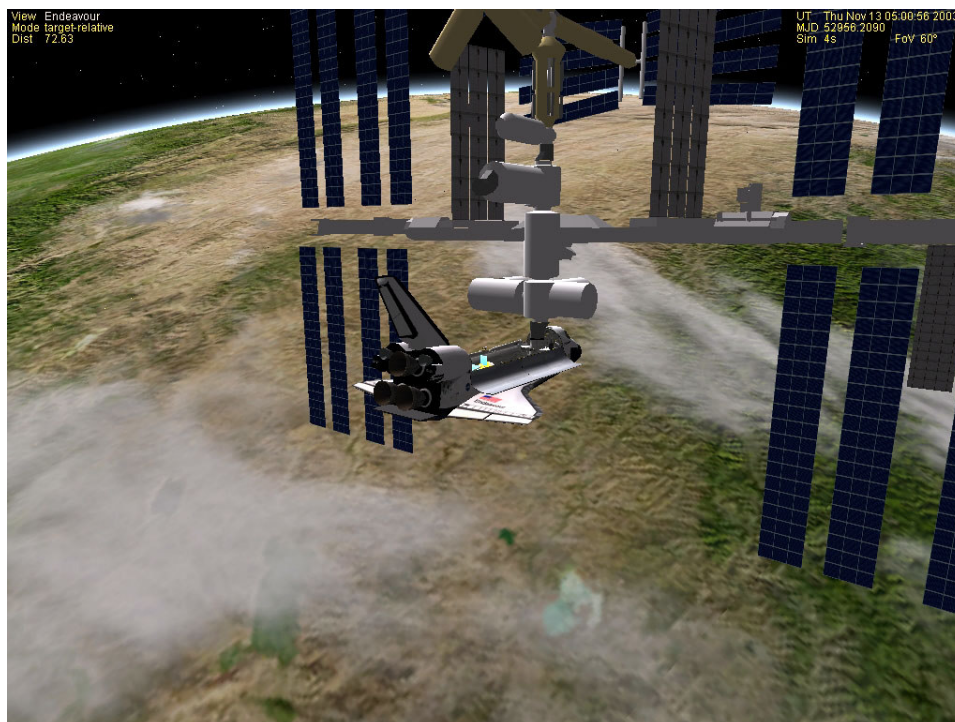


ALLER - RETOUR TERRE - ISS AVEC LA NAVETTE

En annexe - Utilisation du DGIV



Par Papyref
Janvier 2008

INDEX

0 – Objet	Page 02
1 – Théorie du rendez-vous	Page 03
2 – Recherche de la fenêtre de tir	Page 04
3 – Départ et mise en orbite	Page 07
4 – Synchronisation	Page 09
5 – Approche de ISS	Page 13
6 – Arrimage	Page 20
7 – Pose du satellite et sortie	Page 23
8 – Préparation du retour	Page 24
9 – Retour automatique	Page 29
10 – Retour en manuel	Page 30
Annexe – Utilisation du DGIV	Page 39

0 – OBJET

Ce tutorial a pour objet de réaliser une mission avec la navette Endeavour comprenant:

- Le lancement depuis Cape Canaveral
- La rencontre et l'arrimage à ISS
- Le dépôt d'un satellite sur orbite et une sortie (optionnel)
- Le retour à Cape Canaveral en automatique ou en manuel

J'ai utilisé la navette Endeavour du pack ShuttleFleet 4.0 de David413 car elle comporte un pilote automatique pour le lancement contrairement à la navette standard Atlantis contenue dans Orbiter. Un lancement manuel est plus difficile mais j'en donnerai le principe pour les amoureux de la difficulté.

Ce tutorial comprend toutes les explications utiles pour réaliser les manœuvres et les configurations nécessaires.

En annexe figurent les instructions pour utiliser le DGIV en variante.

Si vous avez été un bon élève, vous avez lu les documentations diverses et vous êtes apte à la mission.

La manœuvre et l'arrimage d'une navette sont plus délicats que pour le Delta Glider aussi je pense que si vous arrivez sans difficulté à réaliser cet exercice vous n'aurez plus de problème de rendez-vous.

Ce tutorial suppose que vous avez chargé les add-on suivant :

ShuttleFleetV4.0 (ou version postérieure) de David 413

<http://www.orbithangar.com/>

BaseSynchroMFD de Jarmo Nikkanen

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

Delta Glider DGIV de DanSteph

<http://orbiter.dansteph.com/index.php?disp=dgIV>

Je remercie les auteurs pour leur travail

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

NUMx représente une touche du clavier numérique

Ce voyage n'est pas facile mais il aura à l'avantage de vous apprendre à vous orienter dans l'espace et à contrôler vos moteurs.

Ne vous découragez pas et songez à la joie de voir se rapprocher ISS et de s'y amarrer quand vous réussirez votre première rencontre et votre satisfaction quand vous vous poserez sur la piste au retour.

Par la suite cette pratique vous donnera la possibilité de réaliser des choses plus variées comme la construction d'une station spatiale par exemple.

Sauvegardez au fur et à mesure de votre avancement dans la mission.

Pour vous aider j'ai sauvegardé mes situations clé pour que vous puissiez vous entraîner si vous le désirez avant de réaliser par vous-même toute votre mission et vos sauvegardes personnelles.

Bon voyage ...

PAPYREF
Janvier 2008

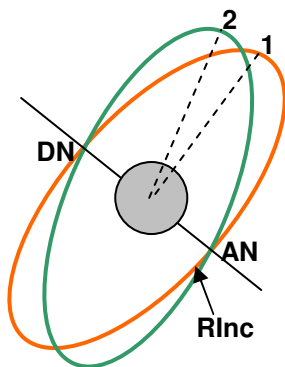
1 - THEORIE DU RENDEZ-VOUS

Notre problème est de réaliser au lancement du vaisseau, une orbite se trouvant si possible dans le plan de l'orbite de la cible (ici ISS) et qu'elle permette de se rencontrer au même moment à une distance la plus faible possible (c'est ce qu'on appelle la synchronisation)

En approchant du point de rencontre il faut modifier l'orbite du vaisseau (ici la navette) pour qu'elle soit pratiquement identique à celle de ISS et s'en rapproche le plus possible. Les deux vaisseaux orbiteront alors de façon synchrone (à la même vitesse) à une distance restant quasiment constante

Il faut rappeler quelques principes pour mieux comprendre les enjeux (sur les croquis, les échelles ne sont pas respectées pour une meilleure compréhension)

Pourquoi être dans le même plan si les orbites sont identiques ?



Supposons que les deux plans orbitaux ne sont pas confondus et ont un angle d'inclinaison relatif R_{Inc} différent de zéro (R_{Inc} se trouve sur le MFD Align Plane)

Si la synchronisation a été parfaite ISS sur son orbite orange et la navette sur son orbite verte vont se rencontrer régulièrement au nœud ascendant AN et au nœud descendant DN.

Les vaisseaux parcourent leur orbite dans le même temps puisque les orbites synchronisées doivent être identiques.

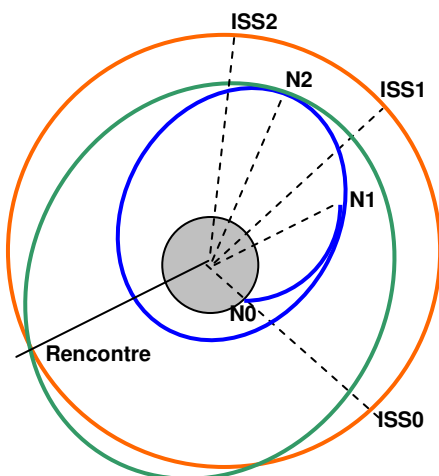
Du fait de l'inclinaison R_{Inc} , en cours de rotation, la distance les séparant va augmenter jusqu'à une valeur maximum atteinte aux points 1 et 2

Pour une orbite de rayon moyen 360 km comme celle de ISS avec un R_{Inc} de 1° , la distance maximum atteinte est d'un peu plus de 6000 m !

On voit donc l'importance d'avoir R_{Inc} très voisin de 0 si on veut avoir une position stable par rapport à ISS après la rencontre.

Pourquoi être bien synchronisés pour la rencontre ?

Rappelons que la vitesse de déplacement sur une orbite est d'autant plus grande que l'orbite est basse.



Le principe de la rencontre va consister à lancer la navette au passage de ISS au dessus de la base (ou juste après), et si possible dans son plan orbital, pour la placer sur une orbite elliptique basse (orbite bleue)

Au moment du lancement la navette et ISS se trouvent aux points N0 et ISS0

A la fin du lancement on établit l'orbite pour la navette qui se trouve alors en N1 quand ISS est en ISS1.

On a des valeurs à peu près de cet ordre: $PeA=60k$ et ApA variant de 230k à 310k après mise en orbite.

On réduit R_{Inc} à une valeur la plus proche possible de 0

Quand la navette atteint son apogée en N2, on allume le moteur pour l'établir sur une nouvelle orbite permettant de couper l'orbite de ISS en un point choisi pour que les deux vaisseaux se trouvent en même temps en ce point après un ou plusieurs tours

La navette qui se déplacera sur une orbite en moyenne plus basse que celle de ISS aura un temps de révolution (temps pour décrire complètement l'orbite) plus petit et elle pourra rejoindre ISS au point où les orbites se rencontrent après un certain nombre de tours qui dépendront de la synchronisation réalisée et de la forme des orbites.

Il faut que ISS et la navette se trouvent au point de rencontre avec le même temps de parcours par rapport au temps de référence pris au point de rencontre. Un écart de temps de 1s correspond à 7400 m d'écart en distance et le rendez-vous est assez raté !

Dans ce cas il faudra faire en route des corrections de trajectoire plus importantes coûteuses en carburant..

Voilà pour le principe du rendez-vous.

Dans le cas de la navette, l'altitude de l'orbite en lancement programmé est au maximum de 310 km et comme ISS est au dessus de 357 km on rejoindra la station en poursuite en venant d'une orbite plus basse. On peut réaliser un rendez-vous en partant d'une orbite plus haute que l'objectif mais ça n'est pas avantageux au point de vue énergétique quand on part du sol.

Nous retiendrons pour notre rendez-vous le mode opératoire suivant :

- Lancement de la navette lorsque ISS vient de passer à peu près au dessus de la base en prenant un cap de lancement permettant d'être le plus possible dans son plan orbital
- Quand la mise en orbite est effectuée on aligne parfaitement les plans orbitaux au passage du premier point nodal rencontré (on peut le faire après la synchronisation si le point nodal se trouve après l'apogée ApA)
- Quand on atteint à peu près ApA, on corrige l'orbite pour établir une nouvelle orbite synchronisée dont l'ApA permet de couper l'orbite d'ISS en un point synchronisé
- On corrige l'orbite en approche finale pour se trouver le plus près possible d'ISS sur une orbite quasi identique à la sienne.
- On réalise les opérations d'amarrage

2 – RECHERCHE DE LA FENETRE DE TIR

2.1 – Situation de départ

Nous allons partir du scénario **01 - Endeavour launch.scn** qui est celui du pack ShuttleFleet dans lequel j'ai ajouté la station ISS et j'ai embarqué le satellite standard Carina pour ne pas voyager à vide ainsi que le sas d'amarrage. Vous pourrez embarquer le satellite de votre choix si vous le désirez.

Je n'ai pas fait des modifications du pas de tir qui reste très simplifié pour garder celui d'origine. Vous trouverez sur OrbitHangar des addons permettant d'enrichir le visuel du Pad39 si vous le souhaitez.

2.2 - Fenêtre de tir

Il va falloir faire le lancement au moment où ISS passe à peu près au dessus de Cap Canaveral avec un cap adapté pour obtenir une orbite la plus alignée possible avec celle de ISS.

On peut lancer avant le passage de ISS mais on se trouve devant elle pour la rencontre et ce n'est pas favorable pour le suivi visuel et les manœuvres de corrections d'orbite. Je préfère ma solution mais vous pourrez essayer.

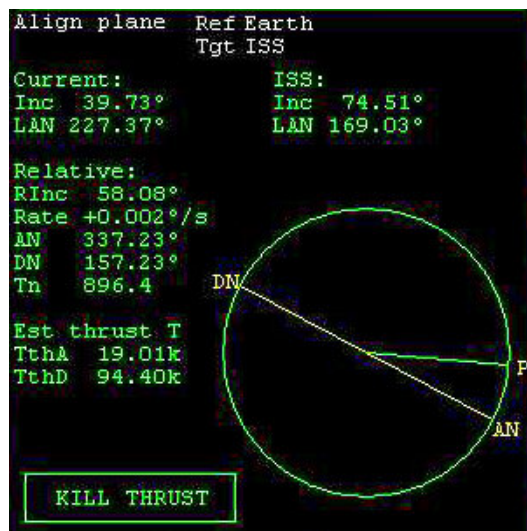
Dans le scénario d'origine j'ai pris comme date de lancement du scénario le 1er décembre 2007 à 0h pour chercher une solution de tir durant le mois de décembre. On devait lancer Colombus !

Comment déterminer ce cap ?

Lancer le scénario **01 - Endeavour launch.scn**

Ouvrir le MFD **Map** à gauche, faire TGT et entrer ISS

Ouvrir le MFD **Align Orbital Plane** à droite, faire TGT et entrer ISS



On peut constater que l'orbite en jaune de ISS (croix jaune) ne passe pas au dessus de notre position sur la base (croix blanche)

La première chose à faire est de l'y faire passer en accélérant le temps et pour que ISS soit sensiblement au dessus de Cape Canaveral (on peut utiliser la fonction zoom de la Map pour faciliter la recherche)
C'est la recherche de la meilleure fenêtre de tir qui peut nécessiter pas mal d'orbites.

Il faut alors tirer le plus possible dans le plan de l'orbite et Align Orbital Plane va nous y aider.

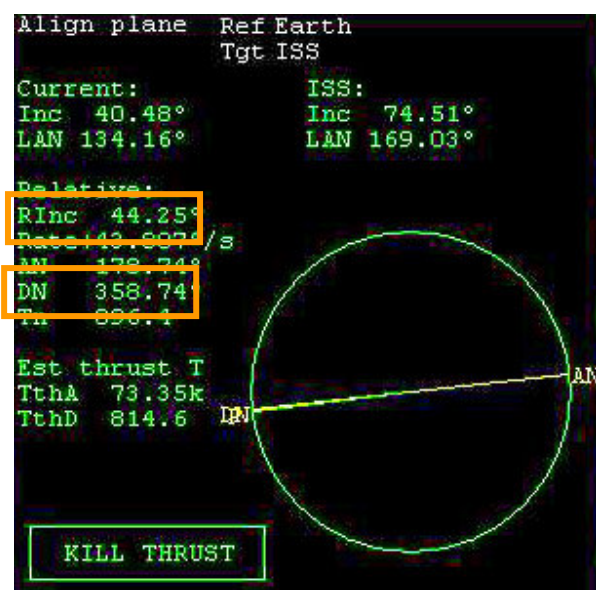
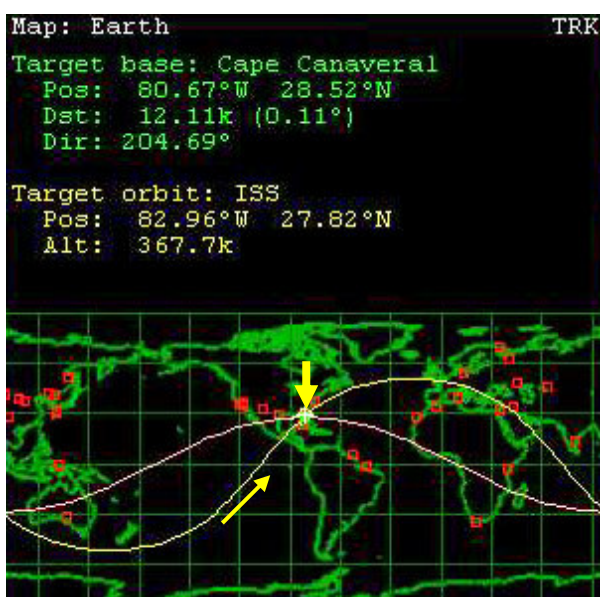
Le point P se trouve en AN ou DN quand on passe dans le plan orbital de l'objectif et on a alors AN ou DN égal à 0.

Si P dépasse AN ou DN, la valeur correspondante repart de 360. On peut admettre un écart de 2° par rapport à 0 (ou 360) au passage de DN ou AN. On peut donc admettre un écart au passage de 0 à 2 ou de 360 à 358.

Il ne faut pas tirer avant que l'objectif ait passé à la verticale de la base pour avoir à le rattraper ce qui facilite notre rencontre.

Pour résumer, la solution idéale est que la trajectoire d'ISS passe au dessus de la base (AN ou DN =0) quand ISS est à la verticale ou se trouve légèrement après.

Voilà ci-dessous une solution ou ISS passent sensiblement au dessus de la base et le plan orbital n'est pas trop décalé (DN>358). Ce qui se produit le 17 décembre vers 12h33mn.



Cette situation est sauvegardée dans le scénario **02 – Lancement.scn**

On peut trouver de même plusieurs situations favorables dans le mois au passage dans le sens montant ou descendant

On voit sur le MFD que $R_{Inc} = 44.25^\circ$ nous donne l'inclinaison du plan orbital de ISS au moment du passage.

DN n'est pas nul mais égal à 358.74° ce qui veut dire que du fait que nous avons attendu un peu pour avoir le passage de ISS au dessus de la base nous sommes écarté de $360-358.74=1.26^\circ$ du point idéal de lancement et nous ne tirerons pas exactement dans le plan orbital de ISS

Pour obtenir le meilleur alignement possible des plans orbitaux:

- si l'objectif passe en "descendant" vers le Sud notre cap de tir doit être $90^\circ + R_{Inc}$
- si l'objectif passe en "montant" vers le Nord notre cap doit être $90^\circ - R_{Inc}$

L'idéal est d'avoir AN ou DN = 0 au moment du passage du satellite à la verticale mais c'est en général impossible et il faut se contenter d'avoir AN ou DN le plus près de 0 (ou de 360) à ce moment.

Ici ISS passe en "montant" vers le nord et notre cap théorique de lancement devrait être $90 - R_{Inc} = 45.75^\circ$

Dans le scénario de lancement, il faudrait modifier le cap de lancement si ce n'est pas le bon pour avoir une valeur qui devrait être 45.75° . En pratique, comme on ne lance pas dans le plan orbital que nous avons un peu dépassé de 1.26° on obtient un meilleur résultat en compensant pour avoir 44.5°

```
Endeavour:Shuttle
STATUS Landed Earth
BASE Cape Canaveral:11
POS -80.6232502 28.6197342
HEADING 0.00
PRPLEVEL 0:1.000 1:1.000 2:1.000
NAVFREQ 0 0
CONFIGURATION 0
OV- 105
RMSARM
ODS
CARGODOOR 0 0.0000
KUBAND 0 0.0000
POSTLAND 0 0.0000
SSMES 0 0.0000
ADTA 0 0.0000
PETD 1 1.0000
SETD 1 1.0000
ARMTILT 0 0.0000 0 0.0000
PRADIATOR 0 0.0000
SRADIATOR 0 0.0000
GEAR 0 0.0000
PAYLOAD_MASS 0.0000
ARM_STATUS 0.5000 0.0151 0.0162 0.5000 0.5000 0.5000
SAT_OFS_X 0.000
SAT_OFS_Y 0.000
SAT_OFS_Z 0.000
CARGO_STATIC_MESH Carina_cradle
CARGO_STATIC_OFS 0.000 -1.650 0.050
OMS
CALLOUT
TGT_HEADING 44.5 300 ;cap de lancement et altitude de ApA en km
ASSIST 134.000
END
```

Il suffit de lancer Endeavour à peu près au moment du passage de ISS pour obtenir un bon résultat.

Avec 44.5° on obtient en fin de lancement $R_{Inc} < 2^\circ$ ce qui est bon.

On peut faire si on le désire plusieurs essais pour affiner le cap en prenant $\pm 1^\circ$ pour essayer de réduire au mieux la valeur de R_{Inc} en final. On peut se contenter de $R_{Inc} < 2^\circ$ qui nous laissera assez de carburant après la correction d'alignement.

Quand on écrit TGT_HEADING 44.6 300, le deuxième chiffre 300 (séparé par un espace) donne l'altitude souhaitée en km. On peut la fixer entre 183 et 310 et par défaut le programme utilise 228.

J'ai fixé ApA à 300 pour avoir en final une orbite pas trop éloignée de celle de ISS après la correction de synchronisation (on augmente le PeA qui est trop petit pour avoir un nouveau ApA et l'ancien ApA devient le nouveau PeA)

2.3 - Embarquement d'un satellite

Comme nous avons l'intention de déposer un satellite en route j'en ai embarqué un en faisant une dernière modification du scénario en spécifiant un satellite attaché à Endeavour (ici Carina) et son support (Carina_cradle) fixe dans Endeavour

```
Endeavour:Endeavour
STATUS Landed Earth
BASE Cape Canaveral:11
POS -80.6232502 28.6197342
HEADING 0.00
PRPLEVEL 0:1.000 1:1.000 2:1.000
NAVFREQ 0 0
CONFIGURATION 0
CARGODOOR 0 0.0000
KUBAND 0 0.0000
PRADIATOR 0 0.0000
SRADIATOR 0 0.0000
GEAR 0 0.0000
PAYLOAD_MASS 300.0000
CARGO_STATIC_MESH Carina_cradle
CARGO_STATIC_OFS 0.000 -1.650 0.050
ARM_STATUS 0.5000 0.0000 0.0000 0.5000 0.5000 0.5000
SAT_OFS_X 0.000
SAT_OFS_Y 0.000
SAT_OFS_Z 0.000
TGT_HEADING 136.00
END
Carina:Carina
STATUS Orbiting Earth
POS 0.0000000 0.0000000
HEADING 0.00
ATTACHED 0:0,Endeavour
NAVFREQ 0 0
END
```

Le scénario 02 – Lancement comprend toutes ces modifications et nous place en situation de départ le 17/12/2007 à 12h33mn

3 - DEPART ET MISE EN ORBITE

3.1 - Départ

- Charger le scénario **02 – Lancement**
- Appuyer en même temps sur la touche + du clavier numérique et la touche CTRL pour allumer à fond le moteur principal et déclencher le compte à rebours
L'allumage à fond du moteur est **indispensable** dès le départ, sinon c'est la culbute

OK ! C'est bien parti, vous pouvez suivre sur la Map l'évolution de la trajectoire et sur Align Orbital Plane l'évolution de RInc

La montée dure 540 s (9 minutes) Pendant ce temps, ISS qui avance à 7400 m/s parcourt 4000 km, mais comme notre trajectoire en montée s'incline vers l'est, la distance entre ISS et nous ne sera que de 2800 km environ en fin d'allumage.

ISS nous précède sur une orbite plus haute ce qui est favorable pour la rencontre



Et voilà le travail ! Nous sommes en projection (flèche blanche) à environ 2800 km derrière ISS (flèche jaune) Je vous rappelle que vers l'équateur un coté de carreau correspond environ à 3300 km

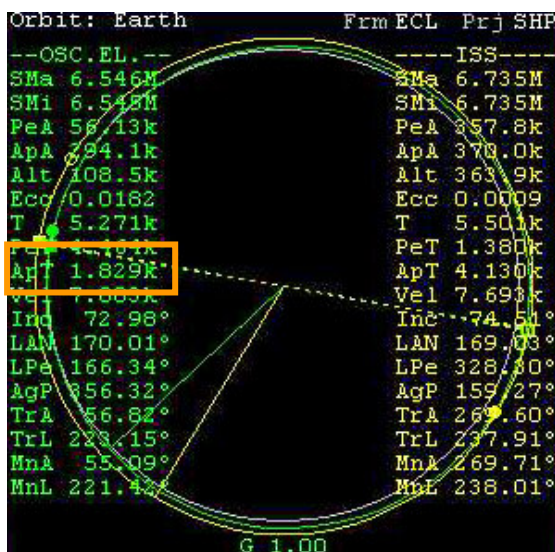
Le scénario 03 – Fin de lancement

vous place sur l'orbite établie en fin de montée si vous voulez faire des essais à partir de ce point

3.2 – Alignement des plans orbitaux

On voit que RInc = 1.80° ce qui est mauvais puisque comme nous l'avons vu un écart de 1° donne 6000m de distance d'éloignement maximum des deux vaisseaux qui ne pourraient pas rester cote à cote.

- Ouvrir le MFD Orbit à gauche
- Faire TGT puis entrer ISS comme objectif
- Faire PRJ pour changer l'affichage de l'orbite en prenant le plan du vaisseau comme référence
- Faire DST pour afficher les valeurs de PeA et ApA



On voit que ISS a une orbite très légèrement elliptique avec ApA = 370 k et PeA = 357 k

Notre vaisseau a une orbite assez elliptique avec ApA = 294 k et PeA = 56 k

Il faudra absolument relever l'altitude du PeA qui est trop faible sinon avant un tour nous entrons dans l'atmosphère.

Nous ferons ceci naturellement en réalisant l'orbite synchronisée mais nous allons d'abord aligner les plans. Nous avons le temps car nous n'arriverons à l'apoapsis que dans ApT=1829 s et si on examine Align Plane on voit que le temps Tn pour atteindre le prochain nœud AN est de 1423 s

Nous corrigerons en arrivant au nœud AN en nous plaçant en position NORMAL –

Rappel de la règle

Au nœud DN on corrige en position NORMAL +

Au nœud AN on corrige en position NORMAL –

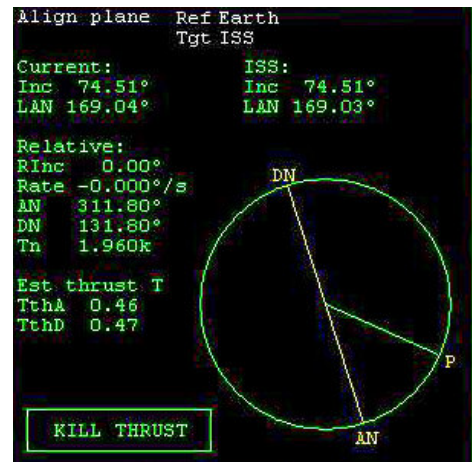
On peut faire avancer le temps en 10x. L'allumage se fait quand le texte ENGAGE THRUST s'affiche en clignotant

Attention à ne pas dépasser le moment d'allumage sinon vous ne pourrez pas réduire Rinc à 0. Il est prudent de revenir à 1x quand Tn atteint 250

Régler la poussée au maximum en surveillant Rinc pour stopper quand Rinc atteint 0.10 et utiliser le mode translation avec les touches NUM3 et NUM9 en petites impulsions pour la finition pour avoir Rinc le plus faible possible.

On peut arriver au moins à 0.01 et même à 0.00 en travaillant bien des moteurs.

En tenant la touche CTRL pendant les petites impulsions on améliore la précision des réglages finaux en limitant au minimum l'effort de poussée.

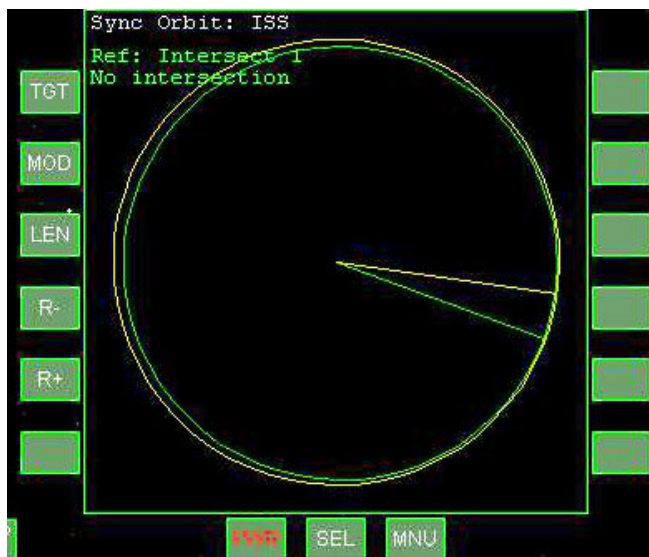


Le scénario 04- Plans alignés vous place en fin de manœuvre

4 - SYNCHRONISATION

On réalise la synchronisation en utilisant le MFD Sync Orbit qui permet de créer une orbite de vaisseau coupant l'orbite de la cible en un point où la rencontre est possible.

4.1 - Principe d'utilisation de Sync Orbit



TGT permet de désigner l'objectif

MOD permet de choisir différents modes d'intersection

LEN permet de fixer un nombre de tours maximum avant l'interception

R+ et R- permettent de placer la ligne d'interception quand on est en mode manuel

Le rayon jaune donne la position actuelle de la cible

Le rayon vert donne la position actuelle du vaisseau.

Ces rayons sont ceux que l'on retrouve sur le MFD Orbit

Les modes d'interception plus ou moins adaptés suivant que le vaisseau V se trouve en orbite plus haute ou plus basse que celle de la cible C (Voir figures plus loin) Il y a sept modes.

Intersections 1 ou intersection 2

L'orbite du vaisseau coupe celle de la cible en deux points et on synchronise au premier point rencontré ou au deuxième. Le moment d'allumage n'est pas imposé mais il vaut mieux être près de l'apogée

Sh Apoapsis ou Sh Periapsis

La rencontre se fera à l'apogée ou au périogée de l'orbite du vaisseau. Le moment d'allumage est imposé. On allume quand le rayon vert de position du vaisseau est superposé avec le rayon vert en surbrillance

Tg Apoapsis ou Tg Periapsis

La rencontre se fera à l'apogée ou au périgée de l'orbite de la cible. Le moment d'allumage est imposé. On allume quand le rayon vert de position du vaisseau est superposé avec le rayon vert en surbrillance

Manuel Axis

On peut choisir manuellement la position du point de rencontre en plaçant le rayon vert en surbrillance

La synchronisation est réalisée si après un certain nombre de tours maximum que l'on peut choisir par LEN; les temps de parcours pour arriver au point de rencontre prévu sont les mêmes pour le vaisseau et pour ISS.

En fin de lancement le vaisseau est proche de son apogée et son périgée peut être faible comme pour la navette. Il vaudra donc mieux allumer vers l'apogée pour créer une intersection en augmentant le périgée

Les figures qui suivent donnent les principaux modes utilisés. Le grand axe de l'orbite du vaisseau avant synchronisation est représenté verticalement.

En bleu, l'orbite du vaisseau avant allumage pour synchronisation. En vert l'orbite du vaisseau après synchronisation. En orange, l'orbite de la cible

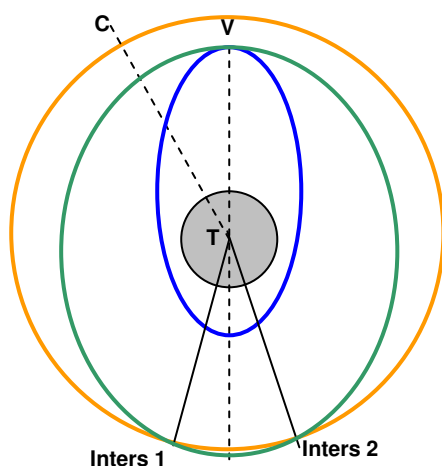
L'échelle des dessins n'est pas bonne et la position et forme des orbites peuvent être un peu différentes en réalité mais ces croquis doivent vous faire comprendre comment ça se passe et vous permettre de réaliser de belles synchronisations !

Rappel !

Si on allume en position prograde en un point, on augmente l'altitude du point opposé (en particulier, allumer à l'apogée en prograde augmente le périgée)

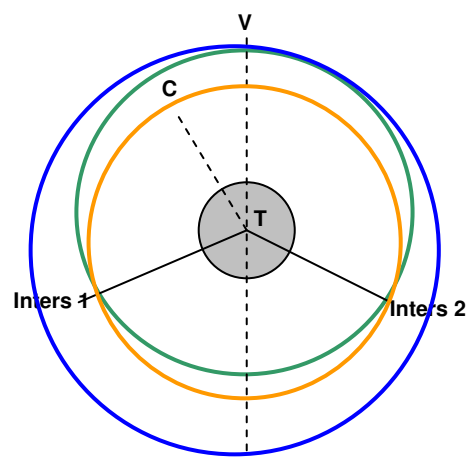
Si on allume en position rétrograde en un point, on diminue l'altitude du point opposé (en particulier, allumer en rétrograde à l'apogée diminue le périgée)

Il faut être prudent quand on choisi une solution avec diminution du périgée car il faut garder une valeur d'au moins 150k pour ne pas risquer d'entrer dans l'atmosphère avec l'orbite synchronisée.



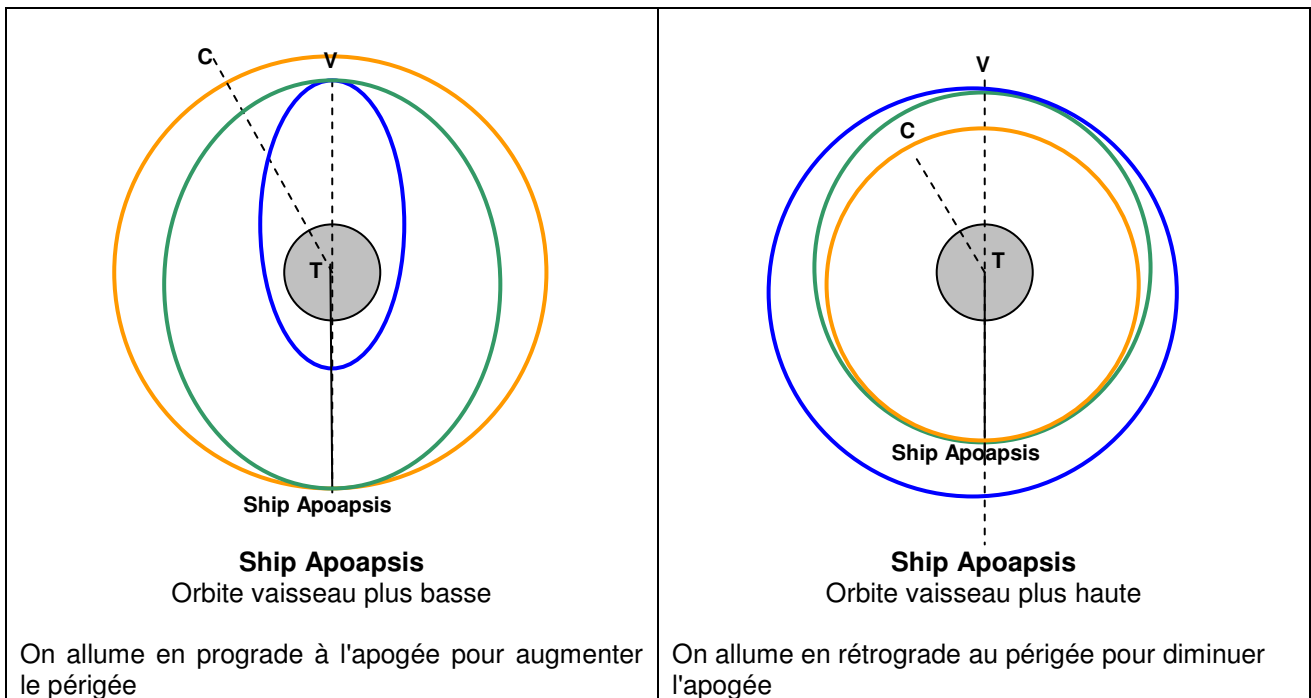
Intersection 1 ou 2
Orbite vaisseau plus basse

On allume en prograde à l'apogée jusqu'à obtenir le point 1 ou le point 2 de synchronisation



Intersection 1 ou 2
Orbite vaisseau plus haute

On allume en rétrograde au périgée jusqu'à obtenir le point 1 ou le point 2 de synchronisation
Il vaut mieux faire varier l'apogée pour ne pas risquer de trop diminuer le périgée



On peut de même faire la rencontre en **Ship Periapsis** si la configuration des orbites le permet comme par exemple dans le cas de l'orbite plus haute du vaisseau.

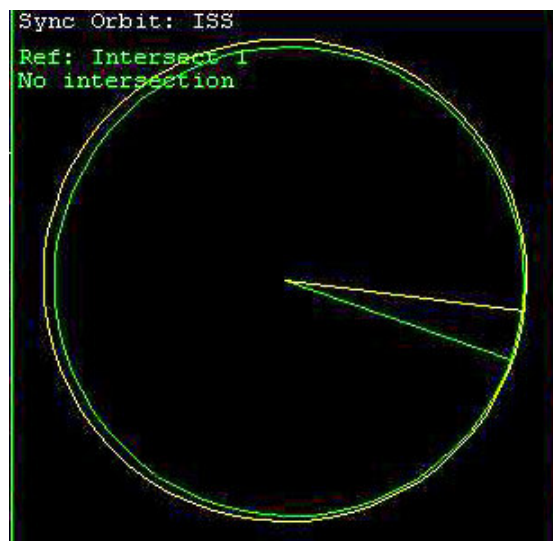
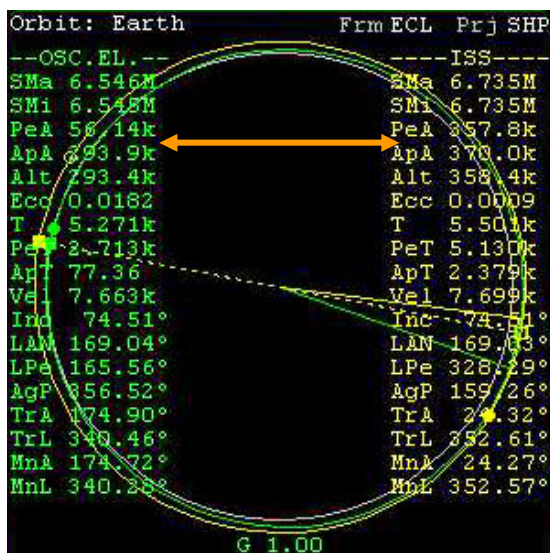
Il est cependant plus prudent de choisir le mode **Ship Apoapsis** pour éviter d'agir sur le periapsis car une réduction pourrait être dangereuse en cas de mauvaise manœuvre.

On peut aussi prendre comme référence l'apoapsis ou le périapsis de l'orbite de la cible en prenant le mode **Tgt Apoapsis** ou **Tgt Periapsis**. mais attention dans ce cas à la valeur du PeA du vaisseau quand on va synchroniser.

Il y a enfin la possibilité de placer manuellement l'axe de référence pour la rencontre (voir notice Orbiter)

4.2 - En pratique

- Ouvrir le MFD Sync Orbit à droite
- Faire TGT et entrer ISS
- Faire LEN et entrer 10 pour se donner un nombre de tours suffisant pour la synchronisation
- Faire MOD et choisir le mode Intersection 1 si ce n'est pas le cas.
- Placer la navette en position **prograde**



On voit sur Sync Orbit qu'il n'y a pas d'intersection des orbites, ce qui est normal si on observe les valeurs des PeA et ApA respectifs sur le MFD Orbit, puisque ni ApA ni PeA pour la navette n'est au moins égal au moins à PeA de ISS)

La navette est pratiquement arrivée à l'Apoapsis de son orbite puisque ApT approche de 0.

En se trouvant en position Prograde il faut faire l'allumage quand ApT est de l'ordre de 30 s pour garder une orbite symétrique jusqu'à ce que le MFD Sync Orbit affiche des valeurs d'intersection et que DTmin soit nul

On peut alors constater sur le MFD Orbit (figure ci-dessous) que pour la navette la valeur de ApA va se situer au moins égale à celle du PeA de ISS donc les orbites se coupent.

De plus la valeur de PeA est sensiblement celle que l'on avait pour ApA au moment de l'allumage et nous pourrons tourner sans crainte de rentrer dans l'atmosphère.

Normalement RInc n'a pas bougé. On peut éventuellement le corriger au prochain point nodal rencontré après la synchronisation.

Les temps avant l'intersection Sh – ToR et Tg-ToR doivent être identiques et la rencontre se fera dans un nombre de tours indiqué dans la colonne Ob



Pour affiner le point de synchronisation, on réduit en final la valeur de DTmin en utilisant le RCS en mode translation en petites impulsions (on peut tenir la touche Ctrl pendant les impulsions pour réduire leur intensité)

Il faut obtenir une valeur de DTmin la plus petite possible et dans les conditions idéales égale à 0 (n'oubliez pas que pour DTmin =1s on a une distance minimum de rencontre de 7400m)

Les données en haut à droite donnent la valeur du temps avant la rencontre et le nombre d'orbites à parcourir (ici un peu plus de 4) En cliquant sur LEN on peut agrandir la liste pour autoriser plus d'orbites si on ne peut pas arriver à avoir DTmin minimum. ou pour réaliser une approche plus progressive.

REMARQUES IMPORTANTES :

- **Accorder beaucoup de soin à régler RInc et DTmin à 0 si possible, la précision de la rencontre va en dépendre**
- **Lorsqu'on obtient une solution en mode Intersection il peut être difficile d'obtenir DTmin proche de zéro car en voulant rectifier on perd l'intersection. Il faut dans ce cas changer de mode pour passer en Ship Apoapsis pour finir le réglage**

- La navette a une inertie importante, Faire les changements de position assez tôt avant le moment d'allumer.
- Opérer l'allumage en douceur en utilisant le RCS en mode translation pour finir les ajustements en utilisant les touches NUM6 et NUM9 en impulsions en tenant CTRL si nécessaire pour plus de sensibilité
- Il est intéressant de prendre LEN=10 pour avoir la meilleure chance de trouver une bonne solution. Il ne faut pas être trop pressé pour ne pas créer une orbite de synchronisation trop elliptique.

En route pour un peu plus de 4 tours ! Vous pouvez accélérer le temps mais pas à plus de 100x sinon vous allez louper votre rendez-vous où il peut y avoir des bugs dus à Orbiter.

Je vous conseille de ne pas dépasser 10x pendant les derniers 100 km avant la rencontre

Le scénario **05 – Synchrone** vous place en fin de manœuvre de synchronisation

5 – APPROCHE DE ISS

5.1 – Choix du dock

Quand on se trouve à moins de 1000 km de ISS dans le dernier tour, repasser en vitesse normale
Nous allons examiner la situation en suçant un caramel et en buvant une bière.

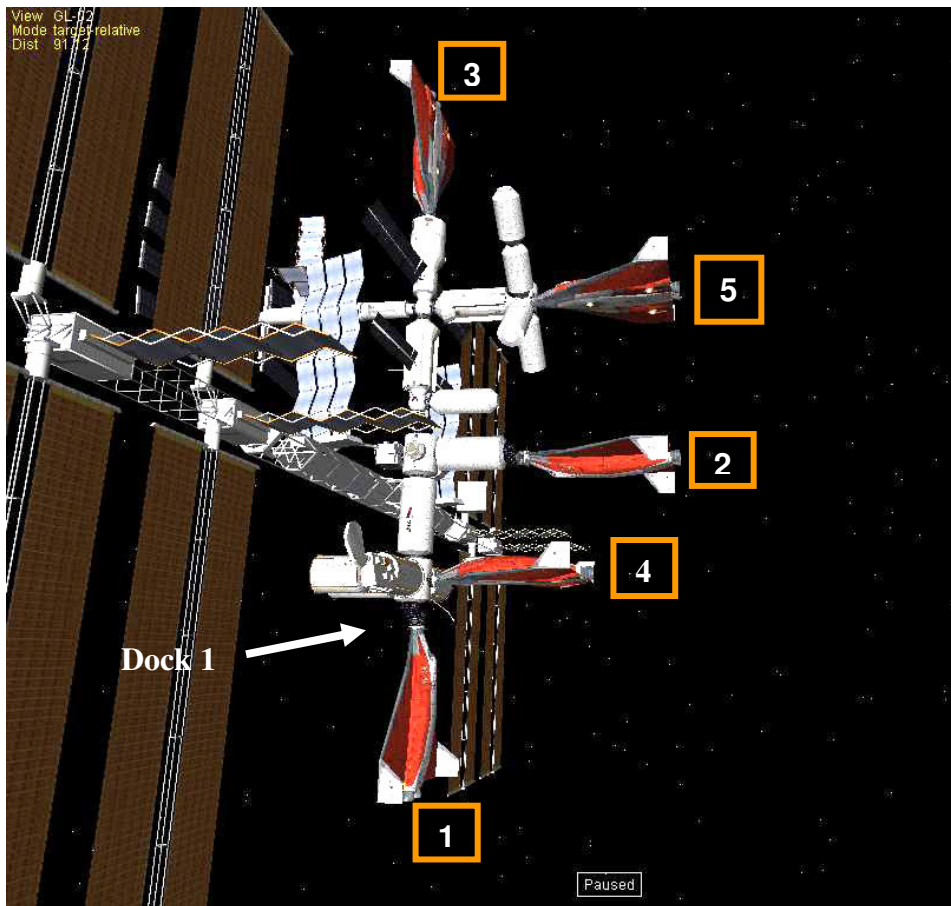
- **Ouvrir le MFD Appr/dock** à gauche
- **Faire TGT** puis choisir d'abord ISS puis le dock que l'on veut utiliser (j'ai pris le 1)
- **Faire HUD** pour afficher la position de ISS et l'information sur le vecteur vitesse (voir plus loin)



DST donne la distance nous séparant de ISS

CVEL est la différence de vitesse relative entre ISS et notre vaisseau.

Si la barre est jaune on se rapproche positive, si elle est verte, on s'éloigne



Cinq possibilités pour l'arrimage avec pour fréquences de IDS

Dock 1 137,40 kHz

Dock 2 137,30 kHz

Dock 3 137,20 kHz

Dock 4 137,10 kHz

Dock 5 137,00 kHz

On peut choisir le dock qui convient le mieux au moment de l'approche à condition bien sûr qu'il soit libre

Portée standard pour IDS = 100 km

Attention ! Penser que la navette a son sas sur le dessus

La portée standard d'un IDS est de 100 km ce qu'on retrouve dans les scénarios sous la forme

IDS 0:588 100 1:586 100 2:584 100 3:582 100 4:580 100

Les nombres 588, 586...donnent la fréquence affectée à chaque IDS en utilisant la formule
Fréquence = 108 + le nombre x 0,05

Par exemple pour IDS 0 la fréquence = $108 + (588 \times 0,05) = 137.40$ kHz

Par défaut Orbiter crée cette ligne lors d'une sauvegarde

5.2 – Affichage sur le HUD



Trois éléments servent à l'approche

- Le pointeur de direction donnant la direction de l'axe longitudinal de la navette (V inversé)
- Le carré de position de ISS et sa distance
- Le triangle V (ISS) donnant la direction dans laquelle se trouve le vecteur vitesse relatif de ISS et sa valeur.

Il faut bien comprendre ce que signifie V (ISS). Je vais essayer de l'expliquer simplement.

Si nous arrivons en approche sur une orbite plus basse comme dans notre cas, nous allons plus vite que ISS en raison des lois de la mécanique spatiale (plus la distance à la planète est faible et plus la vitesse est grande)

Il faudra qu'en arrivant près de ISS nous soyons à la même vitesse que la sienne et dans la même direction si nous voulons être sensiblement sur la même orbite.

Il faut donc progressivement diminuer notre vitesse pour qu'au moment de la rencontre, l'écart de vitesse relatif (vitesse de l'objectif - notre vitesse) repérer CVEL soit nul tout en restant dans sa direction.

Si au contraire nous arrivons en approche sur une orbite plus haute, nous allons moins vite que ISS en raison des lois de la mécanique spatiale.

Il faut donc progressivement augmenter notre vitesse pour qu'au moment de la rencontre, l'écart de vitesse relatif repéré CVEL (vitesse de l'objectif - notre vitesse) soit nul tout en restant dans sa direction.

C'est comme si on veut rattraper quelqu'un qui passe devant nous en courant. Nous devons courir plus vite en restant dirigé vers lui et lorsque nous le rejoignons, pour rester près de lui nous devons régler notre vitesse sur la sienne et progresser dans la même direction.

Bien sûr si c'est lui qui nous rattrape, nous allons devoir courir plus vite pour qu'il ne nous dépasse pas.

Pour nous aider à faire cette modification de vitesse, Orbiter présente deux marqueurs particuliers V (ISS) qui vont nous indiquer à un instant donné la direction du vecteur représentant la différence de vitesse et sa valeur. Ceci nous permettra d'orienter le vaisseau en fonction du moteur que nous voulons utiliser pour agir sur CVEL (moteur principal arrière ou rétro fusées)

Si on ne les voit pas, on trouve successivement ces marqueurs en tournant la navette pour aller dans la direction indiquée par le triangle V(ISS)



Pour faciliter la manœuvre il est bon d'effectuer s'il le faut une rotation de la navette sur son axe longitudinal en utilisant le RCS en rotation (touches NUM 4 et 6) de façon à avoir une représentation horizontale comme ci-dessus. On obtient aussi ce résultat en la plaçant en mode prograde (touche ^)

La croix donne la direction et la valeur du vecteur vitesse relatif dans le sens prograde par rapport à ISS (on est orienté vers elle)

La croix dans un rond donne la direction et la valeur du vecteur vitesse relatif dans le sens rétrograde par rapport à ISS (on lui tourne le dos)

Le signe précédant V (ISS) nous dit suivant le cas comment nous devons allumer nos moteurs pour annuler CVEL après avoir centré notre marqueur de direction (V inversé) sur une croix.

La règle est la suivante :

- si V (ISS) est négatif il faut allumer les rétrofusées (avec la navette on utilise RCS en linéaire)
- si V (ISS) est positif il faut allumer le moteur principal

5.3 – Opérations d'approche

Si vous avez compris tout ça, vous serez un roi de l'approche et ISS sera votre maison de week-end ! Nous allons mettre la théorie en pratique en partant du moment où nous avons synchronisé..

Si vous avez réglé RInc et DTmin à une valeur proche de 0 (0.02 max ce qui est facile avec un peu de soin) la première chose à faire est de ne rien faire et d'attendre d'être arrivé dans le dernier tour de l'approche de la station que nous signale le MFD Sync Orbit quand les valeurs Sh-ToR et TgT-ToR sont illuminées en jaune sur la ligne 0.

Vous pouvez accélérer le temps jusqu'à l'entrée dans le dernier tour ou en profiter pour prendre le thé, puisque vous avez environ 6,8 heures devant vous.

Il est inutile de faire des corrections trop loin de l'arrivée.

Voilà l'approche en quelques images en partant du début du dernier tour. Sur chaque image, j'ai regroupé les MFD et ce qui apparaît sur le HUD en se centrant sur ISS

1 – ISS est à un peu plus de 300 km.

Le marqueur V(ISS) n'est pas en vue ce qui est normal puisque notre vecteur vitesse ne pointe pas encore vers ISS. Il s'en rapprochera à plus courte distance.

DTmin et RInc sont restés à 0 tout est correct. CVEL est positif, nous sommes en approche



2 – ISS est à 100 km

CVEL est toujours positif. Nous commençons la phase finale d'approche.

Le marqueur V(ISS) direction prograde est en vue et se rapproche du carré ISS



A partir de cette distance on va surveiller attentivement la distance DST par rapport à l'objectif et la différence de vitesse CVEL entre l'objectif et notre vaisseau. Elle doit décroître normalement.

Si l'échelle est en jaune on se rapproche, si elle est en vert on s'éloigne.

C'est CVEL qu'il va falloir rendre égal à 0 lorsqu'on se trouvera à une centaine de mètres de la station.

En effet si CVEL est très proche de 0, la vitesse de la cible et la notre sont pratiquement identiques et d'après les lois de la mécanique on se trouve sur la même orbite.

Il ne faudra pas que CVEL soit trop grand en approche pour qu'on puisse ralentir à temps et il ne faudra pas non plus le laisser devenir négatif

3 – ISS est à 50 km

Le marqueur vitesse progade (croix seule) continue à se rapprocher de la station

La valeur $-V(ISS)$ indique que si on pointe notre pointeur de direction sur lui on pourra diminuer CVEL en utilisant une poussée rétro (RCS linéaire, touche NUM 9)

CVEL = 72.75 en diminution ce qui est normal puisqu'on se rapproche du point de rencontre et que la vitesse de la navette va tendre vers celle de ISS.



Quand et comment ralentir ?

Il faudra diminuer l'écart relatif de vitesse CVEL avant d'arriver près de ISS et il ne faudra pas s'y prendre trop tard en raison de l'inertie de la navette et surtout de la faiblesse de ses moteurs RCS de translation si on compte les utiliser.

Il ne faut pas non plus le faire trop tôt sous peine de ne pas pouvoir rejoindre ISS et d'être obligé d'accélérer à nouveau.

Commencer à surveiller CVEL à partir de 100 km

L'annulation de CVEL est à coup sûr la partie la plus délicate de l'approche. Vous ne vous vanterez pas de vos approches si vous n'êtes pas rigoureux et vous froisserez de la tôle !!!

Comme toujours c'est l'expérience qui vous guidera et pour cette raison il faut s'entraîner.

On peut retenir la règle suivante pour s'aider:

Pour DST compris entre 100k et 20k, vérifier que CVEL décroît et reste inférieur à 2xDST sinon corriger de temps en temps pour le maintenir à cette valeur maximum

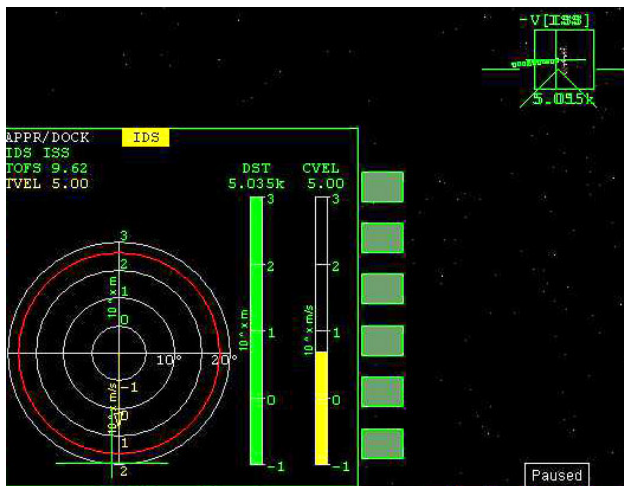
Pour DST compris entre 20k et 2k régler CVEL pour qu'il reste inférieur à 1.5xDST

A partir de DSL= 2k réduire progressivement CVEL pour avoir CVEL=2 à 1k puis =1 à 500m

Quand DST approche 60m, réduire CVEL pour qu'il devienne nul. On doit alors se trouver à DST=50m environ

On procédera par impulsions plus ou moins prolongées en RCS linéaire pour que la croix reste bien placée par rapport au carré et pour régler CVEL

4 – ISS est à 5 km



Le marqueur V (ISS) est centré et CVEL à la valeur de DST

Il faut remarquer que plus on approche, plus l'action du RCS en translation peut être brutale pour le déplacement du marqueur -V (ISS). On peut alors procéder en petites impulsions sur les touches NUM 1/3/2/8 et si on tient en même temps la touche CTRL on amorti l'action.

Attention, ne pas laisser CVEL devenir négatif ! S'il le faut, agir avec NUM 6 pour redonner de la vitesse

5 – Approche finale

Il faut être très attentif à la diminution de CVEL. Rien n'est plus rageant que de passer à côté de ISS sans pouvoir s'arrêter à sa hauteur même en se mettant debout sur la pédale de frein !

Si on a bien réglé à 0 ou presque DTmin et RInc il n'y a pas de problème majeur pour la rencontre sauf celui de la vitesse d'approche qu'il faut contrôler pour ne pas "dépasser"

Aller-retour Terre-ISS avec la navette



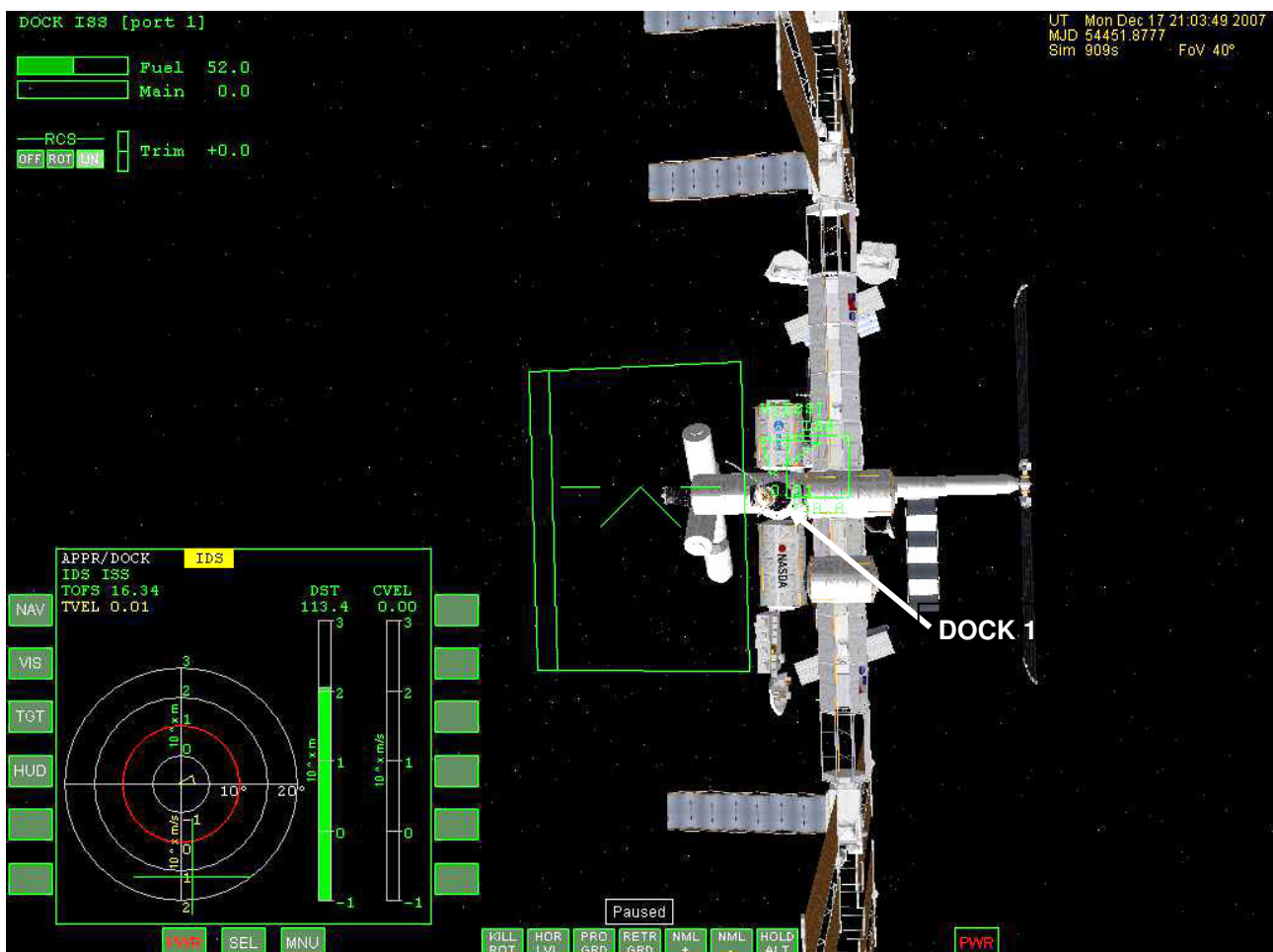
La station est à 500 m et CVEL réduit à 0,56 pour une approche prudente

Quand on se trouve proche, il faut utiliser les touches de translation pour se diriger le mieux possible vers l'axe du dock choisi pour l'arrimage. Cet axe est indiqué par les fenêtres de guidage.

Il est bon de placer le marqueur V(ISS) et le pointeur de direction entre l'avant dernière et la dernière fenêtre de guidage de l'IDS pour ne pas se stabiliser trop près des panneaux solaires.

On peut poursuivre l'approche jusqu'à la dernière fenêtre ce qui nous placera à peu près dans l'axe du dock à 100 m

Il faut annuler CVEL quand DST est compris entre 100m et 50m. Le plus près est le mieux pour la stabilité de position par rapport à ISS mais attention aux panneaux solaires à moins de 50m !



Nous sommes arrivé et stabilisé (CVEL=0) à 100 m de la station et presque dans l'axe du dock.
Il ne reste plus qu'à réaliser l'arrimage.

Penser à ouvrir la soute avant de réaliser l'arrimage (touche K)

Les scénarios

06 - Approche 100 km

07 – Approche 50 km

08 – Approche 33 km

09 – Approche 5 km

10 – Approche 500 m

11 – Approche 100 m

vous placent en des points intéressants pour tester l'approche de ISS et l'arrimage

Nota : Quand vous chargez ces scénarios, il faut refaire TGT puis ISS et choisir le dock pour réactualiser le MFD Docking. Mystère d'Orbiter oblige !

Un dernier mot.

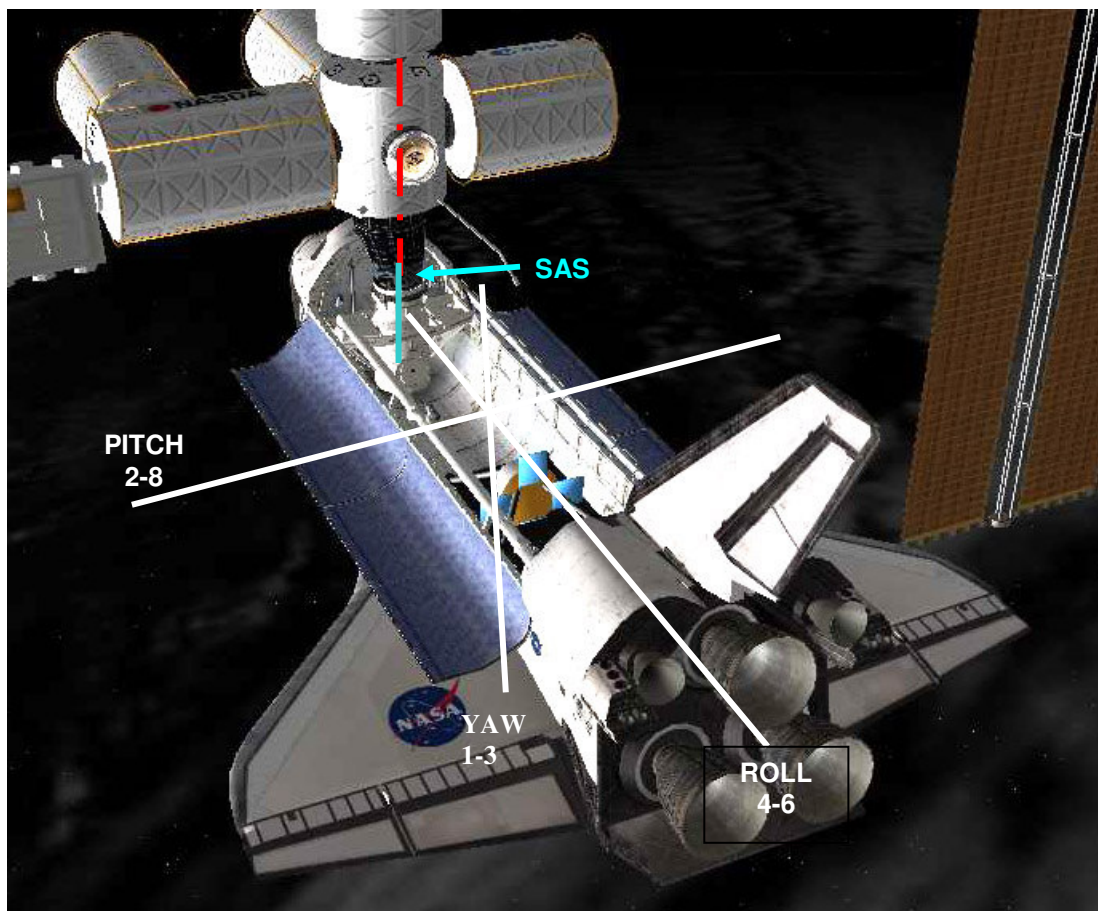
Il est possible de faire les phases d'approche en accélérant à 10x voir 100x avec un peu d'expérience mais il faut être prudent pour ne pas risquer une mauvaise manœuvre. Il vaut mieux être patient surtout dans la phase d'approche à moins de 50 km.

6 – ARRIMAGE

C'est une manœuvre assez délicate à réaliser du fait que la navette à son sas sur le dessus et qu'on ne voit pas ISS pour l'approche finale. De plus la navette a une assez grande inertie.

Les commandes des déplacements en translation relatifs au sas ne seront pas les mêmes que pour un DG qui a son sas à l'avant.

Pas de panique, on va s'en sortir !



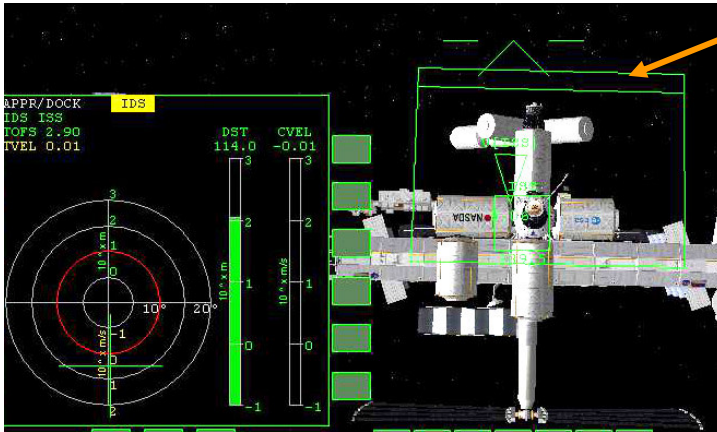
On voit que :

- Pour rendre parallèle l'axe du DOCK en rouge avec l'axe du sas de la navette en bleu il faut agir en **mode rotation** sur les touches NUM 2-8 et 4-6
- Pour faire tourner la navette autour de l'axe de son sas, il faut agir en **mode rotation** sur les touches NUM 1-3
- Pour déplacer l'axe du sas par rapport au DOCK, il faut agir en **mode translation** sur les touches NUM 4-6 et 2-8

Tout est clair ? OK on va y aller pour la dernière phase

- **La première chose à faire est d'ouvrir la soute en actionnant la touche K. N'oubliez pas !**
- Pendant que la soute manœuvre vérifier que le MFD Appr Dock a bien ISS,dock 1 comme TGT

6.1 – Placement de l'axe de la navette dans l'axe du dock



La fenêtre d'approche de IDS nous fournit un premier élément.

Il faut avoir les deux barres horizontales en haut pour être dans le bon sens pour le verrouillage. Nous allons faire pivoter la navette sur son axe longitudinal pour nous placer correctement avec NUM 4/6

On peut faire cette rotation à la phase suivante mais le faire maintenant facilite la suite de la manœuvre.

Si on ne se trouve pas bien axé par rapport au dock, on peut d'abord manœuvrer la navette en mode rotation pour apercevoir le Dock.

En utilisant des petites impulsions en mode translation on peut se positionner à peu près dans l'axe du dock comme sur la vue ci-dessus.

Ce placement n'a pas besoin d'être extrêmement rigoureux

6.2 - Placement de l'axe du sas de la navette dans l'axe du dock de ISS

L'arrimage peut être réalisé "à vue" en se plaçant en vue extérieure mais il vaut mieux utiliser les instruments en jetant des coups d'œil en vue extérieure pour s'aider si on en sent le besoin.

Nous sommes à peu près dans l'axe, mais le sas est sur le dos de la navette. Il faut la faire pivoter de 90° sur l'avant en utilisant la touche NUM 8. Cette manœuvre doit faire apparaître la croix rouge sur le MFD APPR/DOCK.

Rappel

- Le grand X rouge doit être centré en mode rotation pour que les axes du dock et du sas soient parallèles (mais pas forcément confondus) en utilisant les touches NUM 8-2 et 4-6
- Quand le X est centré il devient blanc et un petit triangle rouge apparaît sur le cercle extérieur. En utilisant les touches NUM 1-3 en mode rotation il faut l'amener en haut pour qu'il devienne blanc. Eventuellement le triangle peut être placé en bas et rester rouge si ça facilite le placement du fait de notre sens d'arrivée (jeter un coup d'œil en vue extérieure avec F1) Dans ce cas la navette se positionne en sens inverse de la position précédente (elle pivote de 180° sur son axe Yaw)
- La grande croix + verte doit être centrée en mode translation les touches NUM 6-9 (haut-bas) et les touches NUM 1-3 (gauche-droite)
- La flèche jaune au centre de la mire doit être orientée vers le centre de la croix verte pour la ramener vers le centre de la mire
Sa grandeur donne la vitesse de déplacement que l'on doit réduire puis annuler quand on approche du centre. Il est utile d'utiliser la touche CTRL en même temps que les touches numériques de translation pour appliquer des petites poussées
- Les touches NUM 2-8 permettront en mode translation de se rapprocher ou de s'éloigner du DOCK dans le sens vertical

Nous sommes stabilisé et placé à peu près avec l'axe de notre sas orienté vers le dock de ISS



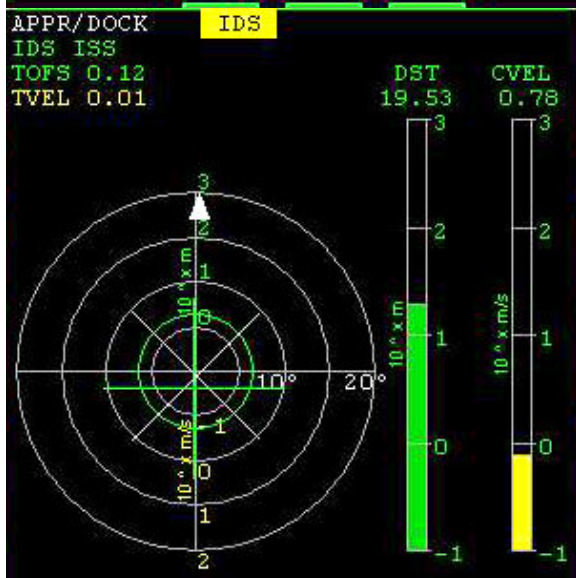
La première chose à faire est de centrer la croix rouge X pour qu'elle devienne blanche

Ensuite il faut placer le triangle rouge en haut en utilisant les touches NUM 1-3 jusqu'à ce qu'il devienne blanc (il peut aussi être placé en bas et rester rouge)

Ceci a pour effet d'orienter la navette dans une bonne position sur l'axe du DOCK, disposée de façon à ne pas heurter les panneaux solaires

Le cercle rouge est le cône d'approche. Son diamètre dépend de la distance à laquelle on se trouve par rapport au DOCK. Plus il est petit, plus on est près.

Le jeu va consister à amener et maintenir la croix verte dans le cercle en utilisant les touches NUM1-3 et NUM 6-9 et à avoir CVEL un peu positif. Le cercle d'approche devient vert quand la croix + est à l'intérieur

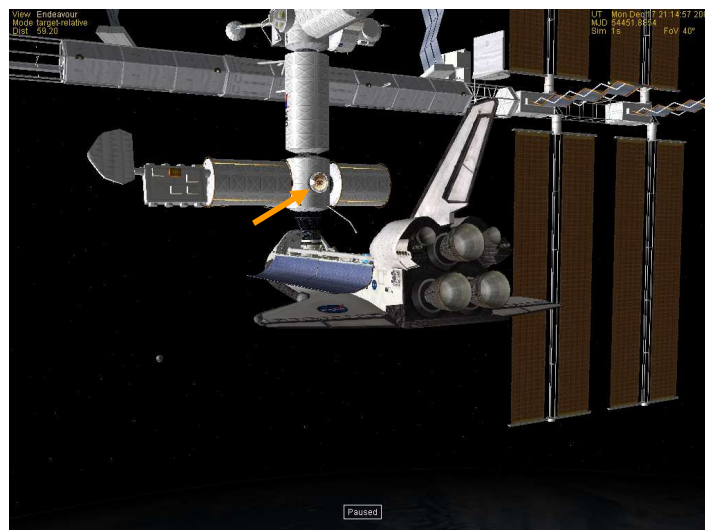


En même temps on agit sur les touches NUM 2-8 pour se rapprocher du DOCK.

Le diamètre du cercle diminue en approche car il représente la section d'un cône d'erreur dont la pointe est le dock. Il faut rester dans ce cône pour réussir l'arrimage.

Si $DST = 0.5$ et $CVEL < 1$ et si le cercle d'approche est vert, l'opération d'arrimage est réussie, le MFD affiche DOCKED et on entend le bruit des verrous.

C'est l'extase et le premier message sur le forum pour annoncer sa réussite ☺



La Terre est magnifique vue d'ici.

Il est temps de passer dans ISS pour faire un brin de toilette et une petite sieste

**Le scénario 12 – Dock nous place docké à ISS
Il nous reste un peu plus de 51% de carburant**

7– POSE DU SATELLITE ET SORTIE (OPTIONNEL)

7.1 – Pose du satellite

Comme la soute est ouverte nous allons en profiter pour déposer notre satellite sur une orbite proche de ISS. C'est un peu bizarre mais c'est pour se distraire un peu.

Vous pouvez aussi si vous voulez simuler les opérations faites au montage de ISS, laisser la navette arrimée et à l'aide du bras déplacer le satellite pour venir l'appliquer sur le module repéré par la flèche sur la photo au dessus comme si c'était un élément à fixer

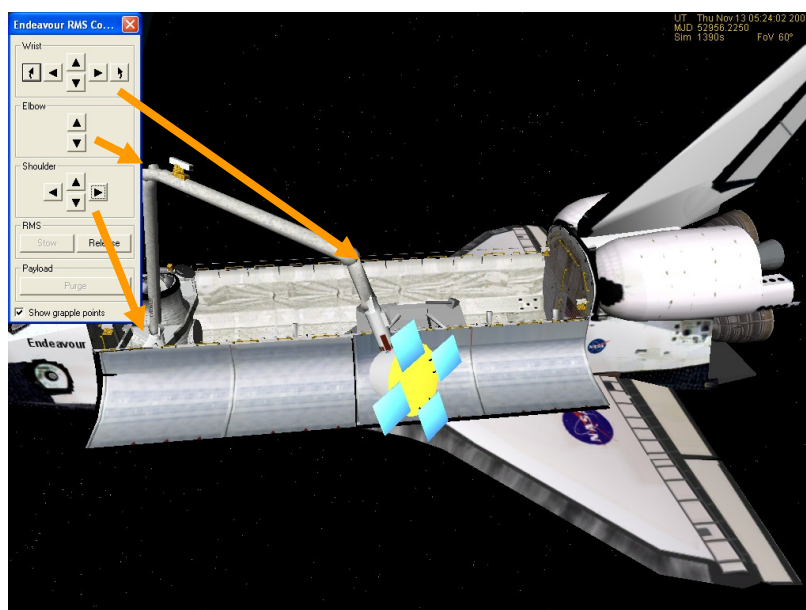
- **CTRL + D pour quitter le DOCK**

En mode translation, s'éloigner à la verticale du sas de ISS à une distance d'une cinquantaine de mètres en utilisant les touches 8 et 2 et stabiliser à peu près à cette distance

Pour pouvoir manœuvrer le bras il faut faire d'abord CTRL + X et attendre que le bras ait pivoté sur sa rotule inférieure, ensuite faire CTRL + ESPACE ouvre le tableau de manœuvre du bras

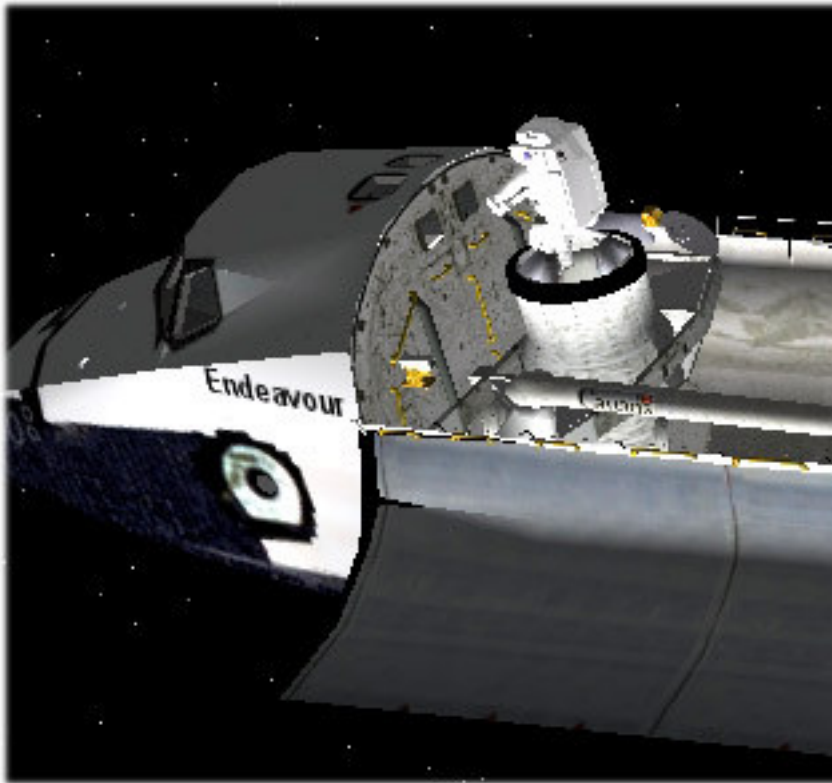
A l'aide du bras, prendre le satellite et le déposer sur le côté de la navette

- Le bras se manipule comme le votre en jouant avec l'épaule (Shoulder) le coude (Elbow) et le poignet (Whist)
- Quand on a sélectionné à la souris une touche de mouvement, on peut l'exécuter en appuyant ensuite sur la barre d'espace ou en maintenant le clic.
- On agrippe le satellite au point repéré en rouge si on active Show Grapple Points en amenant le bout du bras sur ce point et en activant Grapple dans le cadre RMS.
- La touche Grapple se change en Release pour larguer le satellite ultérieurement
- La touche Stow dans le cadre RMS permet de ranger automatiquement le bras.
- **Ne pas oublier de faire CTRL+X en fin de rangement** sinon on ne peut pas refermer la soute.
- La touche Purge dans la cadre Payload permet de larguer directement le satellite sans le manipuler. On peut faire de même en appuyant sur la touche J



7.2 – Sortie

Pour voir si tout est OK avant la descente nous pouvons faire une sortie.



La touche E permet de faire sortir le cosmonaute dont on prend le contrôle en sélectionnant Endeavour-MMU dans le tableau ouvert par la touche F3

Ensuite on le déplace en mode translation ou rotation par les touches du clavier numérique

Il est amusant d'aller voir si les moteurs vont bien par exemple

Après la balade il faut ramener le cosmonaute dans la position où il se trouvait à sa sortie et le faire descendre doucement dans le sas

Si la position est bonne en appuyant sur E on se retrouve aux commandes de la navette

Il est temps de fermer la soute par la touche K de boire une boisson fraîche et de se préparer à rentrer

Suggestion :

Pour l'entraînement aux manœuvres de la navette vous pouvez aussi vous amuser à la changer de dock d'arrimage

8– PREPARATION DU RETOUR

8.1 – Principe du retour

La séquence de rentrée théorique est la suivante :

- On attend que la trajectoire de la navette passe près du site d'atterrissage
- En un point opposé au site d'atterrissage à environ 18000km de l'arrivée on tourne la navette dans le sens rétrograde
- On allume le moteur pour réduire la vitesse de 100 m/s ce qui va amorcer la descente
- On se replace dans le sens Prograde
- Trente minutes plus tard on se trouve vers 120 km d'altitude et le ralentissement commence doucement avec une décélération de 1,5G au maximum. Les liaisons radio sont coupées
- On contrôle l'approche en pente et en direction pour que la trajectoire passe au plus près du site prévu
- A 24 km d'altitude on pilote au manche comme un avion pour l'atterrissage. Les liaisons radio sont rétablies

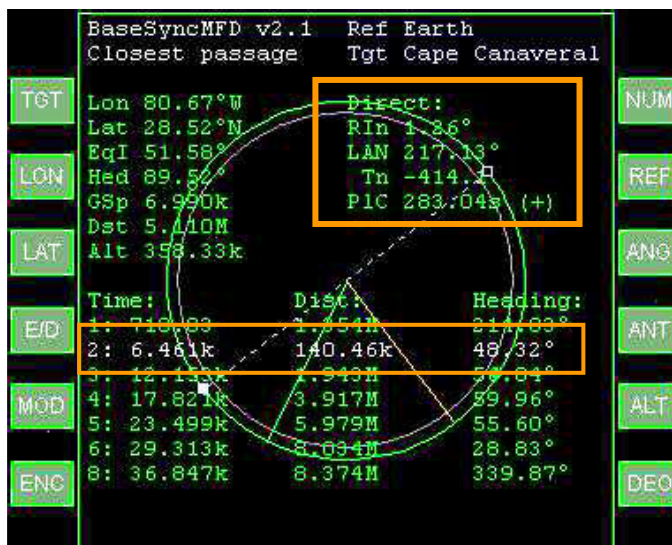
Nous allons tenter de réaliser au mieux cette séquence en nous aidant de BaseSynchroMFD de Jarmo Nikkanen qui va nous simplifier un peu la tâche (il est possible de s'en passer et de n'utiliser que les MFD Map et Orbit mais c'est plus difficile)

8.2 – Principe d'utilisation de BaseSynchroMFD

Ce MFD permet de se synchroniser avec une base définie comme objectif ou un point quelconque défini par sa latitude et sa longitude.

Il comprend un module de synchronisation et un module de dé-orbitation

Module de synchronisation



TGT	Désignation de l'objectif par son nom
LON/LAT	Désignation de l'objectif par ses coordonnées
E/D	Commutation du mode d'ajustement de l'inclinaison:équatorial ou direct
MOD	Affichage avec ou sans les données
ENC	Commutation entre les différents modes de rencontre
NUM	Choix du nombre de tours affichés. Il y en a 8 par défaut.
REF	Planète de référence
ANG	Choix de l'angle de rentrée
ANT	Choix de l'angle d'anticipation
DEO	Commutation entre les 2 modules

La ligne jaune et le texte en jaune donnent la position du point de passage le plus proche, le temps Time pour l'atteindre et la distance Dist qui en sépare à ce moment.

Les autres possibilités sur 8 orbites (par défaut) sont présentées en vert

RIn donne l'inclinaison relative de l'orbite

PIC donne la position + (Normal +) ou - (Normal -) ainsi que le moment d'allumage Tn pour la corriger. Le temps inscrit après PIC est le temps d'allumage

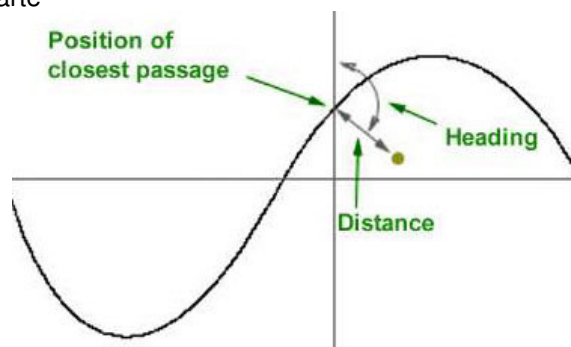
EqI est l'angle de l'orbite du vaisseau avec l'équateur.

Hed est le cap vers la base

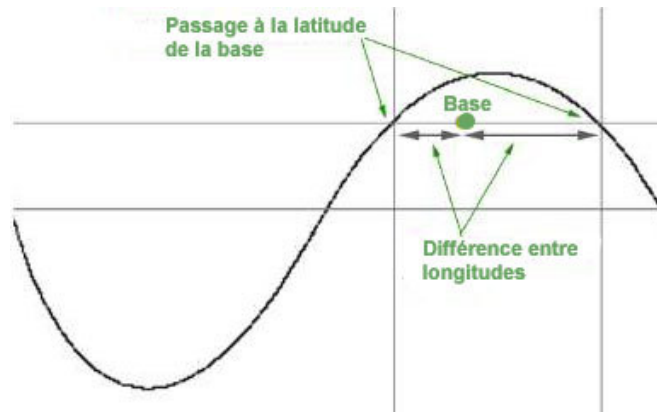
Alt est l'altitude mesurée théorique au point atteint sur la ligne jaune (en l'absence d'atmosphère)

Mode de rencontre fait avec ENC

- **Closest Passage** (Passage au plus près) donne le point de passage sur l'orbite qui est le moins éloigné de l'objectif avec le cap (Heading) de l'objectif par rapport à ce point. Le cap est défini par rapport au nord de la carte



- **Latitude** donne les deux points de passage où l'orbite coupe la latitude de l'objectif (la ligne horizontale passant par l'objectif) et la différence de longitude entre ces points et l'objectif. La différence peut être augmentée en allumant en prograde au point pointé par la ligne jaune et diminuée en allumant en rétrograde



- **Apoapsis/Periapsis** la distance du vaisseau par rapport à l'objectif lorsqu'il est à l'Apoapsis ou au Periapsis de son orbite

L'altitude n'entre pas en ligne de compte dans le calcul de la distance.

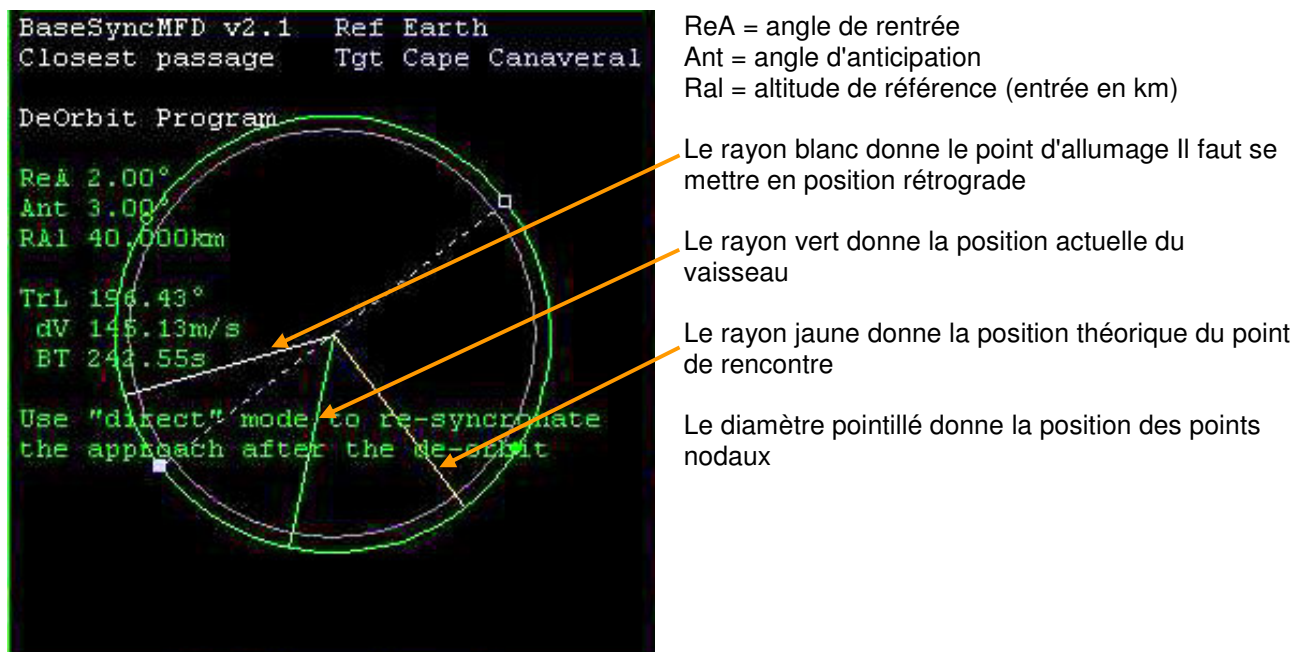
On utilisera **Closest Passage** qui convient à notre manoeuvre

Module De-Orbit

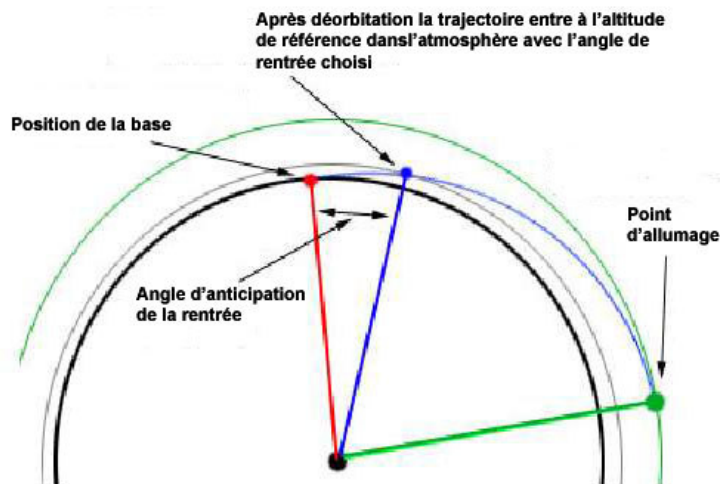
Ce module peut être utilisé après avoir fait la synchronisation. Il est préférable d'utiliser le mode Closest passage pour cela

Pour que le fonctionnement soit bon il faut avoir une orbite proche du cercle et assez basse.

Le programme calcule le point d'allumage avec sa longitude vraie TrL et donne le temps d'allumage BT



Après dé-orbitation comme la vitesse du vaisseau a changée, la synchronisation peut ne plus être correcte et il faudra dans ce cas revenir en mode synchronisation pour réajuster. Un texte vous le rappelle.



L' angle **Ant** d'anticipation de la rentrée va permettre de régler le temps pendant lequel le vaisseau va être soumis au ralentissement par l'atmosphère.

Il faut trouver une valeur appropriée pour pouvoir atteindre l'objectif compte tenu de la densité de l'atmosphère.

Nous verrons dans la suite quelles sont les meilleures valeurs pour Ant, ReA et Alt en utilisant la navette

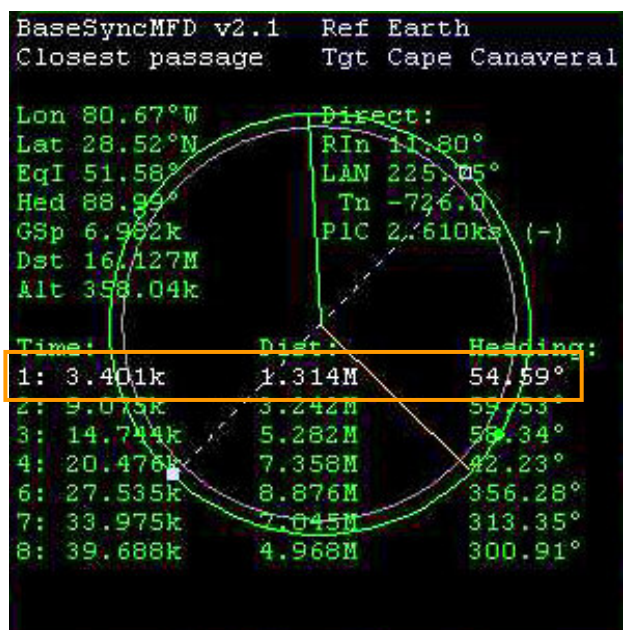
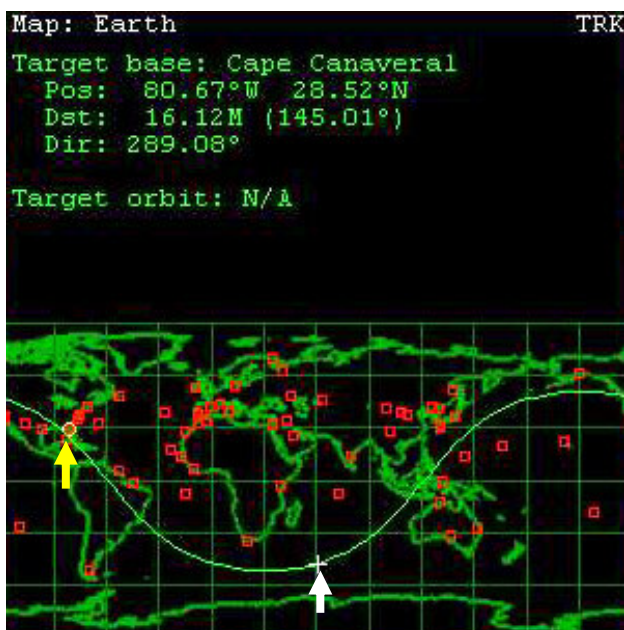
La suite va mieux nous faire comprendre ce qu'il faut faire

8.3 – Recherche de la solution pour dé-orbiter

Quelque soit la manière de procéder (rentrée manuelle ou automatique) il faut d'abord chercher le moment propice pour réaliser l'allumage de dé-orbitation qui se fera en position rétrograde.

Nous allons repartir du scénario **12– Dock** pour la suite du tutorial.

- Ouvrir le MFD Map avec TGT = Cape Canaveral
- Ouvrir le MFD BaseSync
- Faire DEO si nécessaire pour être en mode synchro
- Faire ENC si nécessaire pour être en mode Closest passage
- Faire TGT puis entrer Cape Canaveral comme objectif
- Faire TGT puis entrer Cape Canaveral comme objectif
- Faire E/D si nécessaire pour passer en mode direct



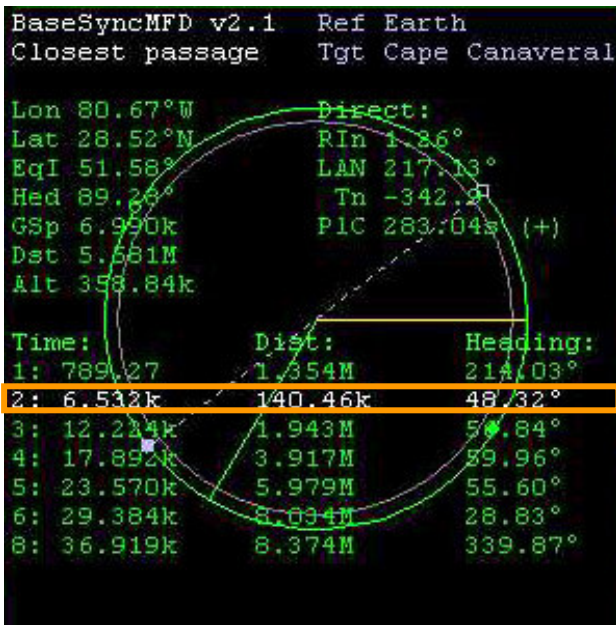
Comme on peut voir sur la Map notre orbite ne passe pas bien loin de la base (repère flèche jaune), il faut dire que c'est le hasard, mais on voit surtout sur BaseSync que le prochain passage le plus proche se fera dans 3401 s à une distance de 1314 km et cette distance augmente dans les tours suivants (rappelons que

les temps sont donnés en secondes et les distances en mètres et que k est un coefficient multiplicateur par 1000 et M par 1000000)

Il va falloir accomplir un certain nombre de rotations pour que notre orbite passe au plus près de la base. Il faut être patient pour avoir une bonne fenêtre de rentrée donnant une distance inférieure à 200 km si possible. On peut admettre un peu plus, mais le moins est le mieux. On peut avoir besoin de plusieurs jours à raison d'environ 15 tours par jour. Ca donne le tournis !

Nous nous désarrimerons au bon moment et en attendant le Capitaine Papyref va prendre un pot au bar de ISS.

Pendant que je consomme au bar, BaseSync va vous aider à choisir le meilleur instant de dé-orbitation. Il suffit de faire tourner et de surveiller la distance minimum qui apparaît en surbrillance dans le tableau Time en bas du MFD jusqu'à obtenir une valeur assez faible.



Le module BaseSync nous donne ici après une trentaine d'orbites une distance de 140 km au plus près de la base dans 6532 secondes à partir de notre position (tour suivant)

Notre inclinaison relative RIn est de 1.86° et il faut allumer en mode NORMAL+ pendant PIC =283 s si on veut la corriger (voir ci-dessous)

La navette utilise à peu près 1% de carburant toutes les 10 s et nous n'avons qu'environ 50 %. Il faut prévoir entre 3 et 4 mn pour déorbiter ce qui nécessite 24% (pour 4 mn).

Nous tableons sur 30% pour garder une marge. Ceci nous laisse 50 - 30 = 20 % pour corriger RIn nous donnant un temps de combustion maximum de 200 s.

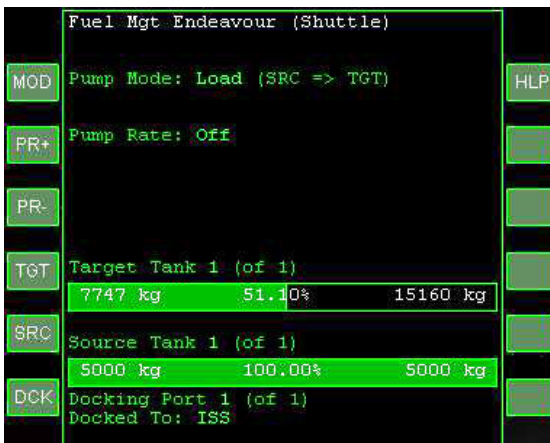
Comme on va le voir, il est possible de reprendre du carburant si on pense être juste.

En principe, il vaut mieux faire une correction de RIn et rendre l'orbite circulaire mais si on a pas trop d'excentricité et de RIn on peut à la limite s'en passer car on corrigera l'écart de distance par les manœuvres d'entrée dans l'atmosphère.

Comment reprendre du carburant avant la descente ?

Si on en a besoin, il y a un moyen de reprendre du carburant quand on est docké à ISS grâce au module FuelMFD inclus dans le package ShuttleFleet.

- Activer le module FuelMFD dans le LaunchPad
- Sélectionner et ouvrir le module Fuel Management dans un MFD



La touche MOD permet le transfert de ISS vers la navette en mode Load

Les touches PR+ et PR- permettent de régler la puissance de pompage

Les échelles donnent les niveaux de remplissage.

Inutile d'en prendre plus qu'il n'en faut pour alourdir inutilement la navette.

Il est vrai que plus il y a de carburant, plus le feu d'artifice sera beau en loupant la rentrée ☺

Nous avons synchronisé et vérifié le carburant, nous pouvons entamer la phase du retour soit en automatique (facile il n'y a qu'à regarder) soit en manuel (beaucoup moins facile !)

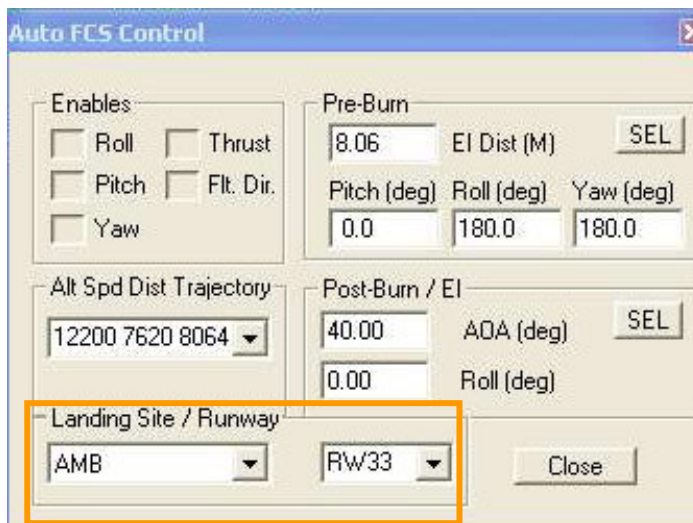
Pour vous faire gagner du temps le scénario 13 – Avant descente vous place avant de commencer la dernière orbite

9 – RETOUR AUTOMATIQUE

Il faut utiliser le module AutoFCS qui est inclus dans le package ShuttleFleet

Activer le module AutoFCS dans l'onglet module du Launchpad sinon il n'est pas opérationnel
Le module s'ouvre en sélectionnant AutoFCS dans la liste des fonctions ouverte avec CTRL+F4

Présentation de AutoFCS



Il faut spécifier quel site d'atterrissage doit être utilisé et quelle piste (s'il y en a plusieurs) en choisissant dans la fenêtre déroulante Landing site/Runway

Choisissez KSC et RW33 pour atterrir sur la grande piste de Cape Canaveral.

L'abréviation à 3 lettres correspond au site choisi lorsqu'on fait TGT dans le MFD Plan (voir en fin de liste des Spaceports)

SEL lance le programme

Rappel : Ctrl+I permet de voir quelles sont les caractéristiques d'un site (cap et longueur des pistes, fréquence ILS et VOR)

La fenêtre Enables comporte 4 switches pour sélectionner l'action des RCS et du moteur et un switch Flt Dir pour être sous dépendance ou non du programme automatique. A laisser normalement enfoncés.

La fenêtre PreBurn présente les valeurs prises en compte pour la position en dé-orbitation. (en particulier, Yaw=180° pour la position rétrograde et Pitch=0 pour un angle d'attaque nul)
 EI est la distance du point d'entrée jusqu'à la cible en millions de mètres

La fenêtre 'Alt Spd Dist Trajectory' affiche les valeurs au point d'entrée EI, prises en compte par le programme de Pre Burn pour établir la trajectoire de rentrée en déorbitant.

Alt est l'altitude au point de rentrée en dizaines de mètres (ici 12200 = 122 km)

Spd est la vitesse en ce point en m/s

Dst Trajectory est la distance de ce point à la cible en kilomètres (ici 8064 km)

Ces valeurs sont les premières de la liste que l'on trouve en ouvrant avec un éditeur de texte le fichier AFCS.ini qui se trouve dans le dossier PlugIn du dossier Module

La fenêtre Post Burn présente les valeurs prises en compte au point d'entrée : angle d'attaque AOA et angle de roulis Roll

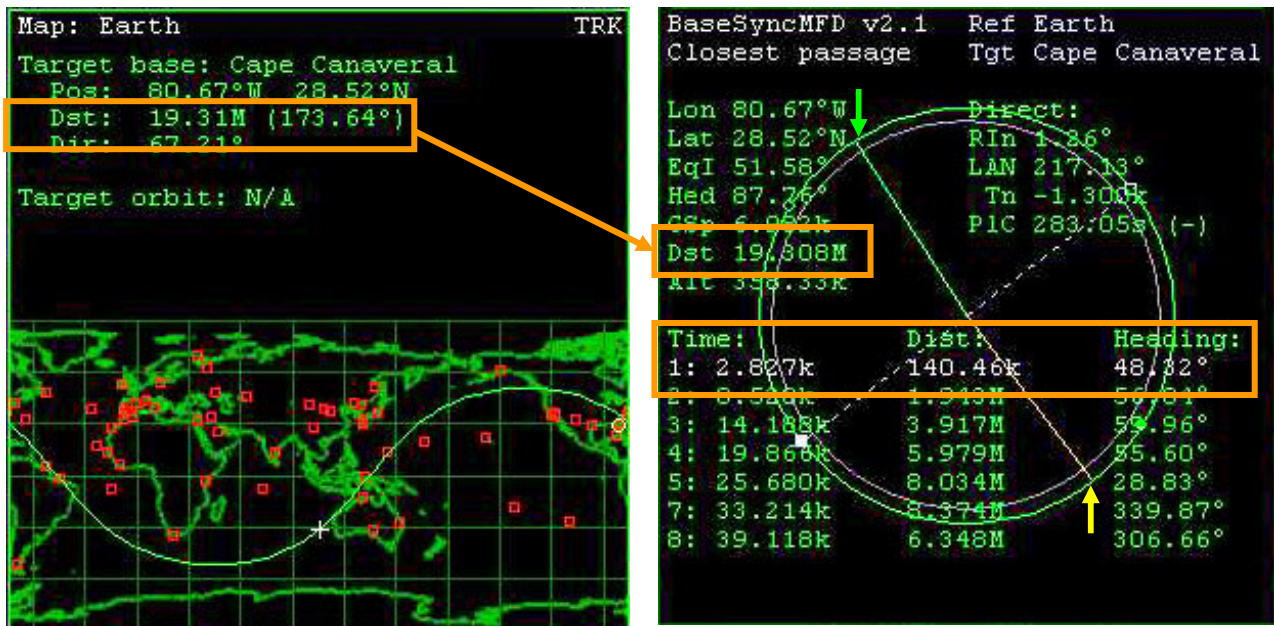
La touche U permet de désengager le programme si on désire reprendre le contrôle en manuel.

Utilisation pour le retour

Lorsqu'on entame le dernier tour en partant du scénario **13 – Avant descente**, il faut attendre de se trouver en un point de l'orbite à peu près diamétralement à l'opposé du site.

Ceci se produit quand Dst sur Map est d'environ 19M ou que Sur BaseSync le rayon vert donnant la position du vaisseau est à l'opposé du rayon jaune donnant le point d'atterrissage prévu

On se trouve environ au dessus de l'Australie



- Faire Ctrl+F4, sélectionner AutoFCS puis Enter
- Faire SET dans la fenêtre Preburn
- Choisir KSC dans la liste déroulante de la fenêtre Landing site
Le vaisseau se tourne en position rétrograde et l'allumage de dé-orbitation est effectué.
- Faire SET dans la fenêtre Post Burn quand l'allumage est achevé

Nota: Les valeurs prédéterminées en PreBurn et Post Burn conviennent et il ne faut pas les modifier

A partir de là, il n'y a plus rien à faire qu'à se caler dans son siège pour attendre l'atterrissage et admirer les manœuvres vues de l'extérieur.

Vous apprécierez j'en suis sûr, les manœuvres de roulis d'une aile sur une autre appelées "Rock and Roll" qui permettent de perdre de la portance pour régler la descente tout en conservant un angle d'attaque important

N'oubliez pas de sortir le train juste avant l'atterrissage en armant par Ctrl+G puis en faisant G

10 – RETOUR EN MANUEL

Nous partirons comme pour la rentrée automatique du scénario **13 – Avant descente** mais nous allons devoir tout faire nous même.

Il est instructif de noter ce qui se passe en automatique pour essayer de reproduire les manœuvres en manuel.

De toute façon n'espérez pas réussir du premier coup, c'est probablement le plus difficile à faire dans les différentes simulations. Il faut se poser sans moteur et il n'y a pas droit à l'erreur !

10.1 – Allumage de dé-orbitation

C'est le module Deorbit de BaseSync qui va nous donner les valeurs

Le module de synchronisation nous a permis de trouver le tour le plus favorable pour ne pas passer trop loin de la base.

Accélérer le temps pour se trouver dans le dernier tour avant allumage. Le rayon vert vient de passer le rayon jaune dans le module BaseSync et la ligne 1 est en surbrillance.

Il faut maintenant savoir quand et pendant combien de temps allumer ?

- Passer avec DEO sur le module Deorbit
- Entrer les valeurs ANG = 1, ANT = 65 et ALT = 80

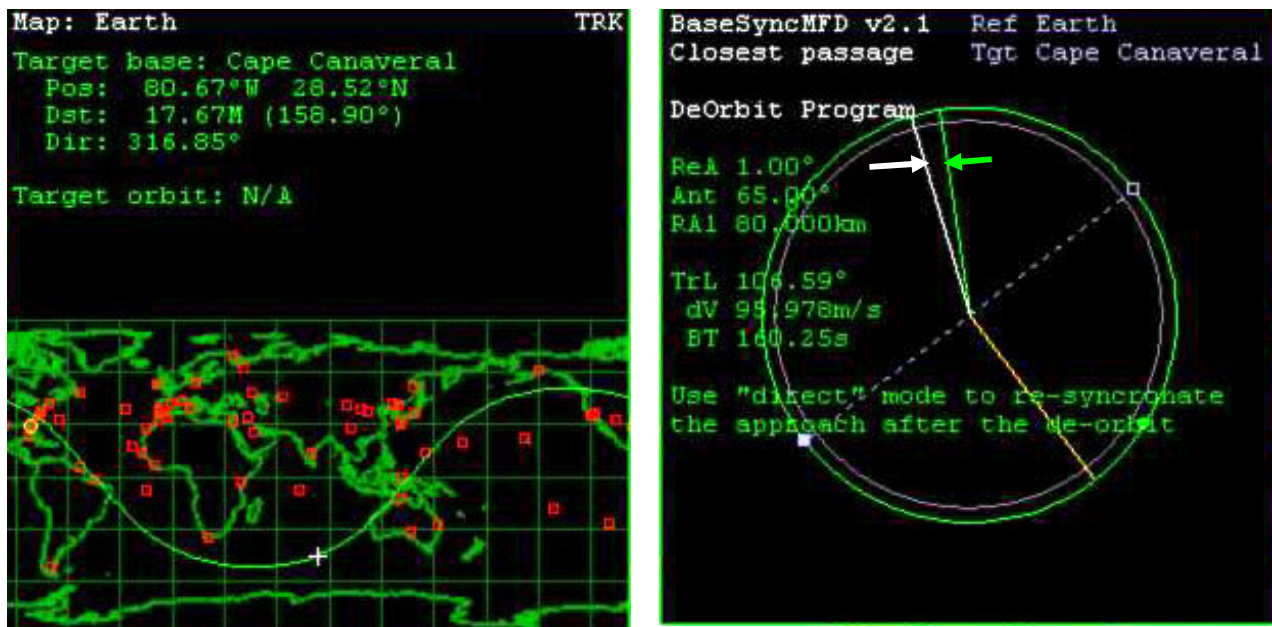
Pourquoi ces valeurs (voir figure page 27) ?

ALT = 80 est l'altitude de 80 km à laquelle le freinage atmosphérique commence à être vraiment effectif. Nous prendrons cette valeur comme altitude de référence

ANT = 65 donne un angle d'anticipation de 65° qui fera que nous serons à environ Dst= 6.5M de la base quand nous serons à 80 km d'altitude (voir figure en haut de la page 27)
On peut retenir que 1° donne à peu près 100 km

ANG = 1 donne une trajectoire d'entrée en atmosphère ayant une faible pente pour permettre un ralentissement progressif dans les couches élevées sans échauffement excessif ni décélération trop brutale

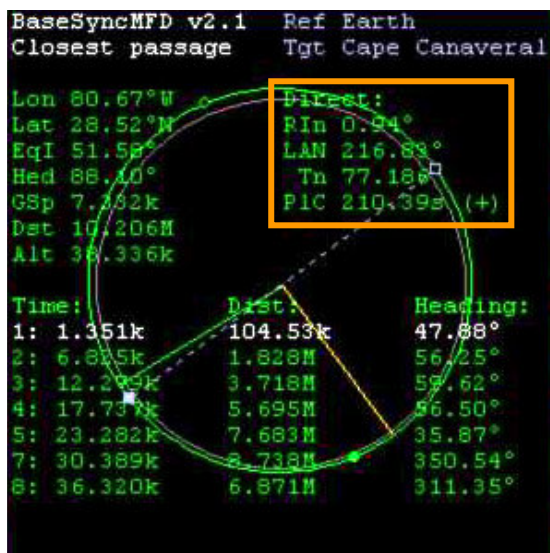
Maintenant il va falloir se préparer à amorcer la descente en se plaçant en position Retrograde



- Allumer quand le rayon vert se superpose au rayon blanc
- Eteindre quand BT atteint approximativement 0 (attention à ne pas dépasser – on peut être faiblement négatif)

En suivant sur Map on voit que l'allumage se fera quand on aborde l'Australie pratiquement à l'opposé de notre objectif.

- Après allumage utiliser DEO pour revenir en BaseSync.



Si on veut réduire Rin il faut attendre que Tn soit passé par 0 et allumer en position N+ ou N- suivant le signe entre parenthèse qui suit PIC.

Le signe change au moment où Tn passe à 0 et comme la navette a une assez forte inertie, il vaut mieux se préparer avant d'arriver au point nodal en plaçant la navette dans la position N contraire au signe affiché

La manœuvre consomme beaucoup de carburant et n'est pas absolument nécessaire si Rin est faible

Si on désire faire la correction il faut s'assurer qu'on n'est pas encore entré dans l'atmosphère sinon il faut y renoncer

10.2 – Descente et freinage

A partir de la fin de déorbitation, le vaisseau va se trouver sur une orbite qui atteint entre 120 et 130 km d'altitude à Dst=8000 km de la base et 80km à Dst=6500 km. L'angle de rentrée est faible.

La rentrée va s'effectuer en trois phases (chiffres approchés):

- **Une première phase de freinage contrôlée au RCS** qui s'effectuera avec un angle de cabrage de 40° (pour présenter en avant le ventre de la navette revêtu du bouclier thermique). On maintiendra l'altitude entre 75 km et 70 km pendant le temps nécessaire pour faire décroître la vitesse jusqu'à 5000m/s (Mach 15)
- **Une deuxième phase de freinage contrôlée au RCS** toujours cabré à 40° en laissant décroître progressivement l'altitude de façon à avoir 3400m/s (Mach 10) et une altitude de 50 km à 1000 km de la base, 2400m/s (mach7) et une altitude de 40km à 500km de la base, 1000m/s (mach3)et une altitude de 25 km à 100 km de la base.
- **Une troisième phase d'approche en vol type avion piloté au manche**, cabré entre 10 et 20° et guidé de façon à passer au dessus de la base vers 15 km d'altitude à 350 m/s
Ensuite ralentissement, virage et descente vers la piste à 170 m/s

Voilà le plan de descente à essayer de suivre (en valeurs approchées)

Altitude en km	Vitesse en m/s	Distance en km
120	7570	8000
80	7580	6700
70	5000 (M15)	2500
50	3400 (M10)	1000
40	2400 (M7)	500
30	1400 (M4)	250
25	1000 (M3)	100
15	350	30

Comment régler la descente ?

Quand on cabre la navette, on augmente la traînée D ce qui fait diminuer la vitesse, mais en contre partie, on augmente la portance L (force exercée vers le haut sur les ailes) ce qui tend à faire remonter si la portance devient trop importante.

La solution pour ne pas remonter consiste à incliner les ailes pour que la composante verticale de la force de portance soit plus faible et que l'on puisse perdre de l'altitude.

Ci-dessous à gauche, la navette aborde les couches hautes de l'atmosphère. Elle est cabrée fortement comme on le voit par l'angle entre la flèche Z qui est l'axe de la navette et la flèche blanche qui est le sens de déplacement. Ceci provoque une traînée D importante car la surface présentée par la navette perpendiculairement à son déplacement est importante puisque elle est cabrée et la vitesse est grande. Rappelons que la traînée est proportionnelle a la surface et au carré de la vitesse.

Les ailes sont fortement inclinées (on va de 80 à 90 %) et la portance L peut se décomposer en une force dans l'axe de la force G d'attraction verticale et une force horizontale qui tend à la dévier de sa course.

Si l'inclinaison est convenable la navette descend.

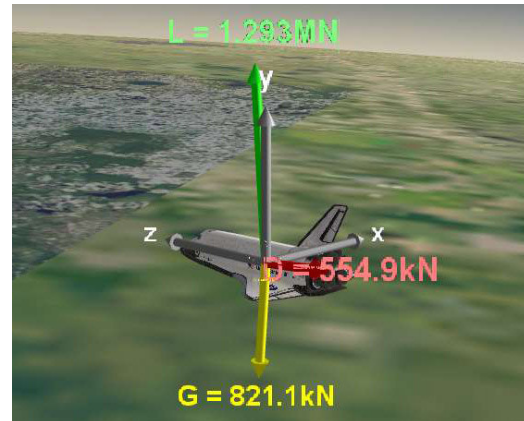
Pour compenser la déviation de la course il faudra régulièrement incliner d'une aile sur l'autre pour rectifier. Cette opération s'appelle "Roll reversal" ou encore "Rock and roll"

Sur la figure de droite, la navette est en approche à vitesse basse en vol atmosphérique type avion.

La traînée est beaucoup plus faible, et du fait du cabrage légèrement négatif, la portance L est presque dans l'axe de G.

On peut afficher ces axes et ces valeurs en utilisant Ctrl+F9 et en cochant les options nécessaires.

Attention ! a navette se pilote comme un planeur sans possibilité de remonter au moteur en cas d'approche trop courte.



En pratique

- Mettre le HUD sur affichage SRFCE en utilisant la touche H
- Avant d'arriver au point d'entrée à l'altitude 80k, tourner la navette dans le sens Prograde
- Mettre en position horizontale HOR LVL (par touche sur HUD ou par la touche L)
- Avec NUM 1 ou 3 rectifier s'il le faut pour aligner verticalement le marqueur d'axe longitudinal (V inversé) avec le marqueur vitesse (croix dans un rond)
- **Appuyer sur la touche B pour maintenir automatiquement un angle de cabrage de 40°**

Tout est prêt pour la rentrée qui va demander une grande concentration.

On se servira des MFD BaseSync déjà ouvert et du MFD Surface ainsi que des indications du HUD pour guider la descente



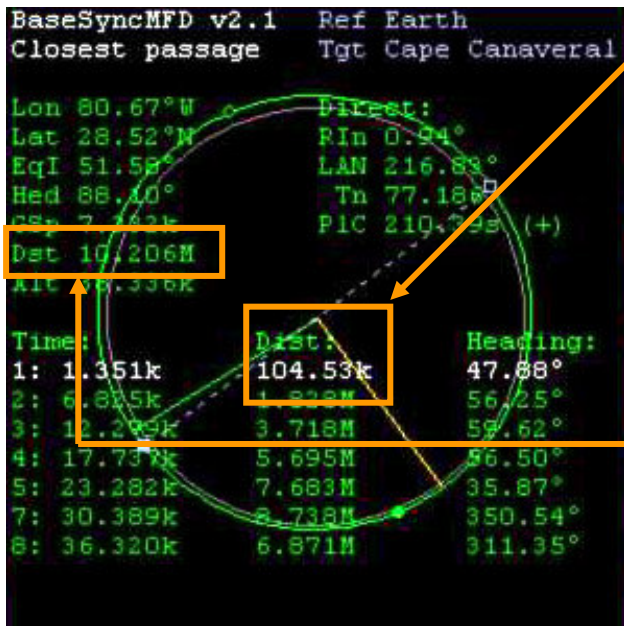
On surveillera en permanence **VS** qui devra rester à une valeur négative et que nous augmenterons en inclinant plus les ailes ou diminuerons en les inclinant moins.

On utilisera les touches NUM 4 ou NUM6

On surveillera également l'altitude **ALT** et la vitesse **GS** par rapport au sol pour juger de la régularité de la descente.

ACC donne la valeur de la décélération. Si on la divise par 10, on a le nombre de G qui ne doit pas dépasser 3 sous peine d'une alarme critique

M donne le nombre de Mach



Dist donne la distance de passage au plus proche
On suivra l'évolution de Dist et on changera de côté d'inclinaison des ailes dès qu'elle atteindra une valeur maximum de 200k pour la ramener vers 0

Il faut faire le plus rapidement possible le changement d'aile car la vitesse VS va évoluer vite vers une valeur positive quand on redresse et il ne faut pas risquer de remonter trop sinon on ressort de l'atmosphère et c'est catastrophique !

Vous allez vous donner mal au cœur !

Dist nous donne la distance jusqu'à l'arrivée

Si vous avez bien compris, il n'y a plus qu'à le faire !

Il est surtout essentiel de bien contrôler la pente de descente. La précision d'arrivée sur la base sera à assurer dans les derniers 500 km du trajet.

Voilà quelques conseils pour vous aider à réussir (faites surtout des essais pour voir)

- A partir de ALT = 80 le freinage commence. Maintenir VS à une valeur négative de l'ordre de -100 en inclinant de 80 à 90°
- Stabiliser l'altitude en légère décroissance entre de ALT= 75 à ALT=70 en variant l'inclinaison pour obtenir GS inférieur à 5000 (on est à environ M=15) Faire des changements d'aile quand Dist dépasse 200k. Dans cette phase VS doit être de -5 à -10 m/s
- A partir de 70k, continuer à descendre jusqu'à 50k qu'il faut atteindre à une distance Dst d'environ 1M de l'arrivée avec une vitesse GS de l'ordre de 3400 (environ M=7) Faire des changements d'aile quand Dist dépasse 200k. Dans cette phase, VS doit varier entre -30 et -50 m/s
- Continuer à descendre pour obtenir Alt=40k et M=7 à Dst=500k puis Alt=25k et M=3 à Dst=100k. Dans cette phase, VS doit varier entre -40 et -60 m/s

On est maintenant à une vitesse de vol atmosphérique type avion et on peut prendre le contrôle au manche

- **Appuyer sur B** pour annuler le contrôle automatique du cabrage
- **Faire Ctrl+ NUM / (slash)** pour prendre le contrôle des surfaces de guidage en manuel
- **Annuler le Trim** en utilisant les touches Inser et Supp (B le place à une valeur non nulle qui ne conviendra pas forcément. La valeur de trim est affichée en haut à gauche du HUD))

Il ne reste plus qu'à continuer l'approche à vue ou aux instruments pour passer au dessus de la piste vers 15k d'altitude à GS d'environ 300k et faire après une dizaine de km un virage qui nous ramènera dans son axe pour l'atterrissage. Le cabrage doit être de 5 à 10°

On réglera la descente et l'approche en jouant sur le pitch qui variera normalement entre 5 et 10° et en utilisant si nécessaire les aéro-freins et le Trim en utilisant les touches

Shift + 9	ouverture maximum des aéro-freins
Shift + 0	fermeture totale des aéro-freins
; (point virgule)	ouverture par crans de 5% des aéro-freins
: (deux points)	fermeture par crans de 5% des aéro-freins
Instr	augmentation du trim
Suppr	diminution du trim

Si on est "un peu court" on peut aller directement vers la piste sans passer au dessus au préalable avant le virage final

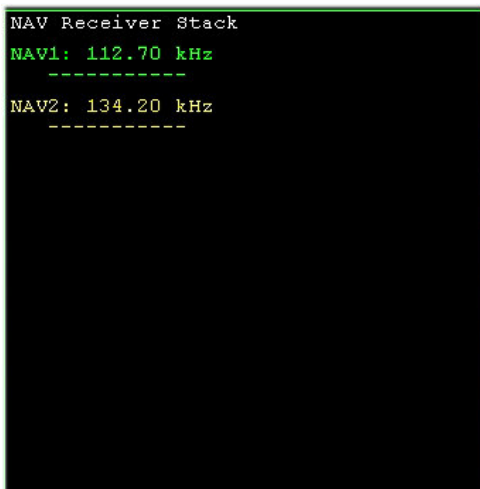
Attention ! La pente pour atterrir doit être d'environ 20° ce qui est 7 fois plus grand que pour un avion. C'est très trompeur visuellement et il ne faut pas arriver "trop à plat". La vitesse pour poser est d'environ 140 m/s ce qui est rapide (presque 500 km/h !!!)
Observez bien comment ça se passe en automatique pour essayer de le reproduire

10.3 – Utilisation des instruments en finale

On peut utiliser le VOR et l'ILS pour approcher la piste et s'aligner (pas absolument utile mais c'est pour le plaisir de faire)

Il faut profiter du temps dont nous disposons après la déorbitation pour régler les instruments permettant l'approche finale car nous serons bien occupé à la fin du vol.

- **Ouvrir le MFD COM/NAV pour régler les fréquences du localiseur VOR et de ILS**



Régler les fréquences de communication pour le VOR et l'ILS de Cape Canaveral comme nous l'avons fait lors de l'approche de ISS

Il y a deux pistes à Cape Canaveral

Piste 33/15 ILS 134.20 kHz longueur 5277 m

Piste 31/13 ILS 132.60 kHz longueur 3136 m

Rappelons que 33/15 signifie que la piste a un axe orienté à 330 ° ou 150° (330-180=150°) suivant le sens de l'atterrissage.

Nous choisirons la piste la plus longue pour l'atterrissage et nous l'aborderons par le bout le plus favorable lors de notre approche.

Si nous arrivons "plus au Sud" nous la prendrons au cap 315° (direction Nord-Ouest)

Si nous arrivons "plus au Nord" nous la prendrons au cap 150° (direction Sud-Est)

Le VOR est un localiseur qui permet de localiser la position du terrain à partir de 1500 km de distance. Sa fréquence est 112.70 kHz

Les valeurs des fréquences pour une base peuvent être obtenues en ouvrant la fenêtre d'information avec Ctrl+I puis en choisissant Spaceport et le nom dans la liste déroulante.

- **Ouvrir le MFD HSI pour nous guider en deux temps à partir par exemple de 500 km du terrain**
 1. Prendre le bon cap vers le terrain en suivant le VOR pour réaliser une bonne approche à partir de 500 km de distance (en fait il vaut mieux utiliser la réduction de Dist sur BaseSync pour ça c'est déjà bien assez compliqué de tout surveiller !)
 2. Prendre le bon cap vers la piste et faire une bonne descente en finale sur les vingt derniers km avant l'arrivée



- L/R permet de sélectionner l'indicateur de gauche ou de droite (cadran sélectionné encadré)
- NAV permet d'affecter NAV1 ou NAV2 à l'indicateur sélectionné
- OB+ ou OB- permet de faire tourner l'aiguille jaune sur l'indicateur sélectionné avec L/R (nous verrons plus loin pourquoi)

Nous allons affecter la fréquence du VOR (c'est une balise de localisation) au cadran de droite et la fréquence de l'ILS (Instrument Landing System qui est une aide à l'atterrissage) au cadran de gauche

Nous sommes loin du terrain et NAV1 et NAV2 ne reçoivent pas de signal (no signal)
Nous rouvrirons ce MFD quand nous le voudrons

Comment ça marche en approche ?

Voilà ce que vous pouvez avoir par exemple à moins de 30 km de l'objectif (nous ne sommes pas très bien placé mais c'est pour vous expliquer...)



En haut nous voyons que les signaux du VOR et de l'ILS sont reçus et il y a affichage de leur identification.

Au milieu des cadrans le triangle orange figure le vaisseau avant vers le haut

En bas on trouve les données utiles pour le pilotage correspondant à chaque balise définie par le cadran

BRG est le cap suivi par le vaisseau

DST est la distance restant à parcourir jusqu'à ce que le vaisseau passe au dessus de la balise

DEV est l'écart en degré entre l'axe que suit le vaisseau et celui qu'il devrait suivre pour rejoindre la balise

CRS est le cap correspondant au bout de la flèche jaune

TO ou **FROM** signifie que la flèche jaune pointe vers la balise (TO=vers) ou dans le sens opposé (FROM=depuis)



Comment se diriger vers le VOR ?

Il suffit de faire pivoter l'aiguille jaune avec les touches OB+ ou OB- jusqu'à avoir une flèche continue et que l'indicateur en bas à droite indique TO (vers)

CRS donne alors le cap BRG qu'il faut suivre

Je suis dans la bonne direction parce que j'ai bien utilisé BaseSync pour la descente

Approche finale avec ILS

Il faut être sur l'axe de la piste avec une pente correcte et une vitesse de 120m/s au toucher du Runway.

Avec toutes ces conditions, c'est la partie la plus difficile du vol....

Ne vous découragez pas, il faudra recommencer plusieurs fois avant d'y arriver.

Si vous arrivez assez rapidement à vous poser avec moins de 1000 m d'erreur vous êtes en bonne voie....la navette est très dure à piloter à basse vitesse.

Gardez en descente une vitesse au moins supérieure à 140 m/s si vous ne voulez pas risquer un décrochage.

Je ne peux pas vous donner la formule miracle, il n'y a qu'en recommençant un certain nombre de fois que l'on y arrive parfaitement !

Un joystick est le mieux pour la dernière phase de vol type avion qui commence à 25 km d'altitude environ

L'idéal est de se trouver aligné à 10 km de la piste à 3500m d'altitude avec une vitesse de 160 m/s puisque la navette descend avec un pitch de -20° en approche (ce qui est bien plus élevé que pour un avion de ligne)

Deux moyens pour réaliser l'alignement :

- A vue en centrant le vecteur vitesse sur le bout de la piste dès qu'elle est en vue (elles sont éclairées et visibles à partir de 40 km de distance) mais on apprécie mal la pente
- Plus scientifique, en utilisant l'ILS

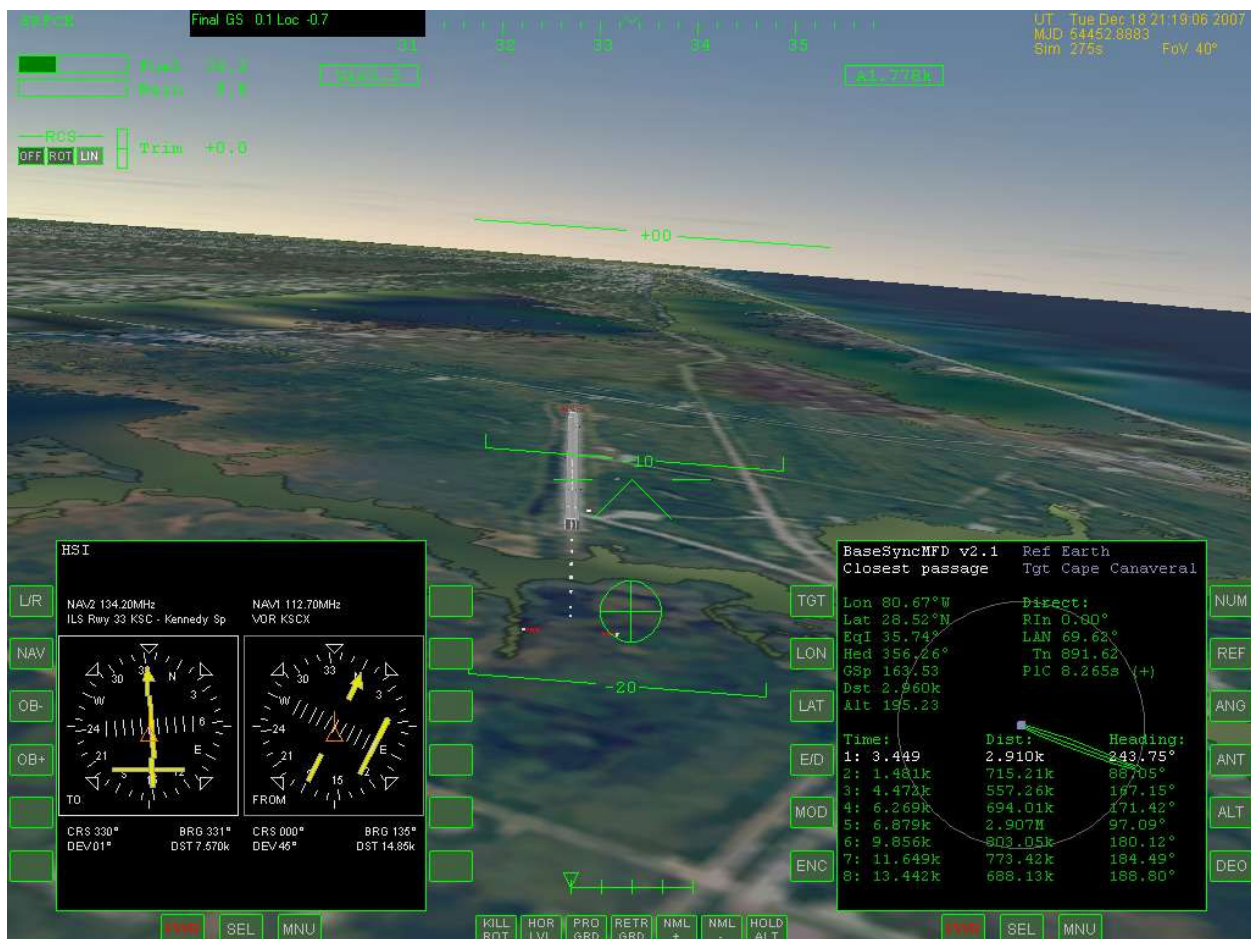
Il faut changer de cap pour intercepter l'axe de l'ILS qui est aussi l'axe de la piste, de façon à aligner la partie centrale de l'aiguille avec le bout.

On voit sur la photo suivante que la navette est presque dans l'axe de piste et que la flèche sur l'indicateur de gauche est quasiment continue.

Nous sommes à 3000 m de la piste à 1700 m d'altitude à la vitesse de 160 m/s. C'est bon et nous pouvons nous poser.

Il est inutile de compter sur la barre horizontale de l'ILS pour régler la pente de descente car on descend avec une pente plus importante qu'un avion.

Dans cette situation il ne nous reste qu'à essayer de placer notre vecteur vitesse en bout de piste et de tenter de bien nous aligner en espérant qu'il n'y aura pas de perte de vitesse !



ATTENTION ! Armer le train en faisant Ctrl+G puis le sortir en faisant G, sinon votre avancement sera compromis.....

Quand on arrive en bout de piste et à faible altitude, lever le nez pour faire un arrondi et poser la navette comme un avion de ligne.

Le parachute et les aéros freins se déploient automatiquement au toucher de la piste et il ne reste qu'à rouler si possible dans l'axe jusqu'à l'arrêt complet.

Nous sommes arrivés sains et saufs !!!mieux qu'à la NASA !

Vous y arriverez sûrement si vous êtes un adepte de la simulation de vol.
Il faut insister et faire pas mal d'essais mais la réussite est à ce prix.

Pour vous entraîner à la descente j'ai joint quatre scénarios

14 – Après allumage de déorbitation

15 – Altitude 50k distance 1M

16 – Altitude 30k distance 180k

17 – Altitude 25k distance 100k

Le scénario 17 permet différents atterrissages:

Piste 33/15 en posant au 150 (arrivée directe)

Piste 33/15 en posant au 330 (passage sur base puis virage pour prise de piste – difficile!)

Piste 31/13 en posant au 130 (arrivée directe)

Ne trichez pas. N'utilisez pas le moteur en approche !

J'espère que le voyage vous a plu ?

N'oubliez rien dans la cabine en descendant et allez prendre une douche... ☺

PAPYREF

Janvier 2008

ANNEXE 1 – UTILISATION DU DGIV

Pour les adeptes, nous utiliserons pour la mission le DGIV de DanSteph que je remercie pour son magnifique travail.

Lisez la notice pour son utilisation.

1 - DECOLLAGE ET MISE EN ORBITE

Comme avec la navette il faut chercher une fenêtre de tir. Nous prendrons celle que nous avons trouvé pour elle.

Nous partirons du scénario 18 – Lancement du DGIV qui nous place sur la piste 33 à KSC le 17 décembre 2007 à 12:32 UT

C'est celui de la navette modifié pour prendre le DGIV à la place d'Endeavour et laisser une minute pour l'introduction du programme de montée avant décollage

Rappel

On entre un programme en cliquant sur le clavier du calculateur de bord suivant la séquence PRO <numéro programme> SPEC <attribut> ENTER (pour valider) EXE (pour lancer)

On peut aussi taper sur le clavier du PC la séquence:

**P<numéro programme> S<attribut> puis valider par la touche Enter puis lancer le programme par E
Par exemple on tape en séquence P903S45 --> touche Enter --> E**

Un programme peut être suspendu en cliquant STOP sur le clavier du calculateur ou en faisant Barre d'espace sur le clavier du PC

Un programme peut être annulé en faisant CLR sur le clavier du calculateur ou en faisant C sur le clavier du PC

Il est bon de faire CLR ou C pour effacer tout programme déjà affiché avant d'entrer un programme

- Lancer le scenario 18
- Taper P903S45 puis Enter pour préparer le programme de montée au cap 45
- Allumer le moteur à pleine puissance à 12h33 et décoller en mode avion
- Rentrer le train avec G
- Quand l'altitude atteint 300 m taper E pour lancer le programme
- Ouvrir le MFD Align Plane et prendre TGT=ISS
- En cours de montée surveiller l'évolution de RInc

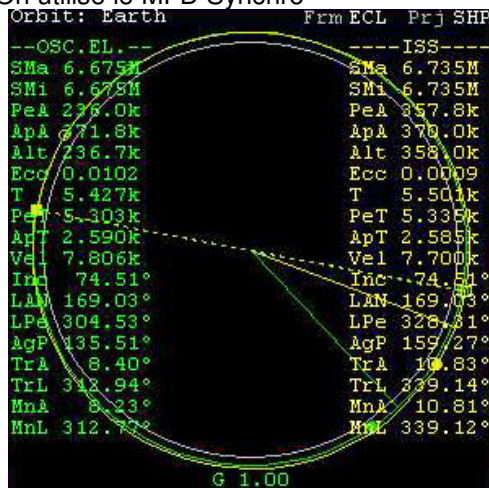
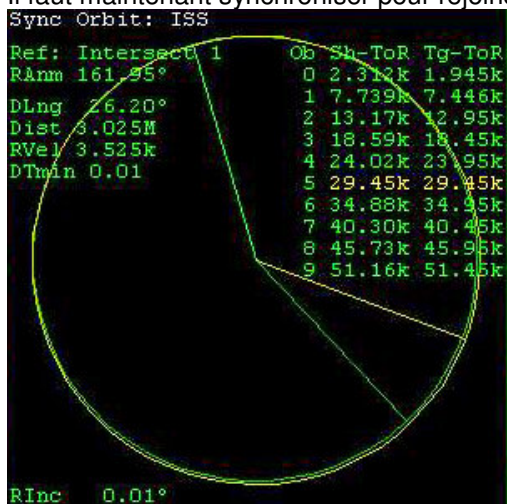
2 - ALIGNEMENT DES PLANS ET SYNCHRONISATION

A la fin de la mise en orbite ouvrir le MFD Align Plane et réaliser l'alignement des plans au nœud AN ou DN le plus proche en se plaçant dans la position N+ ou N- qui convient

Rappel

Au nœud DN on corrige en position NORMAL +
Au nœud AN on corrige en position NORMAL -

Il faut maintenant synchroniser pour rejoindre ISS. On utilise le MFD Synchro



Prendre LEN = 10 pour ne pas avoir une trajectoire trop elliptique en laissant le plus de tours possibles pour rattraper ISS.

Comme l'orbite est presque circulaire il n'est pas utile d'être au périégée et on peut allumer immédiatement en position prograde pour obtenir une valeur d'intersection.

Attention, les moteurs sont puissants et on a très vite une intersection.

- Passer en mode translation et allumer pour ajuster DTmin à la valeur minimum.

On voit ci-dessus qu'on est synchronisé sur 6 tours, avec DTmin et RInc presque nuls. La rencontre sera une simple formalité pour l'expert que vous devez être devenu.

3 - RENCONTRE ET ARRIMAGE

Arrimage en manuel

Vous pouvez opérer comme pour la navette en tenant simplement compte du fait que le sas est sur le nez et non dessus pour l'utilisation des RCS

- Pour rendre parallèle l'axe du DOCK avec l'axe du sas de la navette, il faut agir en **mode rotation** sur les touches NUM 2-8 et 1-3

- Pour faire tourner la navette autour de l'axe de son sas, il faut agir en **mode rotation** sur les touches NUM 4-6
- Pour déplacer l'axe du sas par rapport au DOCK, il faut agir en **mode translation** sur les touches NUM 4-6 et 2-8

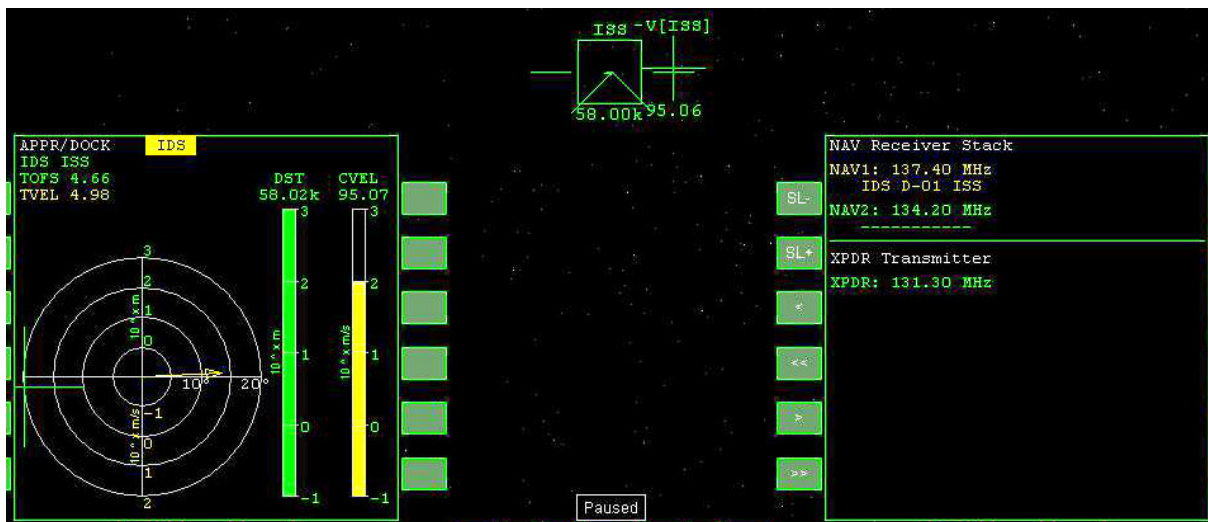
Arrimage en automatique

Le DG IV offre une possibilité d'arrimage automatique bien utile. C'est le programme **PRO300SPEC0** qui permet l'arrimage sur un dock possédant un IDS

Ouvrir le MFD Nav/Com

Pour le dock1 par exemple, entrer la fréquence de l'IDS = 137.40 pour le NAV1

Sur le deuxième MFD ouvrir Docking avec TGT → ISS → Dock1



Si vous avez bien réglé RInc et DTmin proches de 0 le marqueur de vitesse doit se rapprocher seul du carré ISS. Dans ce cas, il n'y a pas de correction à faire pour l'y amener.

Le signal IDS est reçu quand DST arrive à 100k. Laisser la croix s'approcher du carré ISS et faire éventuellement quelques corrections en RCS translation pour la maintenir centrée jusqu'à quelques dizaines de kilomètres.

Il n'est en effet pas nécessaire de passer en approche automatique trop loin de ISS car on ne pourra plus accélérer le temps et c'est ennuyeux !

Quand on est assez près (entre 20 ou 30k est convenable) on peut enclencher le programme

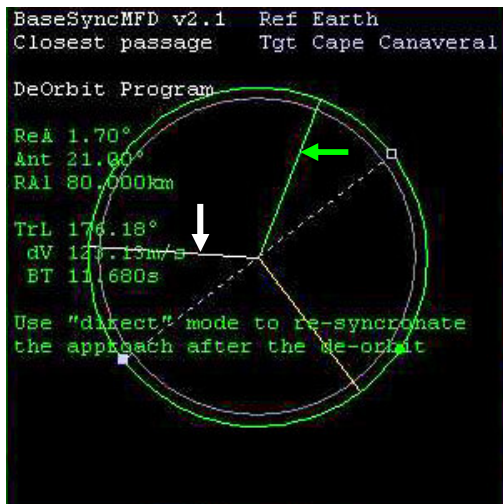
- Entrer le programme **PRO300SPEC0** et le lancer et admirer l'approche et l'arrimage !
- **Ne pas oublier de faire K pour ouvrir le cône**

Profitez en pour observer comment les marqueurs d'axe et de vitesse relative se positionnent sur le HUD et comment évoluent les marqueurs sur le MFD Docking pour faire de même dans vos approches manuelles. Le scénario 19 – DGIV docké donne la situation après arrimage

4 – RETOUR

- Ctrl+D pour Dédocker puis K pour fermer le cône
- Ouvrir BaseSync et entrer Cape Canaveral comme TGT et E/D pour être en mode direct
- Faire des rotations pour trouver une solution ou Closest Passage est le plus faible possible

En partant du scénario 19, on trouve un passage à moins de 150 km de la base après 14 tours environ et j'ai sauvegardé la situation dans le **scénario 20 – Synchro – 1 tour** à l'avant dernier tour avant la déorbitation.



- Passer en module deorbit avec DEO
- Entrer ReA = 1.7 Ant=26 Alt = 80

Ces valeurs donnent de bons résultats pour la rentrée

- Passer en position Retrograde et allumer quand le rayon vert se superpose au rayon blanc jusqu'à ce que BT soit pratiquement égal à 0
- Utiliser E/D pour repasser en mode BaseSynchro
- Réduire RInc le plus près possible de 0 en passant au prochain point nodal (voir technique avec navette)

Comme nous l'avons fait pour la navette, nous pouvons entrer les fréquences VOR et ILS de Cape Canaveral sur NAV1 et NAV2 en utilisant le MFD COM/NAV. Ceci nous permettra d'utiliser le MFD HSI pour l'approche et l'atterrissage.



Avant de rentrer dans l'atmosphère il faut préparer le DGIV pour qu'il soit en position prograde et avec un angle d'attaque AOA convenable pour ne pas avoir trop d'échauffement

- **Entrer le programme PRO105SPEC40, le valider et le lancer**

Ce programme maintient automatiquement l'assiette convenable pour la descente

Il n'y a rien à faire sinon contempler et observer les réglages automatiques. En particulier ouvrez le MFD Surface et regardez comment évolue la vitesse verticale VS en fonction du Pitch.

Approche et atterrissage

Vous allez passer au dessus de la base à une altitude d'environ 30k et une vitesse suffisante pour vous permettre un large virage d'approche vers la piste 33 en reprenant le contrôle au joystick

Il n'y aura plus qu'à poser sans oublier de sortir le train.

On peut utiliser le trim (touches Inst et Supp) et les aérofreins (touche B)

On peut remettre un peu de moteur si on se trouve court ou si on risque une perte de vitesse.

On doit atterrir entre 180 et 170 m/s avec une vitesse verticale inférieure à 20 m/s (bien moins si possible)

Se poser n'est pas le plus facile. Ne vous découragez pas et entraînez vous jusqu'à obtenir le bon coup de main.

Vous pouvez utiliser des programmes qui vous aideront (merci Dan !) comme

PRO400SPECnn ou nn est la vitesse à maintenir automatiquement

PRO200SPEC8 permet une descente en vol stationnaire

La consécration est de tout faire soi-même depuis la dé-orbitation mais c'est très difficile !!!

Pour s'aider, on peut utiliser le programme **PRO104SPEC40** qui maintient un AOA correct pendant que l'on agit sur le tangage et le roulis avec NUM 28 et NUM 4/6 pour contrôler la descente.

Il faut surveiller constamment la température du nez en ouvrant le display 3 sur le tableau de bord (cliquer sur DISP puis sur 3, ou faire D puis 3 sur le clavier du PC) Elle ne doit pas dépasser 2600 °C sous peine d'être désintégré ! Il est sage de la maintenir à 1500 °C max.

Je vous souhaite bonne chance !