle Fleet de Papyref et Tutoriel Navettes Niveau 2 de Nulentout.

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=42>

<http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=dl&tuto=true&id=43>

Un peu de culture. Un article très complet sur le freinage atmosphérique, sur le site de Philippe Labrot.

<http://www.nirgal.net/aerofreinage.html>

Et pour finir, deux sites de références pour tout connaître sur la rentrée atmosphérique :

<http://www.google.fr/> et <http://fr.wikipedia.org/>

Bon vol !

Nicolas Appriou