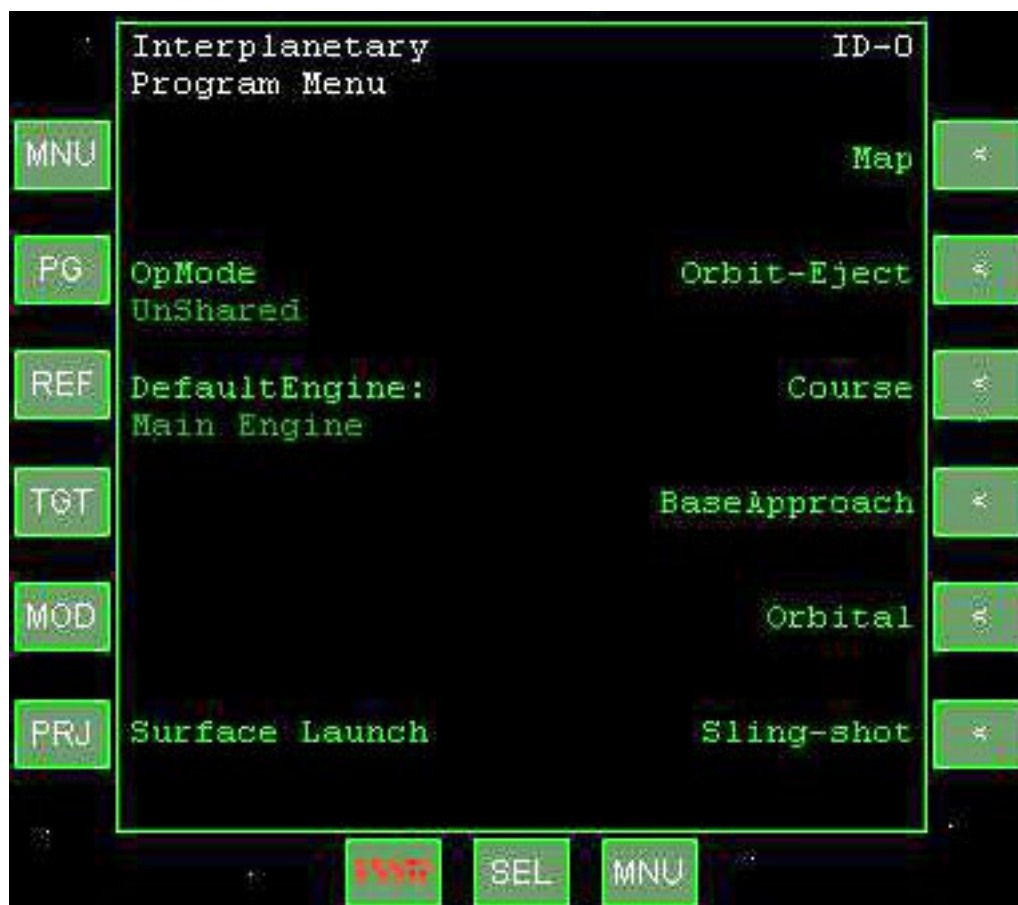


Utilisation de IMFD version 4.6

1^{ère} partie - Théorie

Par Papyref

Octobre 2006



0 – INTRODUCTION

Le calculateur IMFD a été conçu par **Jarmo Nikkanen** que je remercie pour son travail. Vous pouvez le télécharger sur le site <http://koti.mbnet.fi/jarmonik/Orbiter.html>) ou vous trouverez aussi une documentation succincte.

Sa bonne utilisation et compréhension suppose que l'on a des notions des principes de vol spatial et je conseille aux débutants de lire ma note "Naviguer dans l'espace" qui se trouve sur le forum.

Les familiers de la version 4.2 trouveront des différences d'utilisation avec cette version 4.6 qui est plus complète mais ses principes de fonctionnement et d'exploitation restent semblables..

Dans une deuxième partie je présenterai quelques exercices pour mettre en pratique les techniques de base.

Ensuite ce sera à vous d'essayer d'utiliser toutes les possibilités de cet outil.

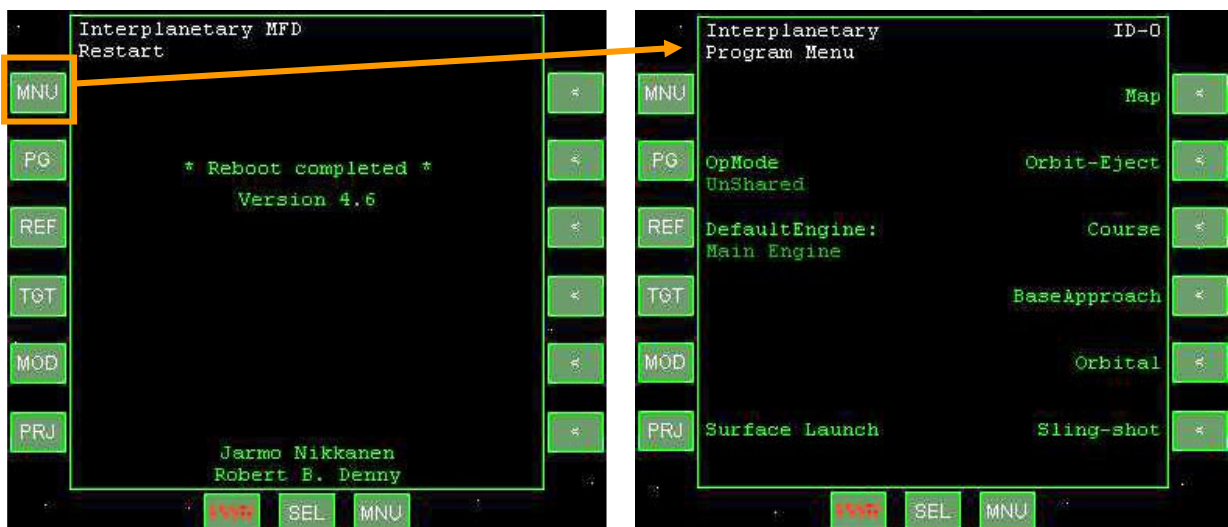
Cette présentation est faite pour aider à découvrir cette version. Elle peut présenter des erreurs d'interprétation de ma part et ne préjuge pas des défauts encore existants et des évolutions futures.

1 - PRESENTATION ET UTILISATION DE IMFD

1-1 – Comment ouvrir et utiliser IMFD ?

Orbiter 2006 n'autorise pas les raccourcis de clavier pour appeler un MFD. Il faut suivre la procédure suivante :

- Passer en tableau de bord par F1
- Ouvrir un MFD par clic souris sur la touche PWR
- Choisir le MFD Interplanetary en le recherchant par clic souris sur la touche SEL (il peut y avoir plusieurs pages et il peut être nécessaire de cliquer plusieurs fois) Il démarre la première fois en Restart
- Cliquer sur MNU pour ouvrir Program Menu
- Choisir les options à gauche puis le menu désiré à droite



Nota :

La présentation donnée sur les figures ci-dessus est celle obtenue quand le vaisseau n'a pas de tableau de bord particulier appelé par F8 comme le Delta Glider par exemple. De nombreuses photos qui suivent sont faites avec le DG et les touches sont présentées différemment mais leur utilisation se fait de même

Pour utiliser IMFD on peut alors se servir des boutons opérationnels a gauche et à droite du MFD plus simples à utiliser par un simple clic souris que les combinaisons clavier qui imposent de bien les connaître et d'utiliser la touche **Shift + <une touche clavier>**

LShift = Shift gauche pour le MFD gauche, RShift = Shift droite pour le MFD droite

Si on ouvre un MFD extérieur il ne peut être commandé que par la souris



On voit sur cet écran que l'on peut sélectionner 6 modules de calcul avec les touches de droite et trois modes opératoires avec trois touches à gauche.

Des raccourcis clavier permettent de se substituer aux touches si on le souhaite

En haut à droite se trouve le numéro d'identification du MFD qui est utilisé si on veut le coupler en **OpMod = Shared** pour échanger des données avec un autre MFD

Les boutons de gauche qui sont toujours les mêmes pour les différents modules permettent, si ils sont possibles, les choix suivants de haut en bas

Bouton	Equivalent clavier (avec touche Shift)	Fonction
MNU	F	Retour a l'écran Program Menu.
PG	I	Choix de OpMode dans le Program Menu Changement de page d'affichage dans les autres modules
REF	R	Désignation du corps de référence pour l'orbite Changement du moteur utilisé dans le Program Menu
TGT	T	Désignation de objectif
MOD	, (la virgule à droite du N)	Changement de mode d'affichage d'un programme
PRJ	P	Choix du départ du sol dans le Program Menu Changement de mode de projection de l'orbite dans les autres modules

Les 6 boutons de droite permettent d'effectuer des modifications de données ou d'avoir des actions différentes suivant les modules : un texte sur l'écran précise la fonction affectée au bouton. Comme il peut y avoir plus de 6 actions possibles le but de la touche **PG** est de commuter les fonctions de droite si il y a lieu et il y a alors deux pages d'affichage au module. La correspondance clavier pour ces boutons est de **Shift + <1>** à **Shift + <6>** en allant de haut en bas

Dans la suite du texte nous citerons en général le nom des boutons étant entendu qu'il est toujours possible d'utiliser l'équivalent clavier. Pour la colonne de droite nous désignerons le bouton par le texte écrit en face de lui sur l'écran

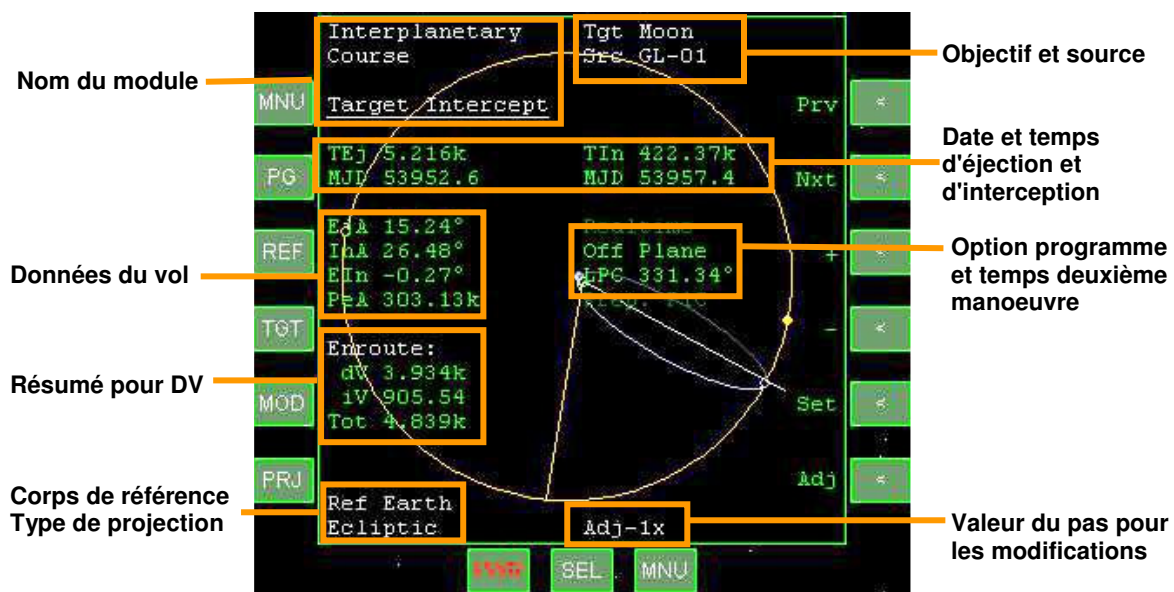
Le bouton OpMode permet de choisir de travailler avec des MFD indépendants en mode Unshared ou de travailler avec des MFD dépendants en mode Shared, l'un transmettant des données à l'autre.

Si on veut coupler un MFD Interplanetary à un autre, il faut choisir dans le Program Menu le OpMode Shared en utilisant la touche PG et entrer le numéro d'identification du MFD auquel on se couple. On annule le couplage d'un MFD en redemandant son couplage avec son propre numéro.

Dans le module Course, quand on quitte un des choix en cliquant sur MNU, on retourne au menu général mais si on appelle à nouveau Course on revient au choix précédant. Pour pouvoir prendre un autre choix, il faut cliquer de façon prolongée sur MNU

Ecran d'affichage type

On retrouve en général la même disposition d'affichage pour tous les modules de base



En haut et en bas de l'afficheur, des textes précisent le type de module opérationnel et les choix principaux effectués comme nous le verrons plus loin
Un paramètre modifiable s'affiche en blanc souligné

Les valeurs des données sont en secondes pour les temps, en mètres pour les distances, en mètres/secondes pour les vitesses et en degrés pour les angles.

Des coefficients multiplicateurs sont utilisés (sauf pour les angles) **pour limiter à 5 sur l'affichage le nombre de chiffres** représentant une donnée.

Ces coefficients multiplicateurs sont:

m = 1/1000

K = 1000

M = 1000000 (un million)

G = 1000000000 (un milliard)

Pour les grandes distances on utilise aussi **a (Unité Astronomique)**. Ce coefficient représente la distance terre-soleil qui est d'environ 150 millions de Km (149,6 en moyenne)

Pour les temps on peut aussi utiliser **h=3600** et **d=86400** comme coefficients multiplicateurs (h pour heure et d pour jour)

On peut utiliser ces coefficients lorsqu'on entre un nombre au clavier en utilisant le bouton **<Set>** comme nous verrons plus loin.

Par exemple; 400000 Km pourra être introduit en utilisant **<Set>** puis en tapant 400M au clavier

On peut aussi utiliser des exposants. Par exemple on peut écrire $12.4e^3$ qui donne l'équivalent de 12.4k

Ne pas oublier que le point d'un nombre en Angleterre représente la virgule du même nombre en France

Par exemple:

PeD = 6.821M s'écrirait en France 6,821M (M pour Millions) soit 6821000 mètres ou 6821 Km

PeD = 99.200AU = 99,2 x 150 millions de Km = 14880 millions de K (c'est loin ! Pluton ne se trouve qu'à environ 6000 millions de Km)

PeT = 1.000K = 1,000K = 1000 secondes soit 16mn40s

La date MJD peut être entrée sous la forme jj.mm.aaaa comme 05.06.2005 ou sous la forme jj-mmm-aaaa comme 05-Jun-2005 (Attention ! avec des tirets et abréviation des mois en anglais Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec)

Retenons quelques valeurs intéressantes qui peuvent servir de point de repère :

Distance terre-lune moyenne = 384.00M soit 384 millions de mètres ou 384000 Km

Distance terre-soleil moyenne = 1.000 AU soit 149,6 millions de Km

Une heure = 3.600K = 3600 secondes

Un jour = 86.400K = 86400 secondes

Une année = 31.536M = 31536000 secondes

J'attire l'attention de ceux qui veulent voyager loin ! Une année de voyage en temps réel représente presque 53 minutes avec l'accélération maximum de la simulation à 10000X (touche **T**)

Un Terre-Mars accéléré dure une bonne demi heure et il faudra être patient et manger sa soupe en attendant...

Affichage des projections d'orbite

Le mode de projection du graphique figure en bas à gauche de l'affichage en dessous du nom de la planète de référence

Il y a plusieurs modes de projection possibles suivant le module utilisé

Ecliptic	Projection sur le plan écliptique de l'orbite de la Terre autour du soleil
Self	Projection sur le plan de l'orbite du vaisseau
Target	Projection sur le plan de l'orbite de l'objectif (planète ou objet)
HTO	Projection dans le plan de l'orbite de transfert de Hohman
Ecliptic	Orbite du vaisseau au Periapsis de référence
Rotate	Rotation possible en affichage 3D

Dans les modes Target Intercept et Planet Approach on peut réaliser un affichage 3D tournant avec la souris en tenant les touches LShift + barre d'espace
Les touches utilisées pourront être redéfinies par l'utilisateur dans le fichier IMFD.cfg lors d'une correction ultérieure

Couleurs

- Une orbite verte est l'orbite de l'objet sélectionné comme source avec **Src** dans les différents modules
- Une orbite orange est l'orbite de l'objectif sélectionné avec le bouton **TGT** (cette orbite n'est pas visible si on sélectionne par exemple une orbite écliptique ou équatoriale comme nous le verrons plus loin)
- Une orbite bleu est l'orbite calculée théorique
 Quelquefois une ligne pointillée bleu donne la position du vaisseau au moment calculé pour l'interception
- Une ligne blanche signale une position d'interception ou d'intersection et dans le cas d'une orbite d'éjection, c'est la direction de l'échappement

- Une ligne pointillée orange indique la position de l'objectif au moment de l'intersection
- Une ligne pointillée grise indique une position d'allumage
- En général une ligne entre deux carrés est la ligne d'intersection entre le plan orbital de l'orbite calculée et le plan orbital de l'objectif

Les couleurs peuvent être modifiées en corrigeant le fichier IMFD.cfg. Pour le bleu par exemple on trouve

Color_07 0x00FF5555 // Planned trajectory [Blue]

Les 6 derniers chiffres sont l'expression en hexadécimal des trois couleurs de base Bleu, Vert et Rouge. Ici FF5555 correspond à 255 (bleu) 85 (vert) 85 (rouge) en décimal. Ce sont les trois valeurs que l'on trouve dans le nuancier d'un logiciel comme PaintShop ou Photoshop Ceci permet de modifier la couleur à son goût en utilisant une palette d'un de ces logiciels pour choisir et en réalisant la conversion décimale → Hexadécimal en se servant de la calculatrice scientifique de Windows En remplaçant par exemple FF5555 par FFA0A0 on a un bleu plus clair.

2 - LES DIFFERENTS MODULES

Nous allons étudier l'utilisation de principe des 6 modules de base

2.1 - Map (Carte Interplanétaire)

Ce module très utile permet de visualiser tout ou partie de la trajectoire pour sa prédiction et sa surveillance.

Si on le visualise sur le deuxième MFD il permet si l'on se trouve dans le **OpMode Shared** de voir les modifications de la trajectoire lorsque l'on effectue des modifications des paramètres sur l'autre MFD.



On retrouve à gauche les boutons standard.

Le bouton **<PG>** permet de commuter entre les deux pages.

Ci-dessus deux aspects possibles de Map en page 1 ou 2

La trajectoire est zoomée en moins pour bien voir les données à gauche et la référence a été prise à l'Apoapsis à gauche et au Periapsis à droite pour montrer les différences (voir ci après pour les commandes)

Signification des boutons de droite:

Cnt	Centre l'affichage la planète, la station ou le vaisseau dont on entre le nom. Si on rentre x pour le nom on centre le vaisseau Si on entre p-<nom> (par exemple p-moon) on centre le point de Periapsis de l'orbite près de la planète Si on entre r-<nom> (par exemple r-mars) on centre sur la planète de référence au moment de son periapsis
Z+ et Z-	Zoom de l'écran

Sel	Sélection du point de Periapsis ou d'Apoapsis dans le cas où plusieurs sont possibles On peut avoir jusqu'à 3 points pour une orbite interplanétaires. Ap et Pe de l'orbite par rapport à la planète de référence et Pe par rapport à la planète qui est l'objectif L'affichage est de la forme <N> <X> of <Y> N étant le nom Pe ou Ap, le premier chiffre étant le rang du point dans le total et le deuxième chiffre représentant le nombre total de points possibles . En dessous de l'affichage, le nom de la planète à laquelle se rapporte le point est affiché Nous verrons cela en plus en détail en utilisant le module
Dsp	Change le mode d'affichage pour montrer toutes les planètes ou l'objectif courant et le vaisseau seulement Affichage du choix en bas de l'écran par All si tout est affiché
Azo	Met en ou hors service le zoom automatique. L'utilisation des boutons + ou – met cette fonction hors service Affichage du choix en bas de l'écran par Azo si en service
Slf	Rend visible ou pas l'orbite du vaisseau
Soi	Rend visible la sphère d'influence autour des planètes c'est-à-dire la zone où le champ de gravitation de la planète est prépondérant ($G > 0.5$) Affichage de Soi en bas de l'écran si en service
Int	Affichage du graphique d'interception. Affichage de Int en bas de l'écran si en service
Plan	Affichage de l'orbite théorique de transfert en utilisant le vecteur de lancement généré par un autre MFD. Ceci permet de suivre l'influence sur la trajectoire des modifications effectuées sur un autre module affiché sur un deuxième MFD qui a été mis en OpMod Shared Affichage en haut à gauche près du texte Map du nom du module qui pilote suivit de plan Par exemple Map Course Plan signifie que l'on est sous la dépendance du module Course

Textes pour les données modifiables et d'information apparaissant dans les différentes pages
(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

RIn	Inclinaison relative entre les plans orbitaux de la source et de l'objectif
PeT ou ApT	Temps pour atteindre le Periapsis ou l'Apoapsis de l'orbite
PeV ou ApV	Vitesse du vaisseau au Periapsis ou à l'Apoapsis de l'orbite
PeD ou ApD	Distance du Periapsis ou de l'Apoapsis par rapport au centre de la planète de référence
PeA ou ApA	Altitude du Periapsis ou de l'Apoapsis par rapport au sol de la planète de référence
Ecc	Excentricité de l'orbite
Cir	Valeur de DV pour circulariser au Periapsis affiché
Tn	Temps pour atteindre le prochain point nodal
PIC (+) ou (-)	Temps pour allumage et position normale + ou – pour réduire RIn
MJD	Date d'arrivée à l'objectif (correspond à TIn)
Hed	Cap du vol
Eql	Inclinaison sur le plan équatorial de l'objectif
Lon	Longitude du Periapsis prévu par rapport à la planète de référence
Lat	Latitude du Periapsis prévu par rapport à la planète de référence

La touche <MOD> permet d'appeler d'autres pages d'affichage pour le module et des informations pour la rentrée (nouveau module en cours de développement)

Deux pages sont des présentations avec plus ou moins de données mais la page **Map-conf** qui permet de configurer l'affichage est particulièrement importante pour l'optimisation.



Pour l'affichage, la trajectoire est découpée en petits morceaux appelés "**legs**". Le nombre maximum de ces legs est de 1000.

L'affichage montre combien on en utilise (ici 61 sur 1000)

<Prv> <Nxt> <+> et <-> permettent de choisir et modifier un paramètre

Legs/frame	Montre combien de legs sont calculées à chaque pas de calcul
Accuracy	Coefficient multiplicateur pour la précision du calcul. Plus sa valeur est faible et plus grand est le nombre de legs utilisées pour le calcul. Attention pour un PC peu puissant !
Mass Limit (ne pas modifier normalement)	C'est la masse d'un corps en dessous de laquelle on ne prend pas en compte sa perturbation pour le calcul
Period limit (ne pas modifier normalement)	Limite automatiquement le tracé de la trajectoire à une seule orbite autour de la planète de référence (avec YES)
Hyper limit (ne pas modifier normalement)	Limite automatiquement le tracé de la trajectoire à une hyperbole avec Periapsis à la planète de référence (avec YES)
Time limit (important !)	Cette valeur limite le temps de tracé de la trajectoire au nombre de secondes affiché. Elle permet de surpasser si on le désire les limitations de Period limit et Hyper limit en donnant un temps pour le tracé. Si les deux limiteurs automatiques sont mis en défaut cette valeur permet d'éviter un affichage bizarre à multi orbites
Tgt weak Pe 2 choix possibles (Yes/No)	Yes = le Periapsis "Weak" est affiché. Weak (Faible) veut dire que le Periapsis se trouve hors de la sphère d'influence (voir plus loin) Sinon on affiche Strong (Fort)
One Pe/Ref 2 choix possibles (Yes/No)	Yes = seul un Periapsis par référence ou objet est affiché (le plus près) Des corps en mouvement rapide peuvent avoir plusieurs Periapsis, un pour chaque période de rotation
RefAltitude	Permet de modifier l'altitude de référence de l'atmosphère pour la rentrée. Par défaut 120k (en cours de développement)
Method	Choix de la méthode d'intégration pour le calcul de trajectoire (Pas de choix pour le moment)
Use Celbody	Yes or No permet d'utiliser ou non les informations sur certains corps célestes venant de l'interface Orbiter
Adaptive Adapt.Tol	En cours de développement

Pour le simple Orbitonaute seuls "**Time Limit**" et "**RefAltitude**" sont à régler éventuellement.

Si on dispose d'un PC puissant on peut jouer sur **Legs/frame** et **Accuracy** pour améliorer la précision. Laisser les autres à leur valeur par défaut.

Orbites particulières

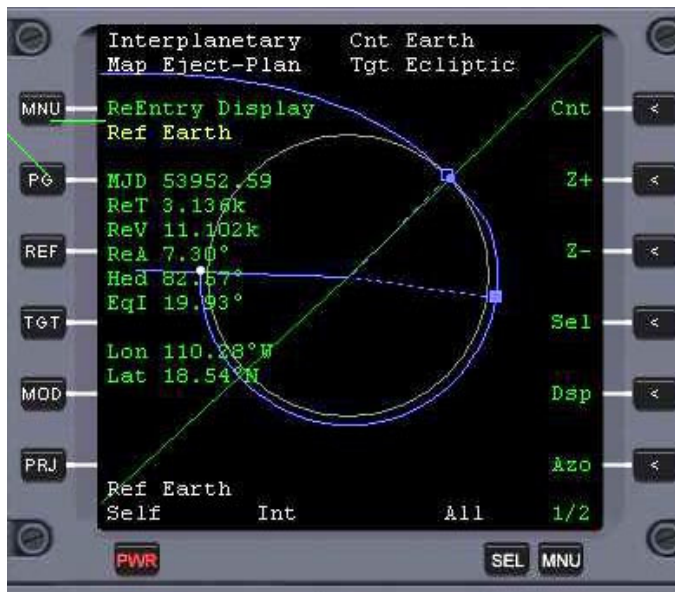
<TGT> permet la sélection soit de l'objectif (en entrant par exemple Moon pour la Lune) soit d'orbites particulières en entrant comme objectif un des symboles ci-dessous

g	Une orbite locale équatoriale (LEO) dont le rayon est le même que celui de l'orbite géostationnaire (orbite ou le satellite reste au dessus du même point du corps de référence)
e	Orbite dans le plan écliptique (non visible)
r	Orbite de la planète de référence (non visible)
l	Orbite locale équatoriale (non visible)

Ces orbites peuvent être utiles pour effectuer des manœuvres comme la mise en orbite géostationnaire.

Page pour rentrée

On l'affiche en utilisant la touche MOD



Ce module peut être utile pour des vols de style Apollo

Il reste encore des fonctionnalités à ajouter mais actuellement il est opérationnel

On trouvera les informations suivantes permettant de guider la rentrée pour une orbite en pénétration

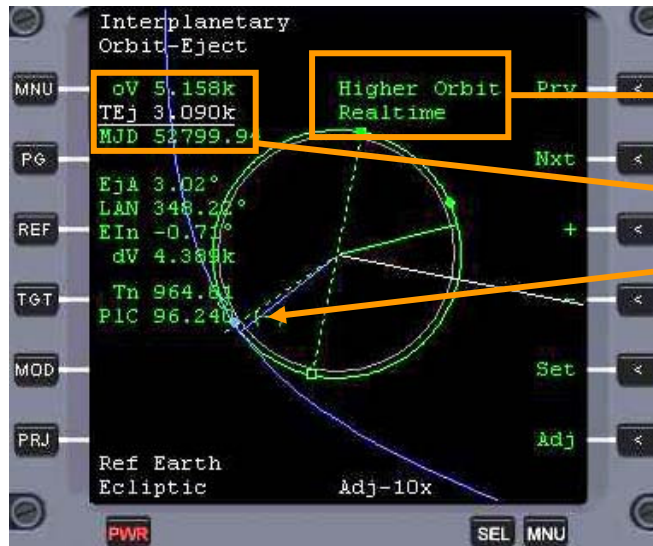
MJD	Date
ReT	Temps pour rentrer
ReV	Vitesse de rentrée
ReA	Angle de rentrée
HeD	Cap de rentrée
EqI	Inclinaison sur le plan équatorial
Lon	Longitude du point d'entrée dans l'atmosphère à l'altitude fixée dans Map-config (voir page 7)
Lat	Latitude du point d'entrée dans l'atmosphère à l'altitude fixée dans Map-config (voir page 7)

2.2 – Orbit-Ejection (Ejection en orbite)

Ce module est utilisé pour le lancement sur une orbite de transfert qui nécessite d'échapper à la planète de référence courante.

On l'utilise pour voyager entre des planètes ou des lunes.

On ne l'utilise toutefois pas pour un voyage Terre-Lune car on ne quitte pas l'influence de la Terre et l'on utilisera dans ce cas le module Course seul



Six modes sont sélectionnables (premier item en haut à droite) pour choisir l'origine du calcul

Trois paramètres sont modifiables: **oV , Tej et Tra**

La ligne pointillée verte est la position de lancement préconisée par le calculateur.

Signification des différents boutons pouvant apparaître à droite des pages 1 ou 2 (PG)

Prv / Next (précédant / suivant)	Permet si cela est possible de se déplacer pour sélectionner une donnée (PeD par ex) ou un mode (Periapsis par ex) pour le modifier Le texte s'affiche alors en surlignage jaune
+ / -	Ajuste la valeur sélectionnée en plus ou en moins. Maintenir pour répéter
Set	Permet d'introduire une valeur directement depuis le clavier en tapant des chiffres suivis d'un coefficient multiplicateur
Adj	Ajustement de la vitesse de modification d'une donnée (1x 10x 100x) Voir le texte en bas de l'écran pour le réglage en cours
Z+/Z-	Zoom de l'écran
BV	Commande manuelle d'allumage et affichage du temps de combustion ABT et du temps avant allumage TtB
AB	Commande automatique d'allumage

Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information

(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

oV	C'est la différence de vitesse requise pour entrer en orbite de transfert.
TEj	Temps pour l'éjection
MJD	Date pour l'éjection
EjA	Angle entre les tangentes aux orbites au point d'éjection
LAN	Longitude du nœud ascendant par rapport à l'écliptique
EIn	Inclinaison entre le plan de l'orbite du vaisseau et le vecteur d'échappement (direction de la poussée) Si cet angle dépasse 1° le texte "Bad Plane" (Mauvais Plan) apparaît pour signaler que l'on va s'écarter de façon significative de l'orbite actuelle
dV	Vitesse à ajouter à celle du vaisseau par allumage
Tn	Temps pour atteindre le point optimal pour le changement de position de l'orbite (nœud)
PIC (+/-)	Amplitude d'allumage pour alignement et position pour le faire (+ ou -)

Choix des modes

Les choix possibles pour sélectionner la source de données pour la mise en orbite d'échappement sont les suivants

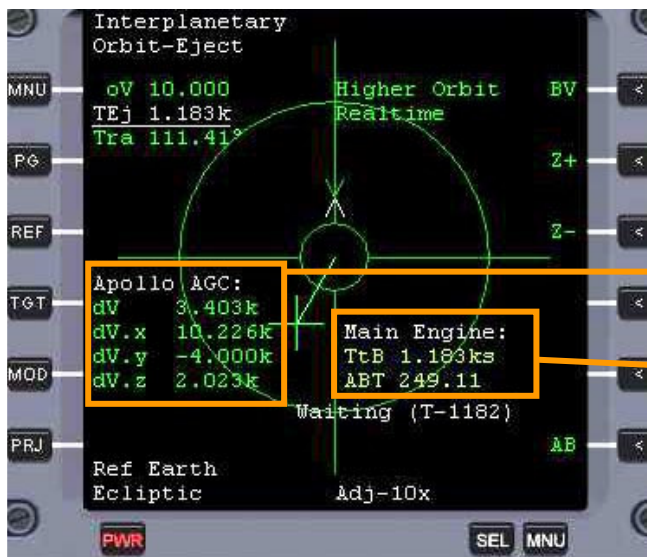
Choix	Higher orbit	Ce lancement en orbite est réalisé dans le sens de déplacement de la planète. Il convient particulièrement pour rejoindre des planètes d'orbites extérieures à notre orbite comme Mars ou Jupiter sur une orbite de Hohmann
	Lower orbit	Ce lancement en orbite est réalisé dans le sens inverse au déplacement de la planète. Il convient particulièrement pour rejoindre des planètes intérieures à notre orbite comme Mercure ou Venus et pour le trajet Lune-Terre sur une orbite de Hohmann
	Course	Vecteur d'échappement (vecteur vitesse) généré par le programme Course que nous verrons plus loin
	BaseApproach	Vecteur d'échappement généré par le programme BaseApproach que nous verrons plus loin
	Sling-Shot	Vecteur d'échappement généré par le programme Sling-Shot que nous verrons plus loin
	SBCalc	Utilisation d'un vecteur d'échappement auxiliaire
Contrôle d'allumage	Manual Burn Auto Burn	Auto burn permet le contrôle automatique du moteur.

Retenons pour simplifier que nous utiliserons principalement Lower Orbit et Higher Orbit pour nos lancements.

Contrôle d'allumage

La touche <BV> de la page 2 permet d'appeler ce module de contrôle qui permet de réaliser un allumage manuel en centrant la croix en utilisant le RCS en mode rotation.

L'action sur BV permet à tout moment d'afficher TtB et ABT tout en conservant la possibilité de faire varier un paramètre si on cherche à réduire ABT



En **Auto Burn**, le module affiche un texte **Waiting (T – <nombre>)** qui donne le temps d'attente avant allumage

Deux touches Z+ et Z- ne sont pas actives

Données utilisables pour le calculateur de bord AGC dans la mission Apollo

Temps avant allumage et durée d'allumage

Ce module est utilisable pour tous les autres modes qui vont suivre

2.3 - Course (Parcours Interplanétaire)

Ce module comprend plusieurs sous modules permettant de réaliser un transfert interplanétaire, la correction de la course et l'approche de l'objectif

Quand on le sélectionne dans le menu on ouvre une page permettant différents choix de sous modules



Les touches Prv et Next permettent le choix et la touche Set permet de sélectionner le sous programmes.

Les sous programmes ont plusieurs pages qui font apparaître les boutons standards à gauche et les boutons spécialisés à droite

Quand on se trouve dans un des sous-modules on revient au menu ci-dessus en utilisant Prv ou Nxt pour se placer sur le nom du sous –module (en haut à gauche) et en faisant +

Signification des différents boutons pouvant apparaître à droite des pages

Prv / Next (précédant / suivant)	Permet si cela est possible de se déplacer pour sélectionner une donnée (PeD par ex) ou un mode (Periapsis par ex) pour le modifier Le texte s'affiche alors en surlignage jaune
+ / -	Ajuste la valeur sélectionnée en plus ou en moins. Maintenir pour répéter
Set	Permet d'introduire une valeur directement depuis le clavier en tapant des chiffres suivis d'un coefficient multiplicateur
Adj	Ajustement de la vitesse de modification d'une donnée (1x 10x 100x) Voir le texte en bas de l'écran pour le réglage en cours
Z+/Z-	Zoom de l'écran
Src	Permet de sélectionner une source. Si on choisi une planète ou une lune un vecteur (direction) d'échappement est généré au lieu d'un vecteur de combustion
Cnt	Centre le Periapsis théorique de l'objectif dans l'écran. Utilisable en mode d'interception
AB	Allumage automatique (Auto Burn)
AUX	Permet d'introduire un vecteur de combustion (en mode Sling Shot)
BV	Appel de la mire pour contrôle d'allumage manuel

Nous allons examiner les différents modules en commençant par les moins utilisés.

2.3.1 – Tangential Transfer

Ce module permet le calcul d'une trajectoire tangentielle entre les orbites de deux corps dépendant d'un même corps de référence.

Par exemple Terre-Mars (référence Sun) ou Terre Lune (référence Earth)

Après le choix de l'objectif par la touche **TGT** et de la source par la touche **SRC**, le module demande uniquement un paramètre d'entrée qui peut être donné de deux façons :

- un temps d'éjection **TEj**
- une date d'éjection **MJD**

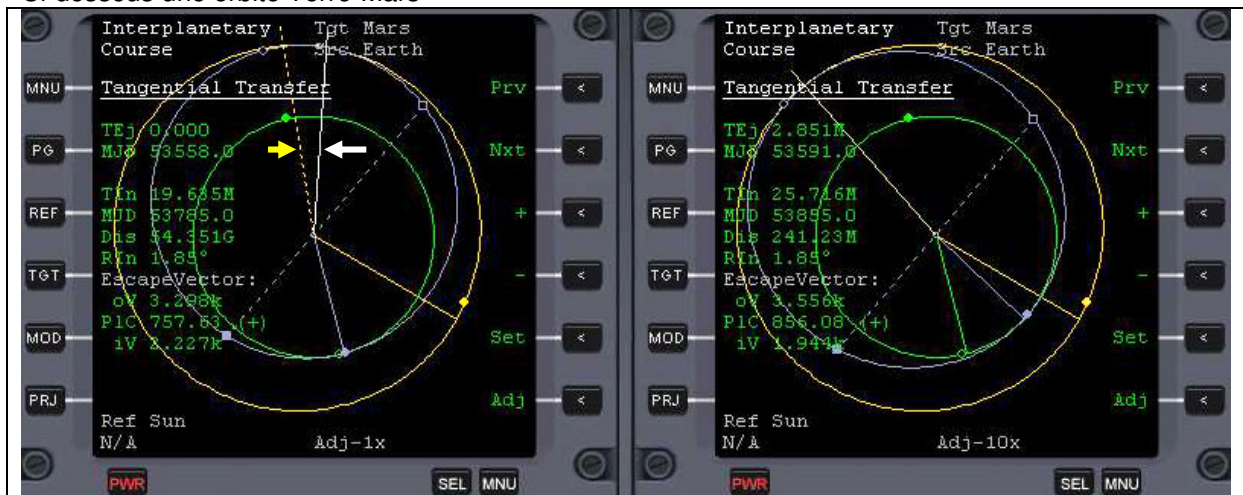
Une orbite de transfert est calculée. Elle est tangente avec l'orbite de la source et l'orbite de l'objectif (rappelons que deux courbes sont tangentes quand elles ne se coupent pas et se touchent en un seul point)

Les plans orbitaux doivent être alignés

L'orbite de la source peut être hyperbolique (courbe ouverte) mais l'orbite de l'objectif doit être elliptique ou circulaire.

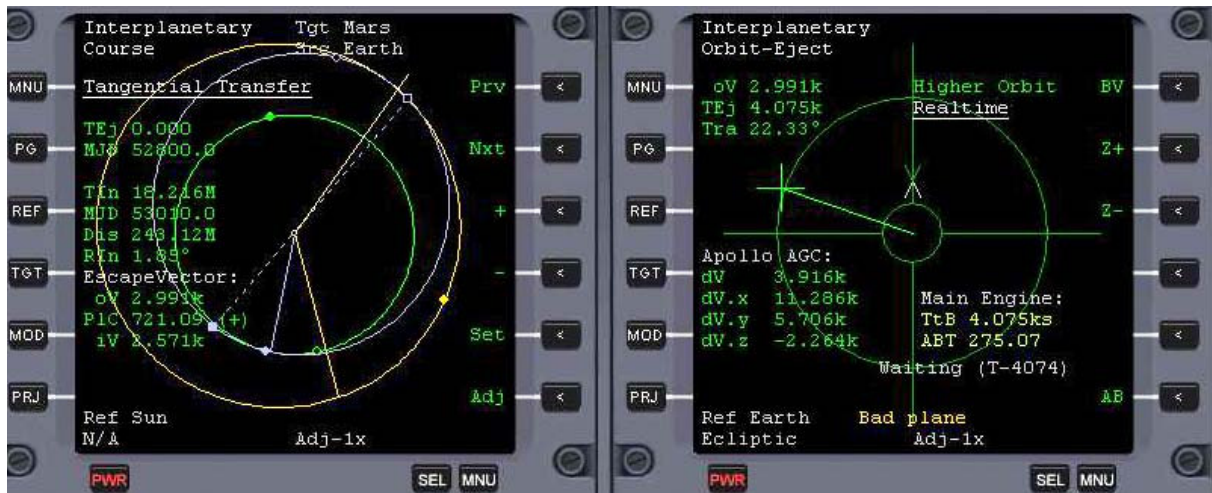
Il est possible de prendre comme objectif une orbite locale équatoriale (target **g**) ou une orbite écliptique (target **e**) et de définir le rayon de l'orbite désirée. Dans ce cas la position de l'objectif n'est pas signalée

Ci-dessous une orbite Terre-Mars



La ligne blanche pleine indique une position d'intersection des orbites et la ligne jaune pointillée indique la position de l'objectif au temps de l'intersection.

Si nécessaire, on fait varier MJD et si les deux lignes sont superposées comme sur l'affichage de droite on intercepte parfaitement l'objectif à cette position. Il ne restera plus qu'à allumer en couplant un MFD Orbit-Eject couplé en Op'Shared (par ID=0) au module Tangential transfert



Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information

(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

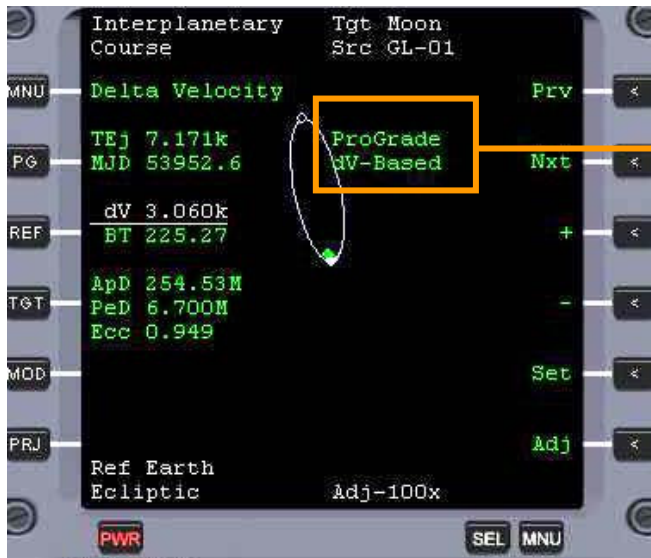
TEj	Temps d'éjection
MJD	MJD pour l'éjection
Rad	Rayon de l'orbite de l'objectif (si c'est possible)
Tin	Temps pour l'intersection
MJD	MJD pour l'intersection
Dis	Distance entre les positions de la source et de l'objectif
RIn	Inclinaison relative entre les orbites
PIC (+/-)	Durée et position (N+ ou N-) pour l'alignement des plans
ABT	Temps de combustion pour la mise sur l'orbite

De même que pour le module Orbit-Ejection on peut utiliser le module de contrôle d'allumage manuel.

2.3.2 – Delta Velocity

C'est un ancien module de transfert utilisé dans une version précédente qui permet de jouer sur la vitesse d'éjection dV à ajouter ou retrancher à la vitesse actuelle ou le temps de combustion pour l'éjection

Il est préférable d'utiliser les modules Planar Intercept et Planet Approach



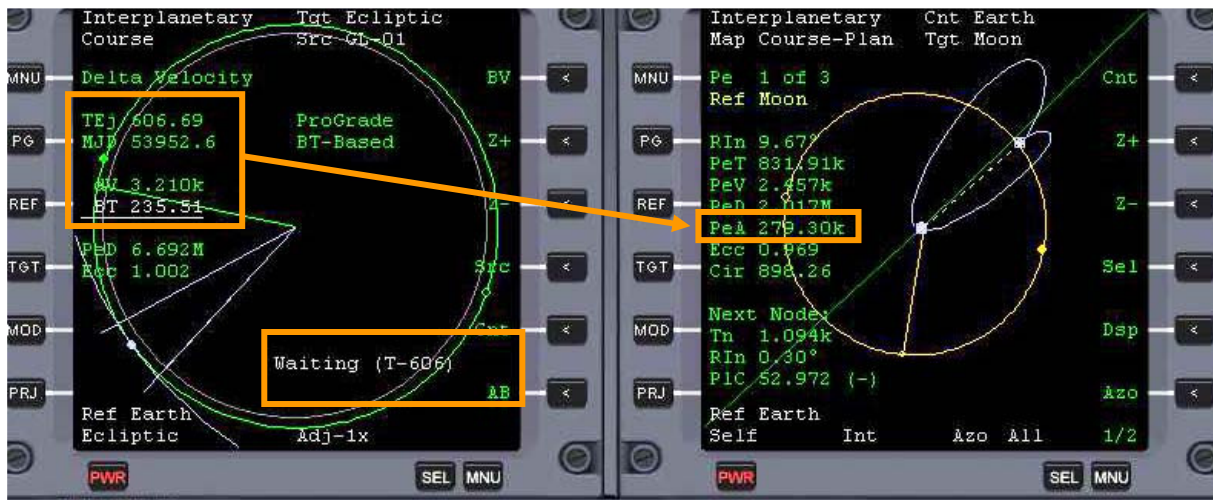
Choix du mode Prograde ou Retrograde et de réglage de dV ou BT
Sélectionner par Prv/Nxt puis +

TEj doit être au moins égal à 5s pour que le module soit opérationnel (mettre au moins 200s pour avoir le temps de positionner le vaisseau)

Si le temps de combustion dépasse 7200s, seul le mode BT-Based est utilisable

Il est possible de coupler le module en Op-Shared avec un module Map sur le deuxième MFD et de régler TEj et BT pour ajuster l'altitude PeA sur Map à la valeur souhaitée (exemple pour Terre Lune)
Ensuite passer en autoburn AB sur Delta Velocity

On ne peut pas régler très finement l'altitude par cette méthode, mais ça marche !



Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information

(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

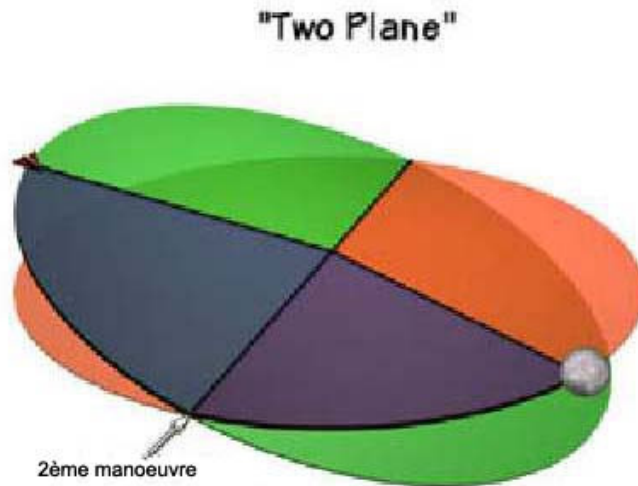
TEj	Temps d'éjection
MJD	Date d'éjection
ApD	Distance de l'Apoapsis
PeD	Distance du Periapsis
Ecc	Excentricité de l'orbite
dV	Vitesse d'éjection à ajouter ou retrancher suivant le mode Prograde ou Rétrograde
BT	Temps de combustion

2-3-3 – Target Intercept

Ce module est le module principal de navigation pour les transferts interplanétaires et les corrections en route.

Il offre quatre sous modules possibles :

- Two Plane qui permet le transfert en suivant le plan orbital de la source puis le plan orbital de l'objectif, le changement de plan se faisant en un point nodal

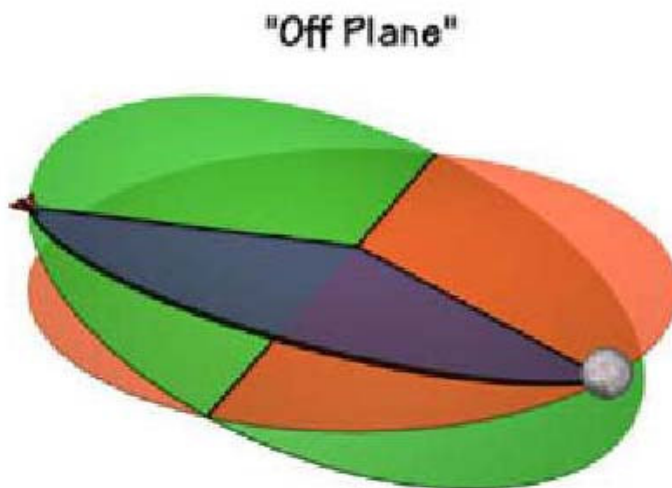


On suit le plan orbital de la planète de départ (en vert) puis le plan orbital de la planète objectif (en orange)
Le changement de plan se fait en un point nodal.

Si possible il faut intercepter l'objectif en un nœud et à défaut, essayer de faire le changement de plan le plus loin possible du corps de référence de départ pour économiser le carburant.

L'idéal est de placer le point de changement de plan sur l'objectif.

- Off-Plane Intercept qui permet le transfert direct de la source à l'objectif sans manœuvre de changement de plan

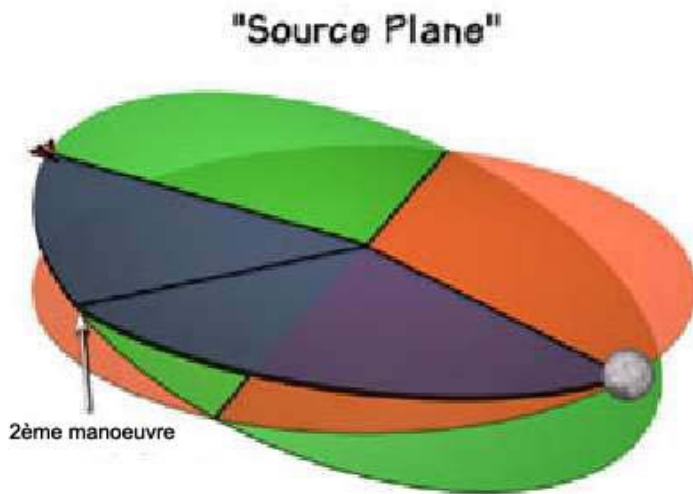


Le vecteur de combustion est calculé pour faire décrire une orbite de transfert (dans le plan violet) dont le plan coupe l'orbite de l'objectif en un point nodal.

Si l'objectif est à l'opposé de la planète de départ, l'inclinaison de l'orbite de transfert peut être très grande.

Cette manœuvre peut être très onéreuse en carburant et il vaut mieux la faire avec des plans orbitaux les plus alignés possible

- **Source Plane** permet le transfert en suivant une trajectoire qui suit celle de la source pendant un certain temps puis une deuxième manœuvre permet un changement de plan pour rejoindre l'objectif par une orbite de type **Off-Plane Intercept**



De façon normale, la deuxième manœuvre se fait 90° avant le point d'interception de l'objectif

Dès la fin du premier allumage, on peut se préparer à l'allumage automatique du deuxième en utilisant **Prep PIC**

- **Target Plane** permet le transfert en suivant une trajectoire de type **Off-Plane Intercept** pour aboutir dans le plan de l'objectif et se continuer après une deuxième manœuvre qui permet un changement de plan pour rejoindre l'objectif



De façon normale, la deuxième manœuvre se fait 90° après le début du Off-Plane

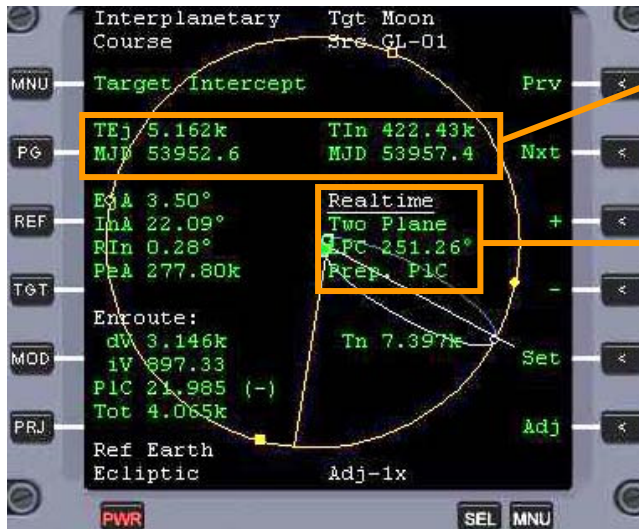
Dès la fin du premier allumage, on peut se préparer à l'allumage automatique du deuxième en utilisant **Prep PIC**

Cette solution est un bon choix pour un transfert Terre-Mars

On retrouve les mêmes données et paramètres de réglage dans chacun des sous modules. En général après le choix du mode de transfert souhaité, les seuls réglages à effectuer par rapport à la solution calculée sont de modifier le moment de l'éjection et celui de l'interception si on le souhaite.

On peut également faire un réglage de LPC qui est l'angle du nœud de changement de plan et dans ce cas le mode passe automatiquement en mode **Manual Src** ou **Manual Tgt** suivant le mode qui était sélectionné. Ce réglage agit sur l'inclinaison relative d'insertion par rapport à l'objectif

On peut également choisir si on veut être en mode **Realtime** ou **Prograde** pour le vecteur de combustion sauf dans le mode Off Plane ou il doit être obligatoirement en dehors du plan de l'orbite de la source. En mode **Prograde** on ne peut pas régler le moment **TEj** du départ



Temps d'éjection souhaité **TeJ** et date **MJD** associée
Temps d'interception souhaité **Tel** et date **MJD** associée

Choix Realtime ou Prograde
Choix du mode de transfert
Réglage possible de LPC
Préparation à la deuxième manoeuvre

Si rien n'est précisé le programme fait un calcul avec des valeurs par défaut.

Le programme calcule une orbite d'interception de l'objectif désigné après un temps de transfert ou à une date spécifiée.

Il peut être utilisé pour les corrections de la course.

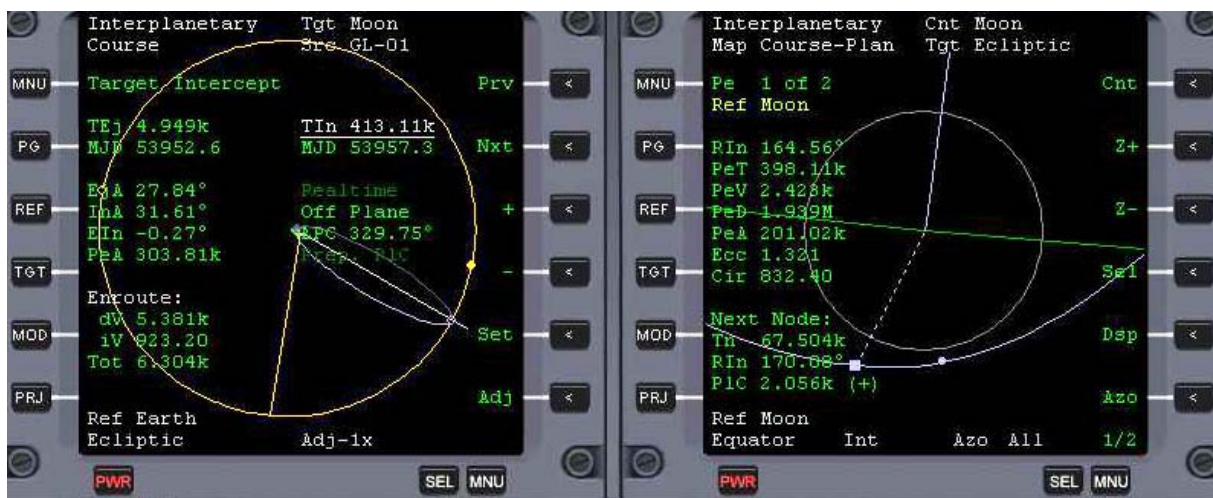
Une ligne bleu clair donne la position de l'interception

On ne peut pas désigner les plans particuliers comme objectif

Le programme génère un vecteur de combustion qui est en général ni Prograde, ni Rétrograde. Pour cette raison il faut conserver le mode Realtime

Ci-dessous à gauche le module Target Intercept en mode Off Plane associé au module Map (par le choix Op-Shared) pour le calcul d'une orbite Terre-Lune.

Attention à entrer dans la page Config de Map (voir page 7) un Time Limit au moins égal au temps de transfert TIn si on veut voir apparaître la trajectoire au Pe de la Lune .sur le module Map pour effectuer les réglages.



Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information

(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

TEj	Temps d'éjection
MJD	MJD pour l'éjection
Tin	Temps pour l'intersection
MJD	MJD pour l'intersection
EjA	Angle entre les tangentes aux orbites au point d'éjection
InA	Angle entre les tangentes aux orbites au point d'intersection
RIn	Inclinaison relative entre les orbites
PeA	Altitude du Periapsis
PIC (+/-)	Temps d'attente et position (N+ ou N-) pour l'alignement des plans
Tol	dV total en m/s
dV	dV requis en m/s
oV	vitesse d'échappement en m/s
1V	Vitesse d'insertion en m/s

Si on utilise Off-Plane les angles EjA et InA comprennent l'angle d'erreur d'alignement

De même que pour le module Orbit-Ejection on peut utiliser le module de contrôle d'allumage manuel.

Cas de l'interception d'une station

Le module **Off-Plane** peut être utilisé pour intercepter une station orbitale.

La représentation graphique peut être mauvaise, mais les chiffres sont corrects.

Il est recommandé de réaliser l'interception à un Periapsis ou un Apoapsis de l'orbite théorique calculée (HTO)

2.3.4 – Planet Approach

Ce module permet facilement de changer l'altitude et l'inclinaison équatoriale de l'orbite à condition que l'on se trouve dans les conditions suivantes:

- le vaisseau est proche de la sphère d'influence (SOI) de la planète
- la trajectoire est hyperbolique (trajectoire ouverte)

L'inclinaison ne peut cependant pas être choisie inférieure à l'inclinaison courante de l'orbite.

Si on veut une inclinaison inférieure il convient de faire un changement de plan avec un allumage N+ ou N- exécuté en un nœud descendant ou ascendant de l'orbite.

Min EqI et **Max EqI** signalent les limites d'ajustement possible pour l'inclinaison



Il est souhaitable d'exécuter l'allumage requis par ce module le plus loin possible de la planète cible pour minimiser la consommation de carburant.

On peut envisager un allumage jusqu'à trois fois la distance de la SOI et refaire une correction plus tard. C'est plus économique.

Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information

(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

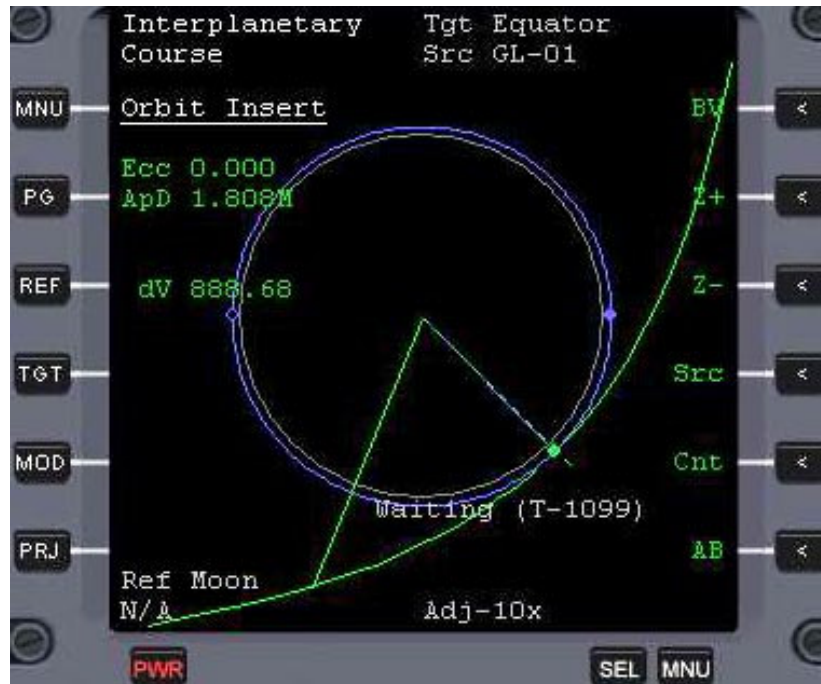
EqI	Inclinaison équatoriale de l'orbite
PeA	Altitude du periapsis
TeJ	Temps pour l'ejection
MJD	Date pour l'éjection
Rnc	Inclinaison relative de l'objectif
EIn	Angle entre la position de la source et le plan de l'objectif
PeT	Temps au periapsis
AgP	Angle entre le Periapsis et la ligne des noeuds
Cir	Temps de combustion pour circulariser au Periapsis
TtB	Temps pour atteindre le point d'allumage (affichage par BV)
ABT	Temps de combustion restant (affichage par BV)
dV	dV requis en m/s

De même que pour le module Orbit-Ejection on peut utiliser le module de contrôle d'allumage manuel ou automatique en appel par BV ou AB sur la page 2 en faisant PG

2.3.5 – Orbit Insert

Ce module est utilisable à proximité de la planète pour réaliser une insertion en orbite en donnant soit la valeur de l'Apoapsis souhaité, soit la valeur de l'excentricité souhaitée.

On voit sur la photo une approche de la Lune pour mise en orbite circulaire $Ecc=0$. Par défaut, le programme prend une valeur de l'Apoapsis égale à celle du Periapsis calculé pour la trajectoire.



Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information
(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

Ecc	Excentricité de l'orbite
ApD	Altitude de l'Apoapsis
dV	Vitesse à ajouter ou retrancher à celle du vaisseau par allumage suivant PG ou RG
TtB	Temps pour atteindre le point d'allumage (affichage par BV)
ABT	Temps de combustion (affichage par BV)

La page 2 permet le zoom et l'allumage manuel par BV ou automatique par AB

De même que pour le module Orbit-Ejection on peut utiliser le module de contrôle d'allumage manuel en appel par BV sur la page 2 mais ça n'a pas un grand intérêt.

2.4 – BaseApproach (Approche d'une base)

Ce module est utilisé pour atteindre une base ou un point situé sur une planète avec ou sans insertion en orbite préalable

Il doit être utilisé assez loin de la planète pour avoir une meilleure synchronisation entre l'orbite et la base. Il est bon de l'utiliser à la limite de la sphère d'influence.

Deux types d'approche peuvent être sélectionnés

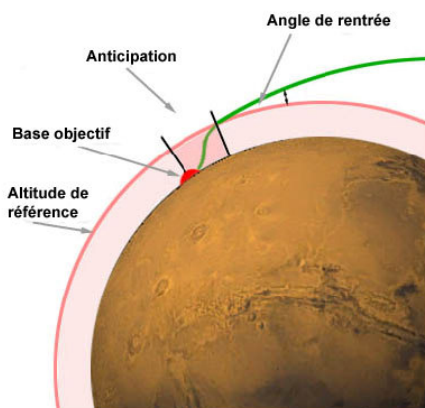
Re Entry	L'objectif est la rentrée directe (variante possible avec Re Entry (old))
Orbit Insert	L'objectif est l'insertion en orbite avant rentrée

2.4.1 – Approche pour Re Entry

Ce mode est utilisé pour une rentrée directe sur la base choisie

Il faut remarquer que souvent le point de rentrée ne se situe pas au Periapsis. Il est souhaitable qu'il en soit le plus proche possible en cas de présence d'une atmosphère, sinon l'angle de rentrée sera trop prononcé et le vaisseau brûlera.

Si on souhaite réaliser une orbite d'insertion proche du Periapsis, il faut essayer de minimiser l'angle ReA. S'il est plus grand que zéro, le Periapsis n'aura pas l'altitude que l'on a choisit.

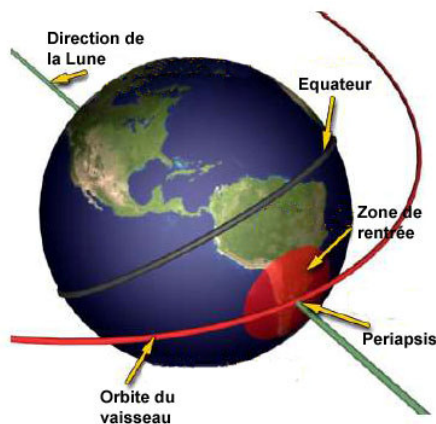


L'angle d'anticipation de la rentrée va permettre de régler le temps pendant lequel le vaisseau va être soumis au ralentissement par l'atmosphère.

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

La figure montre que pendant tout le temps de décélération dans l'atmosphère, l'angle de rentrée va varier.

Orbite elliptique (cas du retour de la Lune avec Apollo)



On rejoint la terre à l'opposé de la position de la Lune. Comme ReA est proche de 5° , la zone de rentrée est proche du Periapsis

La latitude du Periapsis dépend de la position de la Lune et la taille de la zone d'atterrissage dépend de l'angle ReA

L'inclinaison de la Lune est d'environ 23° par rapport à l'équateur terrestre donc la zone visée devra être située entre 23°N et 23°S de latitude

En raison de la rotation de la Terre toutes les longitudes pourront être atteintes dans cette bande de latitude

Orbite hyperbolique (cas de l'approche d'une planète)



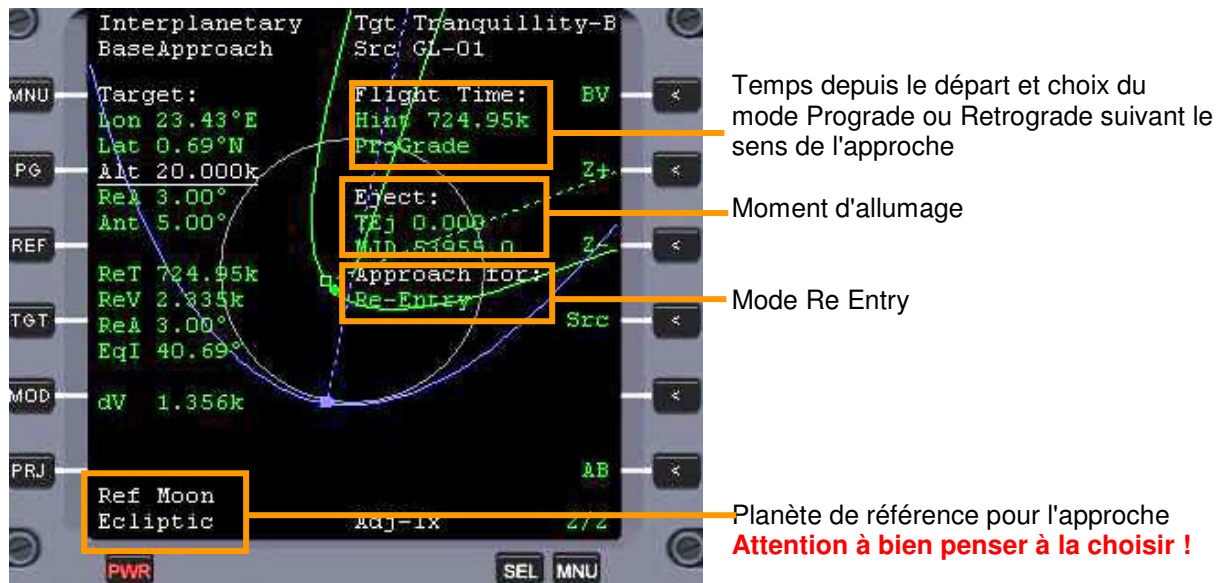
L'orbite hyperbolique permet de faire tourner le periapsis autour de la planète. De cette façon, la zone d'atterrissage est un anneau

Suivant la valeur de l'excentricité, l'anneau sera plus ou moins grand..

Quand l'excentricité tend vers 1 on se rapproche des conditions de l'orbite elliptique.

Effectuer la première synchronisation loin de la planète environ 500000s avant le passage au periapsis ce qui peut se situer avant d'entrer dans la sphère d'influence.

On pourra faire deux autres synchronisations vers 100000s et 15000s

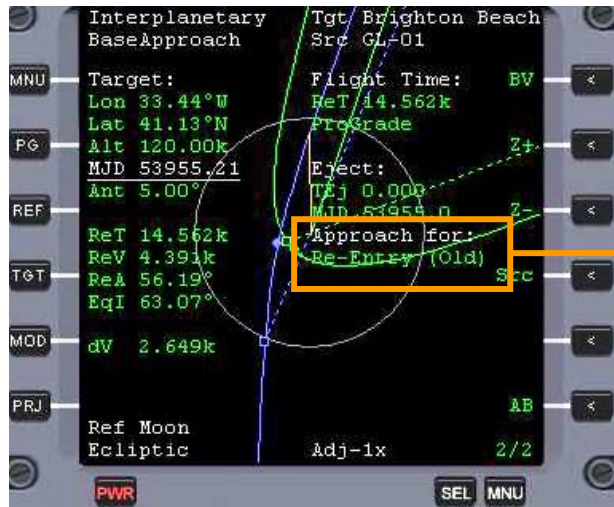


Signification des différents textes pour les données modifiables et d'information
(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

Lon	Longitude ouest et latitude nord du point visé comme objectif
Lat	Si on a défini une base (Tgt <nom>) comme dans la figure de gauche ce sont ses coordonnées Si on entre les coordonnées que l'on souhaite on passe en Tgt GEO qui s'affiche en haut à droite pour montrer que l'on reste dans le plan écliptique de l'orbite Des valeurs négatives introduites en utilisant le bouton <Set> (page 2) du module correspondent à l'ouest et au sud (par exemple si on entre -40 pour Lat on affiche 40.00°S)
Alt	C'est l'altitude de référence au point de réentrée. Normalement c'est l'altitude à laquelle l'atmosphère a une influence sensible.
ReA	On peut prendre 80k pour la Terre, 8k pour Mars, 0k pour la Lune
Ant	Angle de rentrée à l'altitude de référence. Il est souhaitable d'essayer de le réduire le plus possible pour entrer dans une atmosphère sinon ça brûle ! Angle d'anticipation de rentrée. Il donne le point de rentrée à l'altitude de référence par rapport à la base. Plus l'atmosphère est ténue plus cet angle doit être grand car le freinage atmosphérique prend plus de temps
Hint	C'est le temps de vol depuis le départ qui doit être ajusté pour trouver la solution si elle est possible
TEJ	Permet le réglage du moment d'allumage si on préfère ce mode de réglage.
MJD	Date d'allumage
Prograde	Type d'orbite (sens de rotation de la planète)
Retrograde	Type d'orbite (sens inverse de la rotation de la planète)
ReT	Temps de réentrée
ReV	Vitesse de réentrée
EqI	Angle entre le plan de l'orbite du vaisseau et le plan de l'équateur de la planète (plan perpendiculaire à son axe de rotation) Sur l'affichage, la courbe grise est l'équateur et les lignes jaunes indiquent la longitude et la latitude de l'objectif (target)
dV	Variation de la vitesse à réaliser
TtB	Temps pour atteindre le point d'allumage (affichage par BV)
ABT	Temps de combustion (affichage par BV)

Un mode Re-Entry (Old) permet comme avec l'ancien module TEI Approach de régler l'instant de rentrée prévu en MJD

ReT se substitue à Hint et MJD est affiché à la place de ReA dans la colonne de gauche pour permettre le réglage



ReT se substitue à Hint et MJD est affiché à la place de ReA dans la colonne de gauche pour permettre le réglage du moment d'arrivée

Mode Re Entry (Old)

2.4.2 – Approche pour Orbit-Insert

Ce mode est utilisé pour établir une orbite passant au dessus de la base à une altitude définie et à se synchroniser

Dans ce cas, Alt définit l'altitude du Periapsis

L'orbite devra être circularisée au Periapsis si on veut avoir une bonne synchronisation



Num peut être utilisé pour définir le nombre d'orbites en attente avant d'atterrir.

Si Num = 0 cela signifie qu'il n'y a qu'une fraction d'orbite avant d'atterrir et on peut ne pas avoir assez de temps pour la déorbitation avant de se poser.

En principe une approche sur la Lune ne pose pas de problème.

2.5 – Orbital (Mise en orbite)

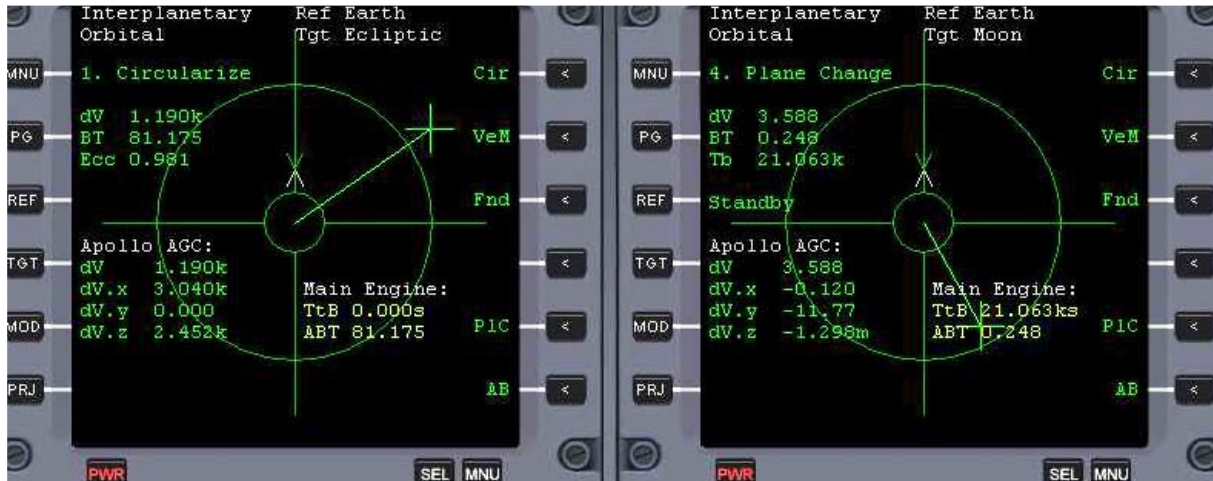
Ce module permet de réaliser un allumage contrôlé manuellement ou automatiquement pour effectuer certaines manœuvres orbitales.

La touche <AB> permet de passer en allumage automatique

Sur la droite, les touches permettent les choix suivants:

Cir	Cir =circulaire .Ce choix permet de rendre l'orbite circulaire autour de la planète de référence en gardant l'altitude qu'a le vaisseau au moment de l'allumage
VeM	VeM = Vitesse Match. Ce choix permet d'ajuster la vitesse du vaisseau à celle de la cible choisie par <TGT>. C'est utile en approche d'une station spatiale ou d'une petite lune
Fnd	Fnd = Find (Trouver) .Oriente le vaisseau vers la cible choisie par <TGT>

PIC	<p>Aligne le plan de l'orbite avec le plan de l'orbite de la cible en manuel ou automatique. Peut être exécuté sur des orbites très elliptiques ou la méthode traditionnelle échoue. Après exécution du changement de plan penser à appuyer à nouveau sur <PIC> pour déverrouiller la vitesse</p> <p>L'allumage fait diminuer le Periapsis temporairement. Si vous arrêtez l'allumage en cours faites attention à ne pas risquer de percuter la planète</p>
------------	---



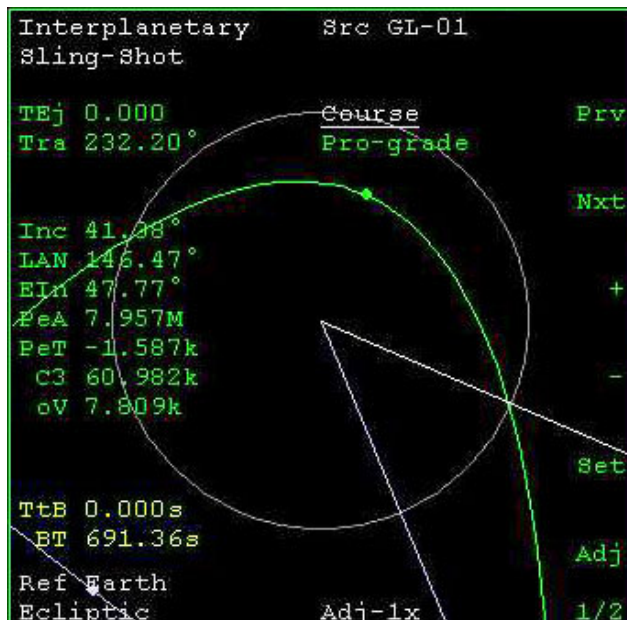
Ci-dessus, les deux choix les plus utiles.

On retrouve les données déjà vues sur les autres modules.

2- 6 – Sling-Shot (Effet de fronde)

Ce module sert à modifier l'orbite vers un autre objectif et peut être utilisé pour allumer ou éteindre pendant un vol.

Techniquement ce module est proche du module Orbit Ejection avec une interface d'utilisation similaire.



Il est utilisé pour modifier la trajectoire vers un nouvel objectif et peut être utilisé pour des changements avec ou sans propulsion.

Il crée des données d'allumage pour réaliser un allumage correctif en étant sûr que le vecteur de combustion sera le même que celui calculé par le programme de transfert (course) vers le nouvel objectif.

Les sources d'information pouvant être utilisées (ici Course par exemple) sont les mêmes que pour le module Orbit-Eject. Elles peuvent être choisie par le menu en haut à droite

TEj et Tra permettent de modifier le moment et le point d'éjection mais en principe il vaut mieux exécuter l'allumage dès que possible et on ne modifie pas

L'éjection peut être effectuée au choix dans le sens Prograde ou Rétrograde par rapport à la planète de référence. Faire attention au choix pour ne pas risquer de percuter la planète et bien vérifier que l'altitude **PeA** du Periapsis est suffisante.

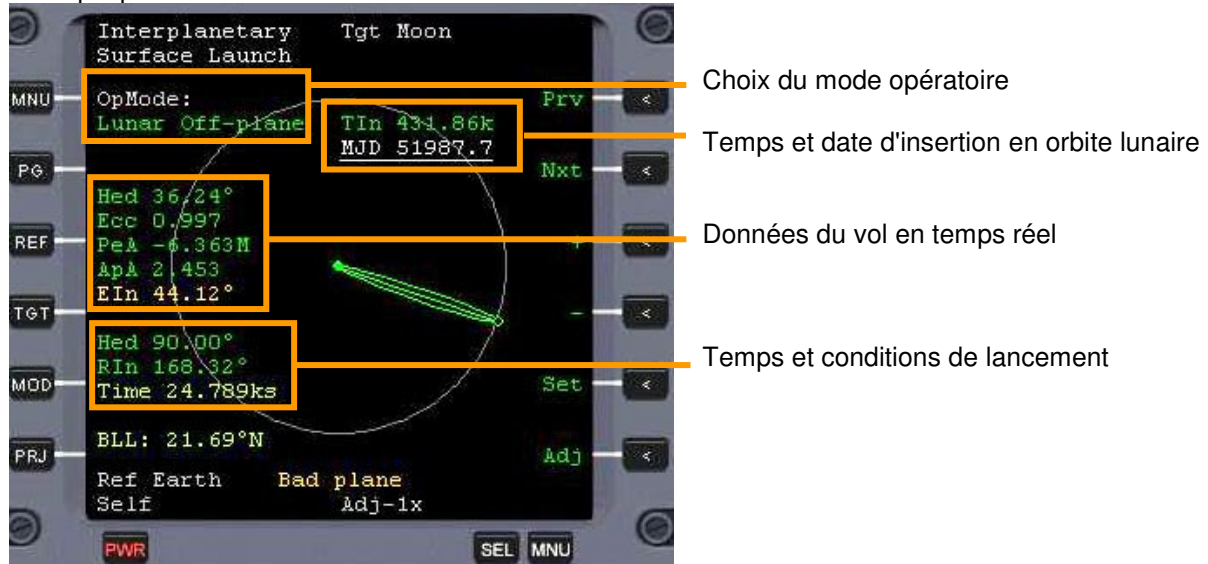
Ce module ne comprend aucune fonction d'optimisation ou de planification du Sling-shot ?

2.7 – Surface Launch (Lancement depuis la surface)

Ce nouveau module fait à partir de la surface la même chose que les modules Orbit Eject et Target Intercept de l'ancienne version.

Il peut être utilisé pour un lancement dans une orbite lunaire de transfert ou tout autre orbite interplanétaire générée par les modules Course, BaseApproach ou Slingshot

Exemple pour une insertion lunaire



Modes opératoires

Il y a 6 modes opératoires qui peuvent être couplés en mode Op-Shared en correspondance avec votre plan de lancement

Course-Program	Couplage possible avec Course-Program
BaseApproach	Couplage possible avec BaseApproach
Slingshot	Couplage possible avec Slingshot
Higher-Orbit	
Lower-Orbit	
Lunar off-plane	Couplage possible avec Target Intercept en mode Off-Plane

Time donne le meilleur temps de lancement possible. Il y en a deux en 24 heures pour la Lune. On peut lancer quand on veut à un cap donné par **Hed** dans l'affichage des données en temps réel mais ça ne sera pas un lancement optimisé. Durant la montée, votre vaisseau devra se mouvoir avec ce cap. Il ne suffit pas d'orienter son nez dans cette direction mais il faut t orienter le vecteur de déplacement (croix dans un rond)

Il faut essayer d'avoir **EIn** le plus près de zéro possible avant l'insertion en orbite. On peut agir sur lui en modifiant le cap de 1 à 5° à gauche ou à droite de Hed suivant que EIn est positif ou négatif.

Le lancement initial au cap de 90° est favorable pour bénéficier de la rotation de la Terre. Le lancement à un autre cap est possible mais il consomme plus de carburant. Le lancement à 90° n'est pas possible si l'angle du vecteur d'échappement requis par la mission est supérieur à la latitude du point de lancement. Pour cette raison il est favorable de lancer le plus près possible de l'équateur (Kourou est idéal)

BLL donne la latitude optimale pour le lancement mais on n'est pas obligé de lancer de là.

Hed dans les données de vol en temps réel donne le cap optimal de lancement. Le lancement dans cette direction est à faire quand Time = 0.

RIn est l'inclinaison relative entre l'orbite de transfert et l'orbite de la cible.

Les conditions de lancement disparaissent après le lancement.