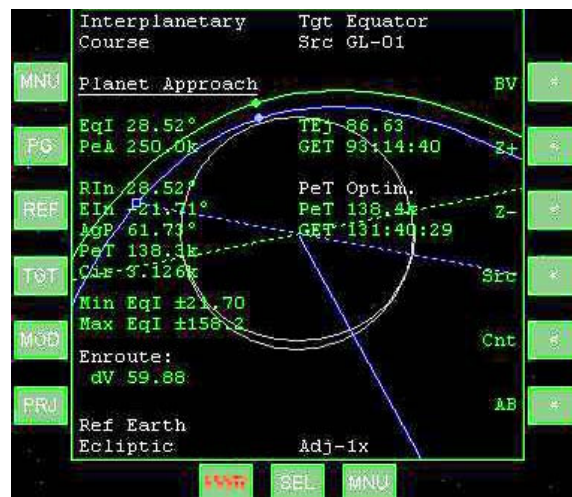


## Utilisation de IMFD version 5.3

### 1<sup>ère</sup> partie – Théorie

Par Papyref

Mai 2009



### INDEX

0 - Introduction	page 02
1 - Présentation et utilisation de IMFD	page 02
2 - Les différents modules	page 08
2.1 - Map	page 08
2.2 - Orbit Eject	page 12
2.3 - Course	page 13
2.3.1 - Target Intercept	page 15
2.3.2 - Tangential Transfert	page 20
2.3.3 - Planet Approach	page 21
2.3.4 - Orbit Insert	page 22
2.3.5 - Delta Velocity	page 23
2.4 - Base Approach	page 24
2.5 - Orbital	page 27
2.6 - Sling Shot	page 28
2.7 - Surface Launch	page 28

## 0 – INTRODUCTION

Le calculateur IMFD a été conçu par **Jarmo Nikkanen** que je remercie pour son travail. Vous pouvez le télécharger en dernière version 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 du vol spatial et je conseille aux débutants de lire ma note "Naviguer dans l'espace" qui se trouve sur le forum.

Les familiers des anciennes version trouveront probablement des différences d'utilisation avec cette version 5 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.

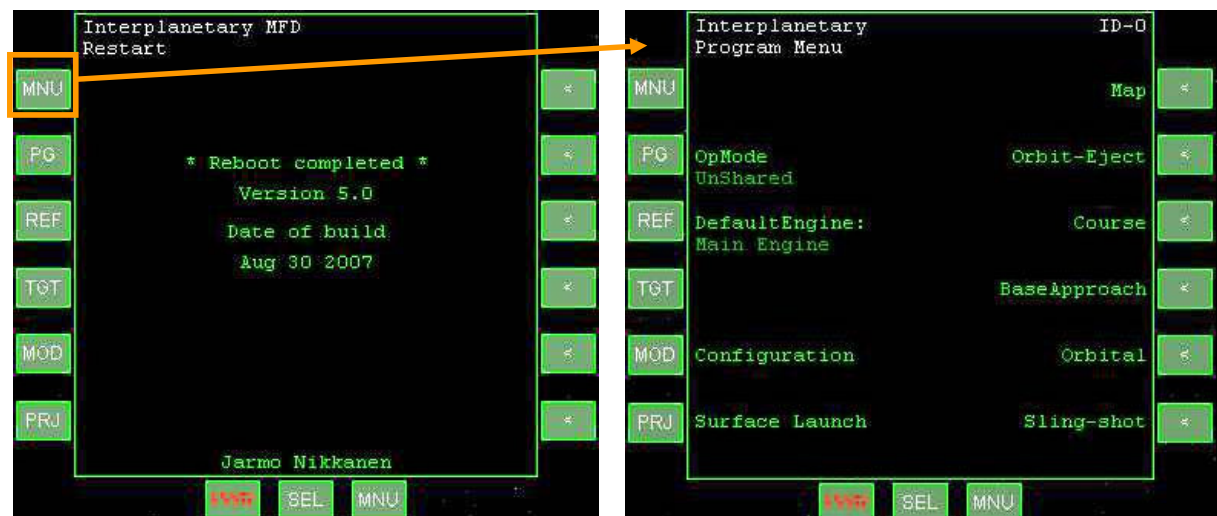
***Cette présentation est faite pour aider à découvrir cette version. Elle peut présenter des erreurs d'interprétation de ma part et ne préjuge pas des défauts encore existants et des évolutions futures.***

## 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 :

- **Activer InterMFD dans l'onglet Module du LaunchPad**
- 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 possibles à gauche puis le menu désiré à droite



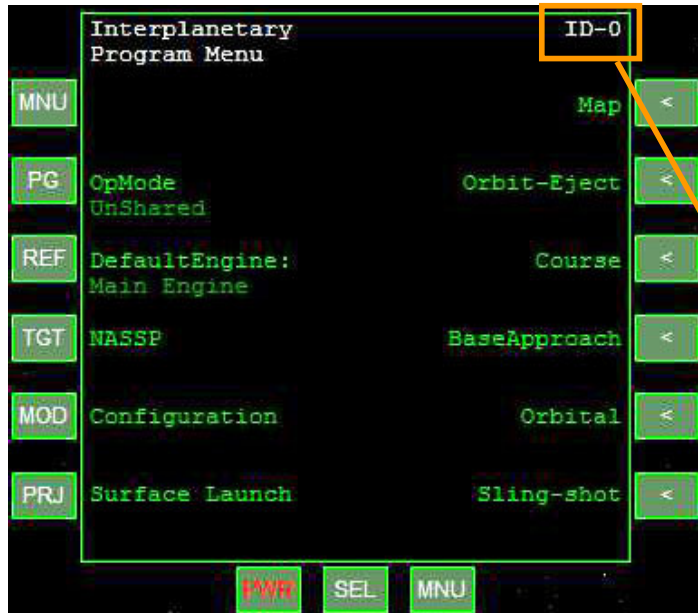
**Nota :**

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 cinq choix avec les touches de 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  
ID-0 est le MFD de gauche et ID-1 celui de droite

**Les boutons à gauche** qui sont toujours les mêmes pour les 6 modules de calcul permettent, si ils sont possibles, les choix suivants de haut en bas (en rouge pour le Program Menu)

Bouton	Équivalent clavier avec touche Shift droite gauche suivant MFD	Fonction
MNU	F	Retour a l'écran Program Menu.
PG	I	Changement de page d'affichage <b>Choix de OpMode dans le Program Menu</b>
REF	R	Désignation du corps de référence pour l'orbite <b>Changement du type de moteur utilisé dans le Program Menu</b>
TGT	T	Désignation de l'objectif <b>Affichage des données pour NASSP</b>
MOD	, (la virgule à droite du N)	Changement de mode d'affichage d'un programme <b>Ouverture du menu de Configuration globale</b>
PRJ	P	Changement de mode de projection de l'orbite <b>Choix du départ du sol</b>

**Les boutons à 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

## 1.2 - Les choix

- **OpMode** permet de choisir de travailler avec des MFD indépendants en mode Unshared ou de travailler avec un MFD dépendant en mode Shared d'un autre module lui transmettant des données (**un seul module doit être en mode shared**)

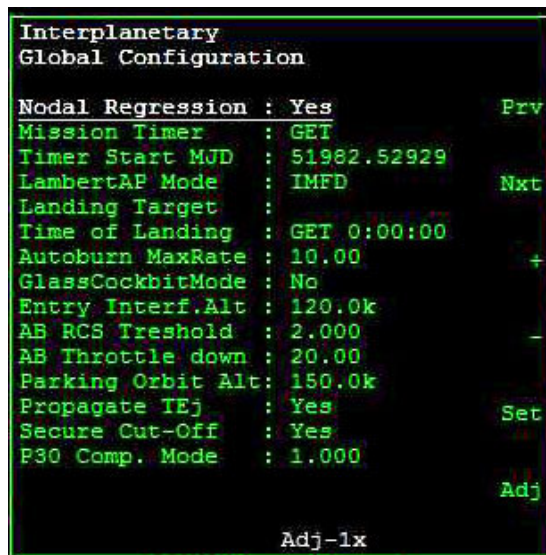
Si on veut coupler un MFD Interplanetary à un autre, il faut choisir dans le Program Menu le OpMode Shared en utilisant la touche PG et entrer le numéro d'identification 0 ou 1 du MFD auquel on se couple. On annule le couplage d'un MFD en redemandant son couplage avec son propre numéro.

- **Default engine** permet le choix du moteur à commander par défaut

En cliquant sur REF on cycle entre Main engine, Hover engine, Retro engine, RCS fore (en avant), RCS back (en arrière) et RCS up (vers le haut)

- **NASSP** affiche une page de données pour NASSP
- **Configuration** appelle le menu de configuration globale (voir ci-après)
- **Surface launch** affiche un MFD particulier pour réaliser un lancement depuis le sol (voir plus loin)

## 1.3 - Menu de configuration globale



Les paramètres peuvent être armés "YES" ou désarmés "NO" ou pour certains la valeur peut être modifiée.

Normalement en utilisation standard l'utilisateur ne modifiera suivant ses besoins que Mission Timer, Timer Start MJD, Time of Landing et Entry Interf.Alt

<b>Nodal regression</b>	En activant par Yes on autorise le calcul de la régression pour les orbites de la source et de l'objectif. La régression est un phénomène de décalage lent des points nodaux de l'orbite (précession) dû entre autres aux perturbations gravitationnelles des autres planètes ou à la non sphéricité de la planète autour de laquelle on se déplace. Plus l'orbite est basse et peu inclinée, plus le phénomène peut être important et atteindre une dizaine de degré par jour.
<b>Mission Timer</b>	Permet d'afficher sur les MFD, soit MJD soit GET (temps écoulé depuis le début de la mission)
<b>Timer Start MJD</b>	Permet de fixer la valeur de départ de la mission pour MJD (qui est normalement MJD prévu pour le lancement) Par défaut c'est le MJD du scénario qui est pris en compte.
<b>Lambert AP mode</b>	Permet de spécifier l'utilisation soit en mode IMFD normal soit en mode <b>Apollo P30</b> pour les missions Apollo
<b>Landing Target</b>	Permet de définir par son nom une base au sol comme objectif. Cette option est utilisée par le module Map

<b>Autoburn MaxRate</b>	Permet de fixer le facteur de vitesse angulaire maximum toléré pour l'orientation avec le RCS (10 par défaut)
<b>GlassCockpitMode</b>	Permet d'afficher ou non les textes des touches à droite du MFD
<b>Entry Interf.Alt</b>	Permet de définir l'altitude à laquelle l'atmosphère commence à se faire sentir s'il y en a une (par défaut 120 k pour la Terre)
<b>AB RCS Threshold</b>	Permet de définir un niveau de dV à partir duquel on passe sur RCS en translation pour finir la correction (par défaut 1m/s)
<b>AB Throttle down</b>	Permet de définir la limite pour dV à partir de laquelle la poussée est diminuée (30 par défaut)
<b>Parking Orbit Alt</b>	Permet de définir l'altitude pour une orbite de parking. Par défaut 150k pour la Terre
<b>Propagate TEj</b>	Permet d'améliorer la précision et la stabilité. Si on le désarme on peut avoir des erreurs dues à la gravitation non sphérique
<b>Secure cut-off</b>	Permet le tracé de la trajectoire sur Map en utilisant les données de coupure des moteurs pré calculées dans le module de navigation. Si désarmé, le tracé est effectué en simulant les paramètres d'allumage et de poussée des moteurs
<b>P30 comp. mode</b>	Permet le calcul en mode P30 pour NASSP pour calculer la compensation 1 est applicable pour la nouvelle version de NASSP et 2 pour les anciennes versions.

#### 1.4 - Écran 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 ( $e^1$  = multiplié par 10,  $e^2$  = multiplié par 100,  $e^3$  = multiplié par 1000 .....

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'écrit 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 UT en écrivant UT jj-mm-aaaa comme par exemple **UT 12-Jan-2008** (Attention ! à ne pas oublier d'écrire UT et d'utiliser des tirets et les abréviations des mois en anglais Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec)

On peut aussi ajouter le temps sur 24 heures en écrivant UT jj-mm-aaaa hh:mm:ss.s/10 (les 1/10 de secondes sont optionnels) Par exemple UT 12-Jan-2008 17:20:35.8

Si on entre 0 on affiche le temps courant.

**Le temps écoulé GET** peut être entré sous la forme GET hh:mm:ss.s/10. hh est un nombre d'heures pouvant être très grand. Par exemple **GET 26000:32:10.4** pour un temps de mission de presque 3 ans. Attention à bien utiliser GET et les deux points comme séparateurs.

#### 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 5,3 minutes avec l'accélération maximum de la simulation à 100000X (touche **T**)

Une telle accélération ne peut être utilisée qu'en route et pas dans les phases de départ et d'arrivée mais grâce à elle on peut faire un Terre-Mars en quelques minutes

### 1.5 - 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

<b>Ecliptic</b>	Projection sur le plan écliptique de l'orbite de la planète de référence
<b>Equator</b>	Projection sur le plan équatorial de l'orbite de la planète de référence
<b>Self</b>	Projection sur le plan de l'orbite du vaisseau
<b>Target (ou nom de l'objectif)</b>	Projection sur le plan de l'orbite de l'objectif (planète ou objet)
<b>HTO</b>	Projection dans le plan de l'orbite de transfert de Hohmann
<b>Periapsis</b>	Orbite du vaisseau au Periapsis de référence
<b>Rotate</b>	Rotation possible en affichage 3D

**Dans les modes Target Intercept , Delta Velocity et Planet Approach on peut réaliser un affichage 3D tournant avec la souris en tenant les touches Shift gauche + W (Z sur clavier QWERTY) pour le MFD de gauche et Shift droit + L pour le MFD de droite. Les touches utilisées peuvent être redéfinies par l'utilisateur dans le fichier IMFD.cfg**

### 1.6 - Couleurs

- Une orbite **verte** est l'orbite de l'objet sélectionné comme source avec **Src**

- 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 **bleue** 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 IMFD5.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.

### 1.7 - Contrôle d'allumage

Ce module est utilisable avec tous les autres modules qui vont suivre et qui permettent l'allumage.

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



Système de référence  
On utilise en général Vel.Frame

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

Temps avant allumage et durée d'allumage

En **Auto Burn (AB)** 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

Les valeurs dVf, dVp et dVi sont les valeurs des projections du vecteur vitesse sur les axes du référentiel choisi pour le vecteur vitesse.

Les valeurs sont affichées en valeurs de dV requises (required), appliquées (applied) et restantes (remaining)

**Vel.Frame (local velocity frame):** défini un système de référence dans lequel dVf pointe dans la direction du déplacement (prograde), dVp pointe dans la direction perpendiculaire au plan de l'orbite et dVi pointe vers l'intérieur de l'orbite perpendiculairement au plan formé par les deux directions précédentes.

Pour des raisons de compatibilité avec le calculateur AGC d'Apollo, la direction Normal + dans Orbiter correspond à une valeur négative de dVp afin de transmettre correctement les valeurs du vecteur vitesse

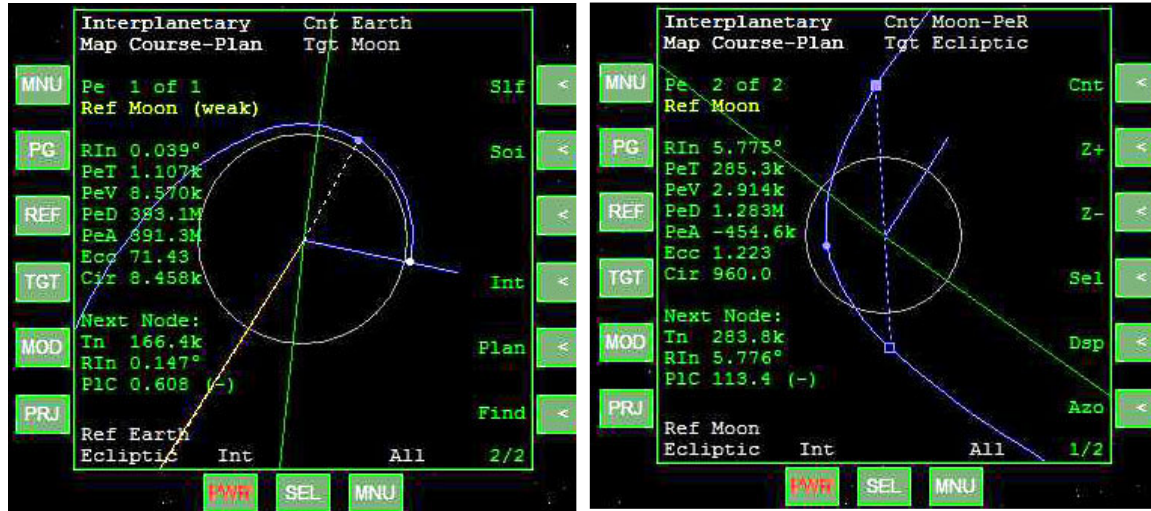
## 2 - LES DIFFERENTS MODULES

Nous allons étudier l'utilisation de principe des 6 modules de base que l'on trouve en ouvrant le menu

### 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 et de modifier l'affectation des touches de droite.

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

La trajectoire est zoomée et la référence a été prise centrée sur la Terre à gauche et au Periapsis de la Lune à droite pour montrer les différences (voir ci après pour les commandes)

#### Signification des boutons de droite:

<b>Cnt</b>	Centre sur l'affichage; la planète, la station ou le vaisseau dont on entre le nom. Si on rentre <b>x</b> pour le nom on centre le vaisseau Si on entre <b>p-&lt;nom&gt;</b> (par exemple p-moon) on centre le point de Periapsis de l'orbite près de la planète de référence Si on entre <b>r-&lt;nom&gt;</b> (par exemple r-mars) on centre sur la planète de référence
<b>Z+ et Z-</b>	Zoom de l'écran
<b>Sel</b>	Sélection du point de Periapsis ou d'Apoapsis dans le cas ou plusieurs sont possibles On peut avoir jusqu'à 3 points pour une orbite interplanétaire. 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 <b>&lt;N&gt; &lt;X&gt; of &lt;Y&gt;</b> N étant le nom Pe ou Ap, le premier chiffre X étant le rang du point dans le total et le deuxième chiffre Y représentant le nombre total de points possibles . En dessous de cet affichage, le nom de la planète a laquelle se rapporte le point est affiché Nous verrons cela en plus en détail en utilisant le module
<b>Dsp</b>	Change le mode d'affichage pour montrer toutes les planètes <b>ou</b> l'objectif courant et le vaisseau seulement Affichage du choix en bas de l'écran par <b>All</b> si tout est affiché
<b>Azo</b>	Met <b>en</b> ou <b>hors</b> service le zoom automatique. L'utilisation des boutons + ou - met



	cette fonction hors service Affichage du choix en bas de l'écran par <b>Azo</b> si en service
<b>Slf</b>	Rend visible ou pas l'orbite du vaisseau
<b>Soi</b>	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 <b>Soi</b> en bas de l'écran si en service
<b>Int</b>	Affichage du graphique d'interception (rayons blanc et jaune pointillé – voir § 1.6) Affichage de Int en bas de l'écran si en service
<b>Plan</b>	<b>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 si le MFD pour Plan est mis en OpMod Shared</b> Affichage en haut à gauche près du texte Map du nom du module qui pilote suivit de plan Par exemple <b>Map Course - Plan</b> signifie que l'on est sous la dépendance du module Course
<b>Find</b>	Cycle sur les différents objectifs possibles figurants dans le scénario (vaisseaux ou satellites)

**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)

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

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 306 sur 1000)

<Prv> et <Nxt> permettent de choisir un paramètre

<+> et <-> permettent de modifier le paramètre choisi

<b>Legs/frame</b>	Montre combien de legs(morceaux de trajectoire) sont calculées à chaque pas de calcul
<b>Accuracy</b>	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 !
<b>Mass Limit</b> ( 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
<b>Period limit</b> ( ne pas modifier normalement)	Limite automatiquement le tracé de la trajectoire à une seule orbite autour de la planète de référence (avec YES)
<b>Hyper limit</b> ( ne pas modifier normalement)	Limite automatiquement le tracé de la trajectoire à une hyperbole avec Periapsis à la planète de référence (avec YES)
<b>Time limit ( important ! )</b>	Cette valeur limite le temps de tracé de la trajectoire au nombre de secondes affiché. <b>Elle permet de surpasser si on le désire les limitations de Period limit et Hyper limit en donnant un temps pour le tracé.</b> <b>Si les deux limiteurs automatiques sont mis en défaut cette valeur permet d'éviter un affichage bizarre à multi orbites</b>
<b>Tgt weak Pe</b> 2 choix possibles (Yes/No)	<b>Yes</b> = le Periapsis "Weak" est affiché. Weak (Faible) veut dire que le Periapsis se trouve hors de la sphère d'influence (voir plus loin)
<b>One Pe/Ref</b> 2 choix possibles (Yes/No)	<b>Yes</b> = 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
<b>RefAltitude</b>	Permet de modifier l'altitude de référence de l'atmosphère pour la rentrée. Par défaut 120k
<b>Method</b>	Choix de variantes de la méthode d'intégration (méthode de Runge-Kutta) pour le calcul de trajectoire Trois choix possibles
<b>Use Celbody</b>	<b>Yes or No</b> permet d'utiliser ou non les informations sur certains corps célestes venant de l'interface Orbiter
<b>Adaptive</b>	<b>Yes or No</b> permet d'auto adapter ou non le pas de calcul de la méthode d'intégration
<b>Err. Tol.</b>	Tolérance d'erreur de calcul

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 paramètres à leur valeur par défaut.**

### Orbites particulières

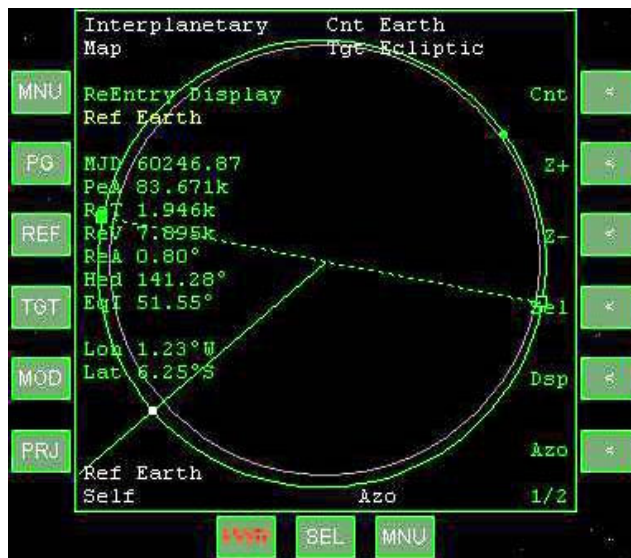
<TGT> permet la sélection soit de l'objectif (en entrant par exemple Moon pour la Lune ) soit d'orbites particulières en entrant comme objectif un des symboles ci-dessous

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

Seuls PeA et ReT sont affichés tant que l'orbite ne pénètre pas dans l'atmosphère.

On trouvera les informations suivantes permettant de guider la rentrée pour une orbite en pénétration. Elles sont données pour la rentrée dans l'atmosphère à l'altitude fixée dans Map-config

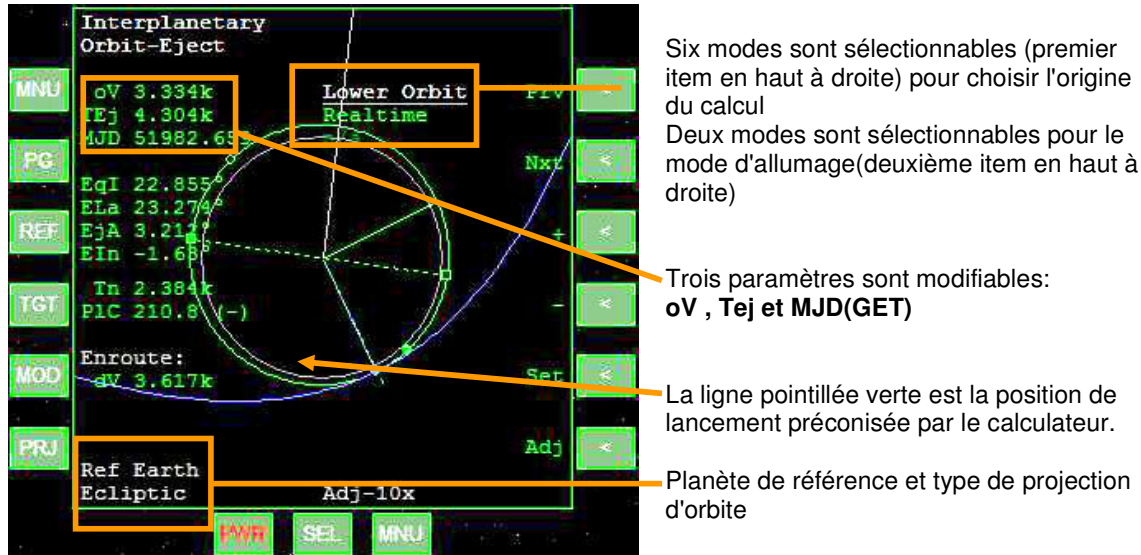
<b>MJD</b>	Date
<b>ReT</b>	Temps
<b>ReV</b>	Vitesse de rentrée
<b>ReA</b>	Angle de rentrée
<b>HeD</b>	Cap de rentrée
<b>EqI</b>	Inclinaison sur le plan équatorial
<b>Lon</b>	Longitude du point d'entrée <u>dans l'atmosphère</u> à l'altitude fixée dans Map-config (voir page 8)
<b>Lat</b>	Latitude du point d'entrée <u>dans l'atmosphère</u> à l'altitude fixée dans Map-config (voir page 8)

## 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 de la Terre vers la Lune car on ne quitte pas l'influence de la Terre et l'on utilisera dans ce cas le module Course seul



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

<b>Prv / Next (précédant / suivant)</b>	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
<b>+ / -</b>	Ajuste la valeur sélectionnée en plus ou en moins. Maintenir pour répéter
<b>Set</b>	Permet d'introduire une valeur directement depuis le clavier en tapant des chiffres suivis d'un coefficient multiplicateur
<b>Adj</b>	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
<b>Z+/Z-</b>	Zoom de l'écran
<b>BV</b>	Commande manuelle d'allumage et affichage du temps de combustion ABT et du temps avant allumage TtB
<b>AB</b>	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)

<b>oV</b>	Vitesse d'échappement pour la mise en orbite de transfert.
<b>TEj</b>	Temps avant l'éjection
<b>MJD(GET)</b>	Date pour l'éjection ou temps écoulé depuis le départ – voir page 4
<b>EqI</b>	Inclinaison équatoriale de l'orbite
<b>ELa</b>	Longitude du nœud ascendant par rapport à l'écliptique
<b>EjA</b>	Angle entre les tangentes aux orbites au point d'éjection
<b>EIn</b>	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
<b>Tn</b>	Temps pour atteindre le point optimal pour le changement de position de l'orbite (nœud)
<b>PIC (+/-)</b>	Amplitude d'allumage pour alignement et position pour le faire (+ ou -)
<b>dV</b>	Vitesse à ajouter à celle du vaisseau par allumage

### Choix des modes

Les choix possibles pour la mise en orbite d'échappement sont les suivants:

<b>Choix du mode de lancement</b>	<b>Higher orbit</b>	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. On couple avec Map pour les réglages
	<b>Lower orbit</b>	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 vers Terre sur une orbite de Hohmann. On couple avec Map pour les réglages
	<b>Course</b>	Vecteur d'échappement (vecteur vitesse) généré par le programme Course que nous verrons plus loin
	<b>BaseApproach</b>	Vecteur d'échappement généré par le programme BaseApproach que nous verrons plus loin
	<b>Sling-Shot</b>	Vecteur d'échappement généré par le programme Sling-Shot que nous verrons plus loin
<b>Choix du mode d'allumage</b>	<b>Realtime</b>	Le vecteur de lancement est calculé en temps réel. Ce mode n'est pas recommandé pour des allumages de longue durée en orbite basse comme un TLI. Il convient surtout aux corrections en route de courte durée
	<b>Off-Axis</b>	La poussée est appliquée suivant trois axes et peut être utilisé même si les plans des orbites ne sont pas parfaitement alignés <b>TEj doit être supérieur à 3 s</b> <b>Mode recommandé pour des manœuvres de longue durée en orbite basse comme TEI, TLI, éjection et insertion en orbite</b>

<b>Contrôle d'allumage</b>	<b>Manual Burn</b> <b>Auto Burn</b>	Appel de la mire par PG <b>AB</b> permet le contrôle automatique du moteur.
----------------------------	--	--

### Contrôle d'allumage

La touche <BV> de la page 2 permet d'appeler ce module de contrôle qui permet éventuellement de réaliser un allumage manuel en centrant la croix en utilisant le RCS en mode rotation. (voir page 7)  
Il est préférable de réaliser l'allumage automatique qui donne une grande précision.

### 2.3 - Course ( Parcours Interplanétaire )

***Ce module comprend cinq sous modules permettant de réaliser un transfert interplanétaire, la correction de la course et l'approche de l'objectif et des manœuvres en modifiant une ou plusieurs composantes du vecteur vitesse***

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 programme..

Les sous programmes ont plusieurs pages qui font apparaître les boutons standard 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

<b>Prv / Next (précédant / suivant)</b>	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
<b>+ / -</b>	Ajuste la valeur sélectionnée en plus ou en moins. Maintenir pour répéter
<b>Set</b>	Permet d'introduire une valeur directement depuis le clavier en tapant des chiffres suivis d'un coefficient multiplicateur puis Entrée
<b>Adj</b>	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
<b>Z+/Z-</b>	Zoom de l'écran
<b>Src</b>	Permet de sélectionner une source. Si on choisit une planète ou une lune un vecteur (direction) d'échappement est généré au lieu d'un vecteur de combustion
<b>Cnt</b>	Centre le Periapsis théorique de l'objectif dans l'écran. Utilisable en mode d'interception
<b>AB</b>	Allumage automatique (Auto Burn)
<b>AUX</b>	Permet d'introduire un vecteur de combustion (en mode Sling Shot)
<b>BV</b>	Appel de la mire pour contrôle d'allumage manuel

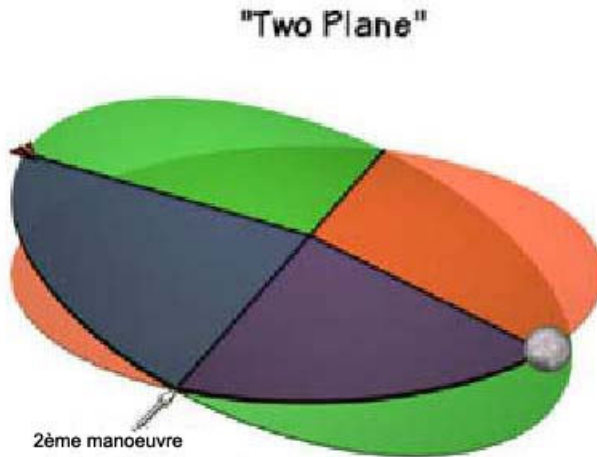
Nous allons examiner les différents sous modules.

### 2-3-1 – Target Intercept

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

*Il offre quatre modes de transfert 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

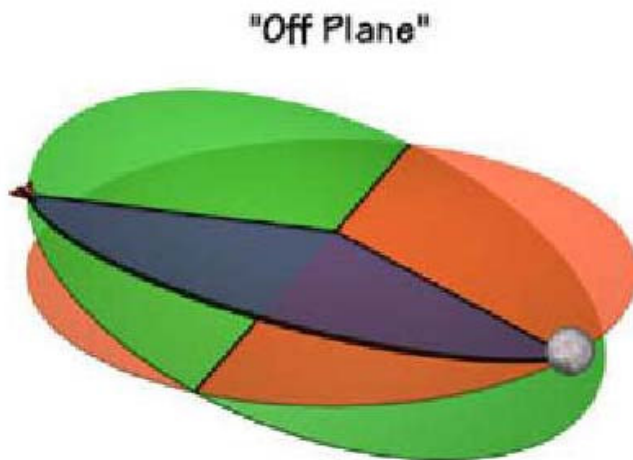


On suit le plan orbital de la planète de départ (en vert) puis le plan orbital de la planète objectif (en orange)  
Le changement de plan se fait en un point nodal.

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 manoeuvre de changement de plan

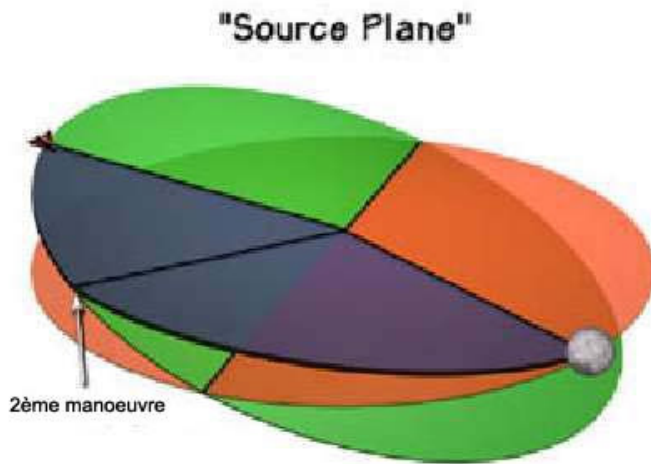


Le vecteur de combustion est calculé pour faire décrire une orbite de transfert (dans le plan violet) dont le plan coupe l'orbite de l'objectif en un point nodal.

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

Cette manoeuvre 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

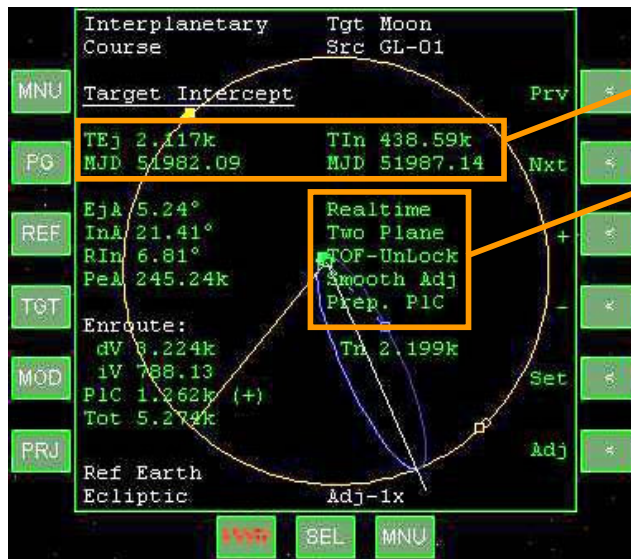
Dès la fin du premier allumage, on peut se préparer à l'allumage automatique du deuxième en utilisant **Prep PIC**

**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 **Off-Axis** pour le vecteur de combustion.



Temps d'éjection souhaité **TIn** et date **MJD(ou GET)** associée  
 Temps d'interception souhaité **TIn** et date **MJD (ou GET)** associée

Choix des modes (change par sélection et touche +)

- Choix Realtime ou Off –Axis
- Choix du mode de transfert
- Si TOF-Lock l'intervalle Tin-TEj est maintenu constant pendant le réglage de Tin ou TEj
- Smooth Adj permet le réglage de Tej ou Tin avec l'intervalle défini par Adj (1x, 10x ou 100x)  
 On peut choisir aussi Tgt period ou Src period qui prend automatiquement ces valeurs avec Adj
- Prep PIC 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 une date spécifiée.

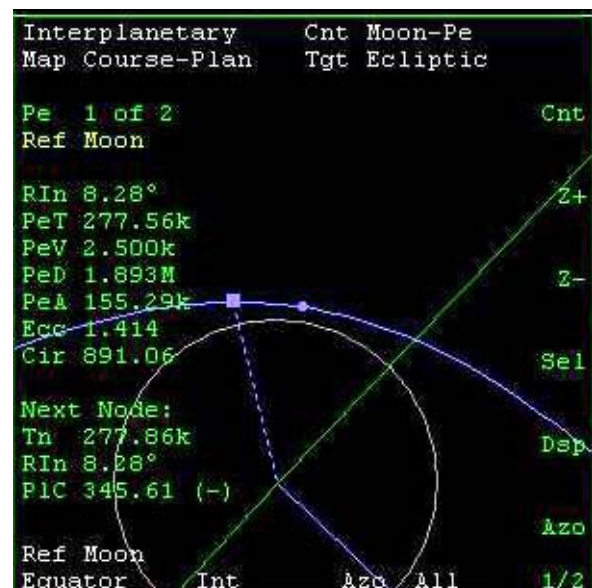
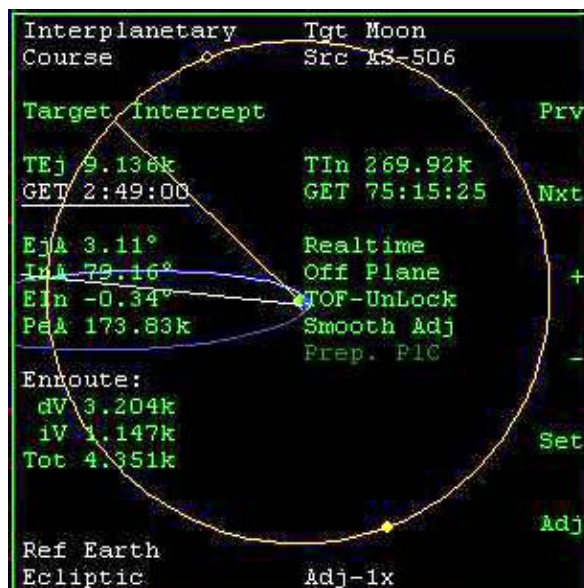
Il peut être utilisé pour les corrections de la course.

Une ligne bleu clair donne la position de l'interception

On ne peut pas désigner un plan particulier comme objectif

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 être sûr de 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)

<b>TEj</b>	Temps d'éjection
<b>MJD(GET)</b>	MJD pour l'éjection (temps écoulé depuis le départ) – voir page 4
<b>Tin</b>	Temps pour l'intersection
<b>MJD(GET)</b>	MJD pour l'intersection (temps écoulé depuis le départ) – voir page 4
<b>EjA</b>	Angle entre les tangentes aux orbites au point d'éjection
<b>InA</b>	Angle entre les tangentes aux orbites au point d'intersection
<b>Rln</b>	Inclinaison relative entre les orbites
<b>PeA</b>	Altitude du Periapsis
<b>PIC (+/-)</b>	Temps d'attente et position (N+ ou N-) pour l'alignement des plans
<b>Tol</b>	dV total en m/s
<b>dV</b>	dV requis en m/s
<b>oV</b>	vitesse d'échappement en m/s
<b>iV</b>	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.

**Mode RealTime**

**Il est bien adapté pour les manœuvres de correction en route MCC pendant lesquelles l'angle orbital parcouru pendant l'allumage peut être considéré comme petit.**

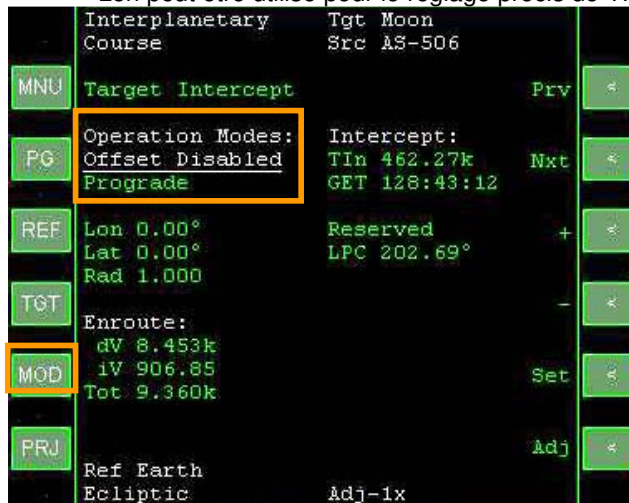
Dans ce mode, le programme calcule le vecteur vitesse de l'objectif en temps réel et celui-ci change en direction et en valeur pendant que le vaisseau se déplace.

**Mode Off-Axis**

**Il est bien adapté pour les manœuvres en orbite basse demandant un temps de combustion important comme une injection ou éjection en orbite terrestre ou en orbite lunaire**

**Il permet de déplacer par offset le point visé - qui est normalement le centre de la planète citée comme objectif TGT - pour ajuster le périgée**

- Rad permet d'ajuster la distance en m du périgée par rapport au centre de l'objectif.
- Lat permet d'ajuster l'inclinaison équatoriale Eql.
- Lon peut être utilisé pour le réglage précis de Tin



**Pour que le mode Off-Axis puisse être utilisé, il faut activer Operation modes en appelant la page de choix avec la touche MOD.**

Sélectionner Offset Disabled avec Prv/Next puis utiliser + pour avoir deux choix possible :

- ECL-Sphere
- Vel.Frame

On utilise normalement Vel.Frame  
Offset s'affiche en clignotant en bas à droite du module Course

**Prograde n'a pas d'utilité avec le mode Off-Axis et il ne faut pas le changer**



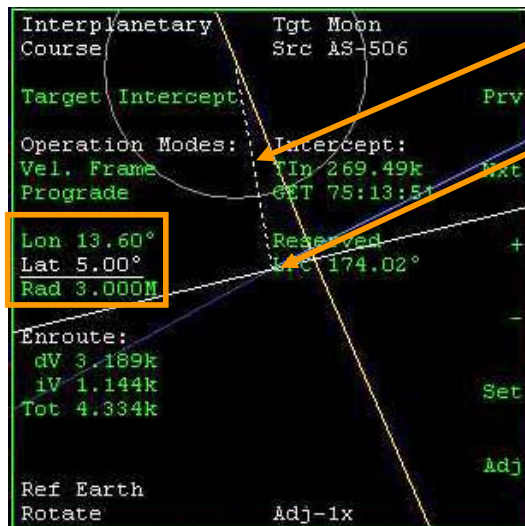
Le déplacement est défini dans un système de coordonnées sphériques par rapport à la planète

- **ECL-Sphere** définit le vecteur d'offset dans une sphère écliptique dans laquelle Lon=0 et Lat=0 correspondent à un point vernal.  
Un point vernal est un des deux points de la sphère céleste où l'équateur céleste et l'écliptique se croisent, ce qui se produit aux équinoxes de printemps et d'hiver
- **Vel. Frame** définit le vecteur d'offset par rapport au vecteur vitesse relative de l'objectif auquel correspondent Lon=0 et Lat=0.

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

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

<b>Tin</b>	Temps d'interception désiré
<b>MJD(GET)</b>	MJD pour l'interception (temps écoulé depuis le départ) – voir page 4
<b>Lon</b>	Longitude en degrés dans le système de référence de la planète
<b>Lat</b>	Latitude en degrés dans le système de référence de la planète
<b>Rad</b>	Distance en m par rapport au centre de la planète
<b>dV</b>	dV requis en m/s
<b>oV</b>	vitesse d'échappement en m/s
<b>iV</b>	Vitesse d'insertion en m/s



Le vecteur d'offset (décalage par rapport au centre de la planète) est représenté par une ligne pointillée jaune

On peut centrer sur le point d'Offset avec Cnt

Lon, Lat et Rad déplacent le point d'offset et permettent de réajuster la trajectoire en faisant varier PeA et Eql que l'on peut lire sur Map couplé à Course.

On peut faire une visualisation en 3D en tenant Shift gauche + W (ou Shift droit + L pour MFD de droite) et en bougeant la souris

### Cas de l'interception d'une station

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

Il faut aligner les plans puis choisir la station comme objectif.

L'ajustement de TEj et Tin permet de régler la valeur de PeA à une valeur suffisamment élevée (>180k est souhaitable) et le temps que l'on souhaite avoir pour le transfert qui conditionne BT. En refaisant un allumage quand on est proche de la rencontre on améliore la précision.

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

### 2.3.2 – 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)

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.

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 (ou GET)**

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)

Ci-dessous une orbite pour rejoindre ISS



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

On fait varier TEj ou MJD et si les deux lignes sont superposées on intercepte parfaitement l'objectif à cette position. Il ne restera plus qu'à allumer en AB ou en manuel en passant sur le module de contrôle d'allumage par **MOD**

Réduire Dis le plus possible.

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

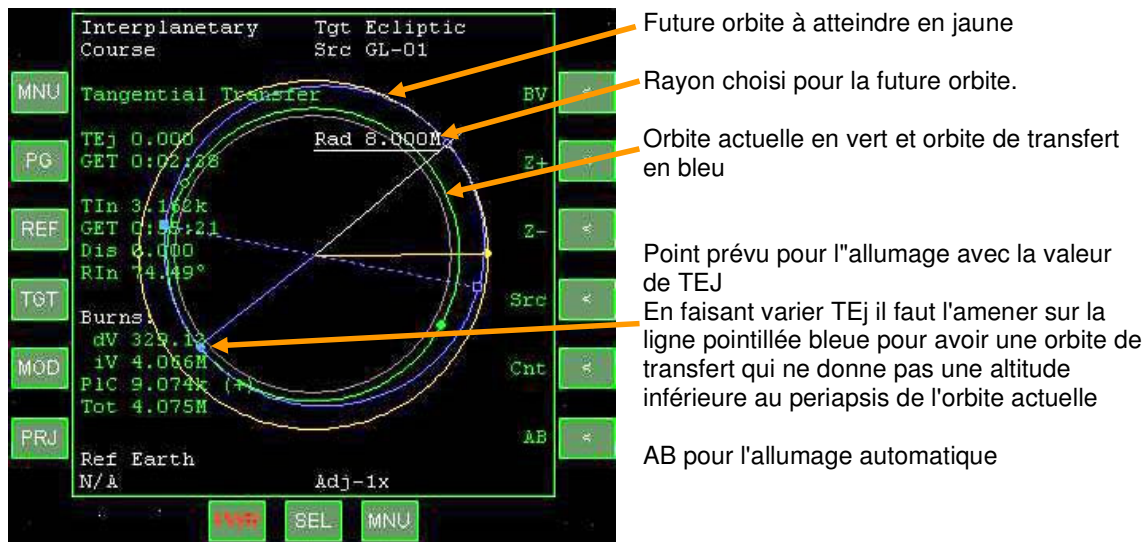
(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

<b>TEj</b>	Temps d'éjection
<b>MJD (GET)</b>	MJD ( ou GET) pour l'éjection - voir page 4
<b>Rad</b>	Rayon de l'orbite de l'objectif (si c'est possible)
<b>Tin</b>	Temps pour l'intersection
<b>MJD(GET)</b>	MJD (ou GET) pour l'intersection – voir page 4
<b>Dis</b>	Distance entre les positions de la source et de l'objectif
<b>Rln</b>	Inclinaison relative entre les orbites
<b>PIC (+/-)</b>	Durée et position (N+ ou N-) pour l'alignement des plans si nécessaire
<b>AB</b>	Temps de combustion pour la mise sur l'orbite tangentielle

#### Cas des orbites particulières

<**TGT**> permet la sélection d'orbites particulières en entrant comme objectif un des symboles ci-dessous

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



Rad ne doit pas être inférieur au rayon correspondant à l'altitude de l'atmosphère si il y en a une et au rayon de la planète si elle n'a pas d'atmosphère. Soyez prudent et gardez une marge suffisante

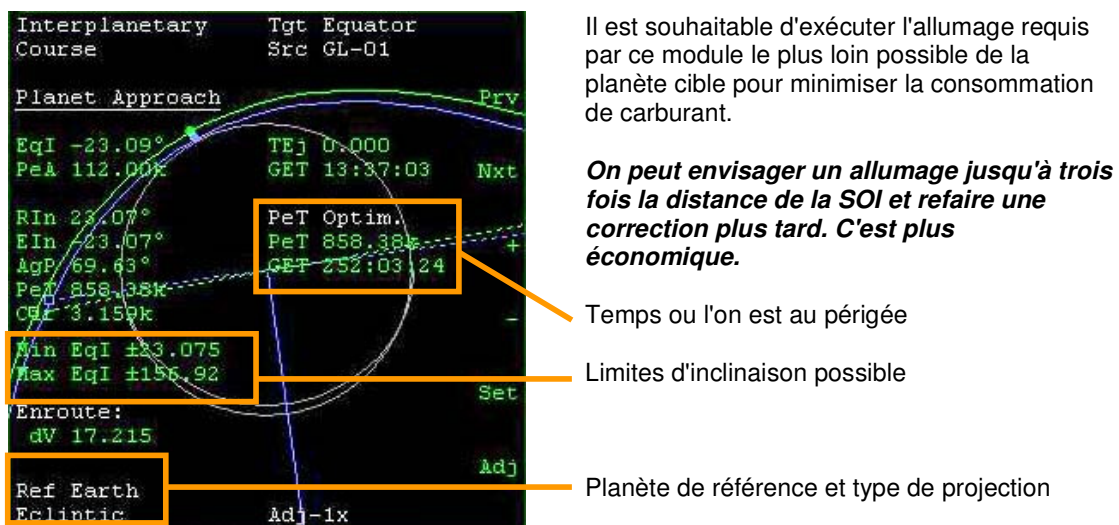
### 2.3.3 – Planet Approach

**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



**Attention à choisir la bonne planète de référence !**  
**Il est fâcheux par exemple d'avoir Ref Earth alors qu'on veut approcher Moon**

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

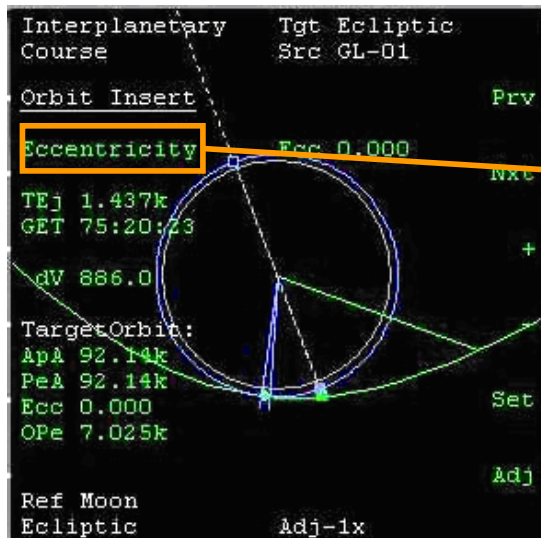
(celles qu'on ne peut pas modifier sont inaccessibles en utilisant Prv/Next)

<b>PeA</b>	Altitude du periapsis à la planète
<b>EqI</b>	Inclinaison équatoriale de l'orbite
<b>TeJ</b>	Temps pour l'éjection
<b>MJD (GET)</b>	MJD pour l'éjection (temps écoulé depuis le départ)
<b>PeT (GET)</b>	Temps jusqu'au periapsis du point d'offset (temps écoulé depuis le départ) Peut être modifié manuellement
<b>RIn</b>	Inclinaison relative du plan de l'objectif
<b>ElIn</b>	Angle entre la position de la source et le plan de l'objectif
<b>PeT</b>	Temps au periapsis
<b>AgP</b>	Angle entre le Periapsis et la ligne des noeuds
<b>Cir</b>	Temps de combustion pour circulariser au Periapsis
<b>TtB</b>	Temps pour atteindre le point d'allumage (affichage par BV)
<b>BT</b>	Temps de combustion restant (affichage par BV)
<b>dV</b>	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

**2.3.4 – Orbit Insert**

Ce module est utilisable à proximité de la planète pour réaliser une insertion en orbite. Le Periapsis PeA n'est pas modifiable et a la valeur calculée pour la trajectoire.



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 ApA égale à celle du PeA calculé pour la trajectoire

On peut sélectionner et choisir de modifier: en faisant +

- L'excentricité Ecc
- La valeur de ApA
- La valeur du demi grand axe Sma
- La valeur de la période Ope de l'orbite

La variation d'un paramètre fait varier les trois autres.

A vous de voir quel est celui que vous désirez fixer.

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

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

<b>Ecc</b>	Excentricité de l'orbite
<b>ApA</b>	Altitude de l'Apoapsis
<b>PeA</b>	Altitude du Periapsis
<b>Ope</b>	Période de l'orbite
<b>Sma</b>	Valeur du demi grand axe
<b>dV</b>	Vitesse à ajouter ou retrancher à celle du vaisseau par allumage suivant PG ou RG
<b>TtB</b>	Temps pour atteindre le point d'allumage (affichage par BV)
<b>BT</b>	Temps de combustion (affichage par BV)

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

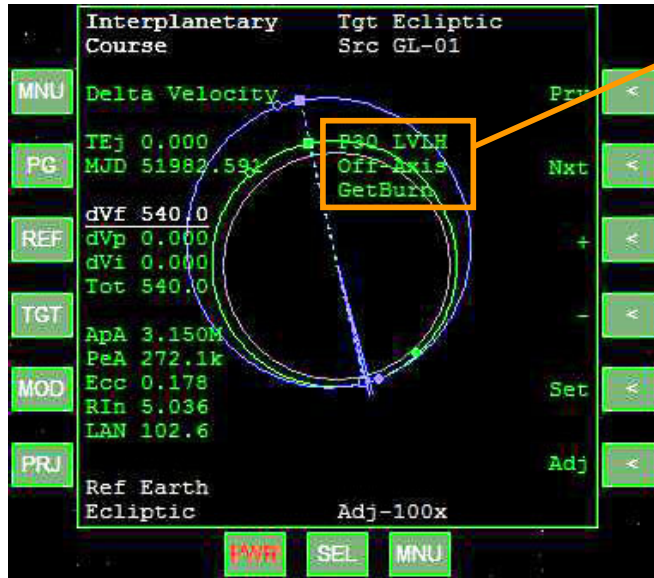
**Attention à choisir la bonne planète de référence !**



## 2.3.5 – Delta Velocity

Ce module permet d'augmenter ou de diminuer les vecteurs vitesses sur les trois axes de référence tout en choisissant le temps d'éjection

Il est préférable en général d'utiliser les modules Target Intercept et Planet Approach pour établir une orbite de transfert mais il est utile pour les insertions en orbite.



Système de référence

Sélectionner par Prv/Nxt puis +

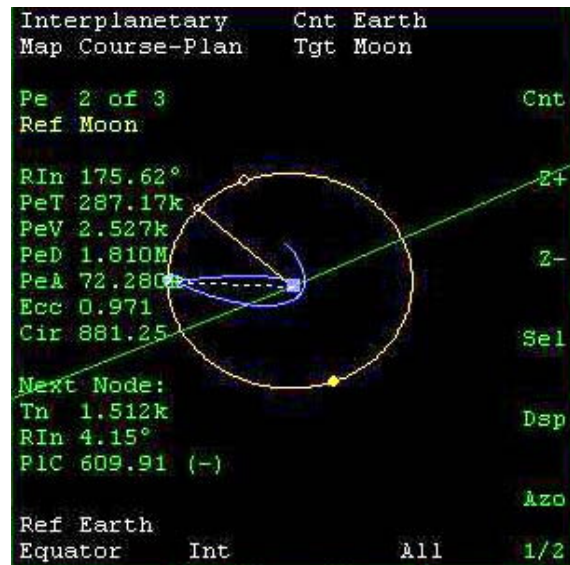
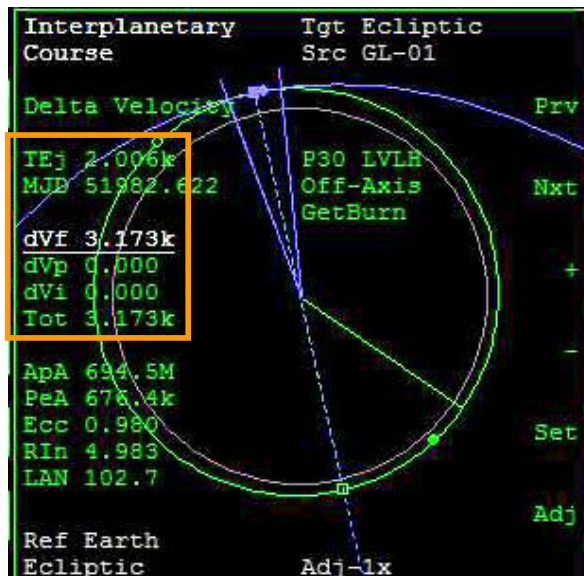
**TeJ doit être au moins égal à 3 s pour que le module soit opérationnel (mettre au moins 200s pour avoir le temps de positionner le vaisseau)**

Si le temps de combustion dépasse 1800s la trajectoire n'est plus affichée dans ce module et il faut utiliser Map couplée pour la visualiser

Le système de référence peut être P30 LVLH. Ce système est compatible avec les données du calculateur AGC simulé dans Apollo programme P30 et permet l'interfaçage pour les vecteurs d'allumage

Il est possible de coupler le module en Op-Shared avec un module Map sur le deuxième MFD et de régler TEj et le vecteur vitesse pour ajuster l'altitude PeA sur Map à la valeur souhaitée (exemple pour Terre Lune sur figure suivante)

On ne peut pas faire un réglage très fin mais on obtient un résultat satisfaisant  
Ensuite passer en autoburn AB sur Delta Velocity





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

<b>TEj</b>	Temps d'éjection
<b>MJD (GET)</b>	Date d'éjection (ou temps écoulé depuis le départ de la mission) voir page 4
<b>dVf</b>	Composante vitesse dans la direction du vol
<b>dVp</b>	Composante vitesse perpendiculaire au plan orbital
<b>dVi</b>	Composante vitesse radiale
<b>ApD</b>	Distance de l'Apoapsis
<b>PeD</b>	Distance du Periapsis
<b>Ecc</b>	Excentricité de l'orbite
<b>BT</b>	Temps de combustion

Les vitesses peuvent être entrées en valeurs positives ou négatives.

La vitesse dVf en positif correspond à donner une poussée en position prograde et la vitesse dVp perpendiculaire au plan orbital permet de modifier le plan de l'orbite (équivalent à N+ en positif et N- en négatif)

La vitesse dVi est perpendiculaire au plan formé par les deux autres. Elle est située dans le plan orbital et dirigée vers l'intérieur de l'orbite en valeur positive. Elle fait varier l'excentricité en déformant l'orbite

## 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 SOI***

Deux types d'approche peuvent être sélectionnés

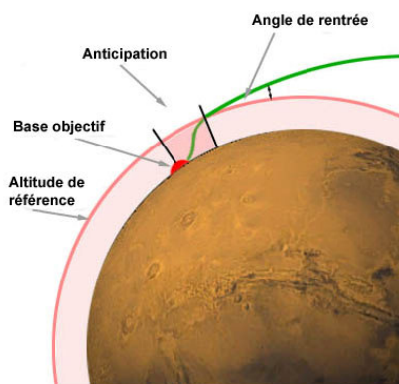
<b>Re Entry</b>	L'objectif est la rentrée directe ( variante possible avec Re Entry (old) )
<b>Orbit Insert</b>	L'objectif est l'insertion en orbite avant rentrée

### 2.4.1 – Approche pour Re Entry

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

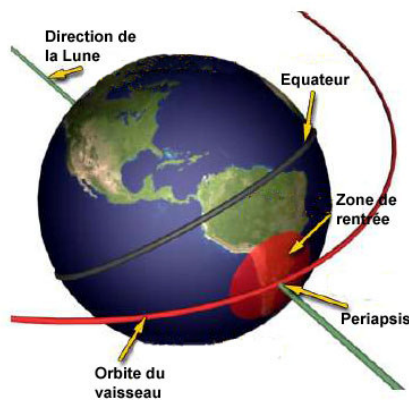
Il faut remarquer que souvent le point de rentrée ne se situe pas au Periapsis. Il est souhaitable qu'il en soit le plus proche possible en cas de présence d'une atmosphère, sinon l'angle de rentrée sera trop prononcé et le vaisseau brûlera.

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  $5^\circ$ , 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  $23^\circ$  par rapport à l'équateur terrestre donc la zone visée devra être située entre  $23^\circ\text{N}$  et  $23^\circ\text{S}$  de latitude

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

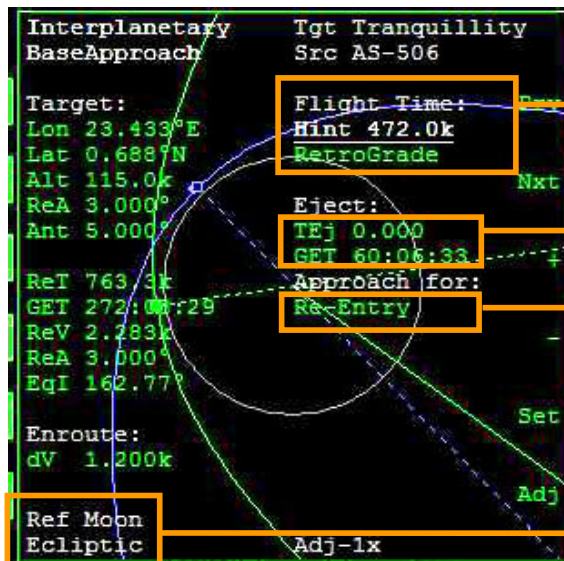
**Orbite hyperbolique (cas de l'approche d'une planète)**

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



Temps depuis le départ et choix du mode Prograde ou Retrograde suivant le sens de l'approche

Moment d'allumage

Mode Re Entry. Dans ce cas, il faut trouver une solution en ajustant Hint

Planète de référence pour l'approche  
**Attention à bien penser à la choisir !**

**Rappel pour la valeur de EqI**

EqI de  $90^\circ$  à  $-90^\circ$  en passant par  $0^\circ$  correspond à une rotation prograde (sens Ouest-Est)

EqI de  $90^\circ$  à  $-90^\circ$  en passant par  $180^\circ$  correspond à une rotation rétrograde (sens Est-Ouest)

$0^\circ$  et  $180^\circ$  correspondent à l'équateur ( $0^\circ$ =Est,  $180^\circ$ =Ouest)

Les valeurs négatives ont pour effet d'incliner le plan orbital symétriquement par rapport à l'équateur.

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

<b>Lon</b>	Longitude ouest et latitude nord du point visé comme objectif
<b>Lat</b>	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 <b>Tgt GEO</b> qui s'affiche en haut à droite pour montrer que l'on reste dans le plan éclipstique de l'orbite Des valeurs négatives introduites en utilisant le bouton <b>&lt;Set&gt;</b> (page 2) du module correspondent à l'ouest et au sud (par exemple si on entre -40 pour Lat on affiche 40.00°S)
<b>Alt</b>	C'est l'altitude de référence au point de réentrée. Normalement c'est l'altitude à laquelle l'atmosphère a une influence sensible. On peut prendre 80k ou moins pour la Terre, 8k pour Mars, 0k pour la Lune
<b>ReA</b>	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 !
<b>Ant</b>	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
<b>Hint</b>	C'est le temps de vol depuis le départ qui doit être ajusté pour trouver la solution si elle est possible
<b>TEJ</b>	Permet le réglage du moment d'allumage si on préfère ce mode de réglage.
<b>MJD(GET)</b>	Date d'éjection (ou temps écoulé depuis le départ de la mission) voir page 4
<b>Prograde</b>	Type d'orbite (sens de rotation de la planète)
<b>Retrograde</b>	Type d'orbite (sens inverse de la rotation de la planète)
<b>ReT</b>	Temps jusqu'à réentrée
<b>MJD(GET)</b>	Date de la réentrée (ou temps écoulé depuis le départ de la mission) voir page 4
<b>ReV</b>	Vitesse de réentrée
<b>EqI</b>	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)
<b>dV</b>	Variation de la vitesse à réaliser
<b>TtB</b>	Temps pour atteindre le point d'allumage (affichage par BV)
<b>BT</b>	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(GET) 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.

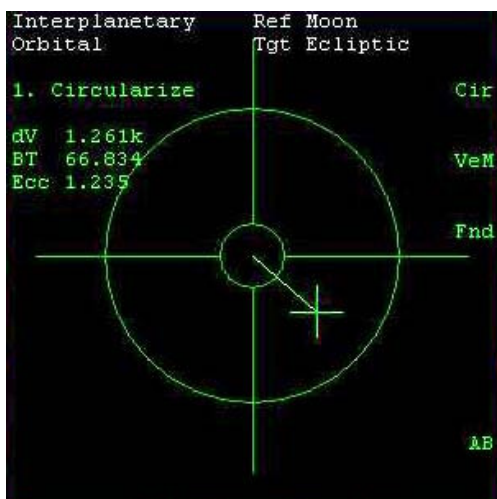
### 2.5 – Orbital (Mise en orbite)

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:

<b>Cir</b>	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
<b>VeM</b>	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
<b>Fnd</b>	Fnd = Find (Trouver) .Oriente le vaisseau vers la cible choisie par <TGT>



Ci-contre, le choix le plus utile.

On retrouve les données déjà vues sur les autres modules.

On ne peut que déclencher l'allumage par AB pour obtenir une orbite circulaire à l'altitude ou on se trouve.

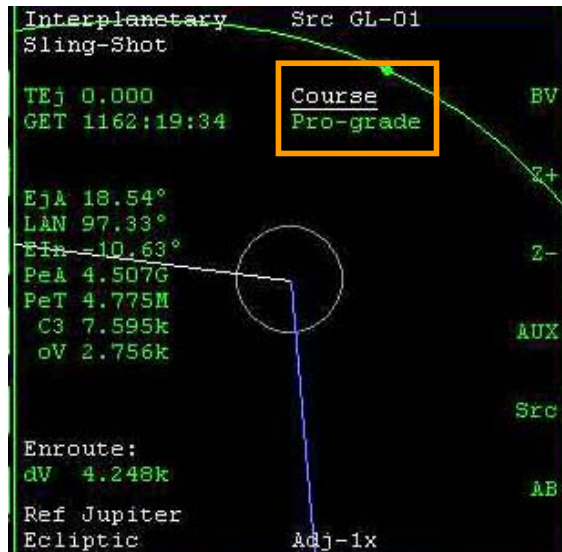
Aucun réglage n'est possible

Le module Delta velocity permet des réglages plus complets mais ce module peut rendre des services si on souhaite seulement la mise en circulaire.

## 2- 6 – Sling-Shot (Effet de fronde)

Ce module sert à modifier l'orbite vers un autre objectif et peut être utilisé pour allumer pendant un vol pour bénéficier au mieux de l'attraction de la planète utilisée pour l'effet de fronde.

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



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 utilisées sont celles de Course

On peut aussi choisir le mode Prograde ou Retrograde

TEj (GET) permet 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.

L'éjection Prograde permet de bénéficier au mieux de l'attraction de la planète pour accélérer et l'éjection Rétrograde pour ralentir

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 qu'il faut réaliser au moment de son utilisation en s'aidant des autres modules.

Le principe est d'établir en un premier temps une trajectoire vers la première planète intermédiaire. Quand l'influence de la planète intermédiaire commence à se faire sentir ( $G > 0,2$ ) on fait une correction de trajectoire pour qu'elle nous conduise le plus près possible de la planète de destination. Quand l'influence de la planète intermédiaire devient prépondérante ( $G > 0,5$ ) on utilise SlingShot pour faire l'allumage en le couplant au module Target Intercept pour régler le temps d'arrivée prévu à la planète finale pour avoir un BT assez faible.

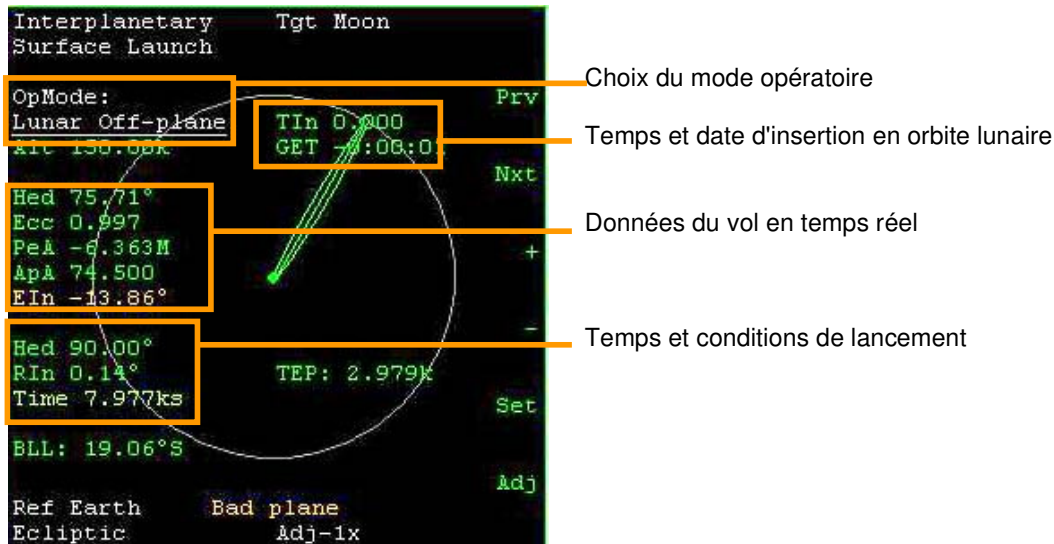
Nous ferons un exercice dans le tutorial d'application.

## 2.7 – Surface Launch (Lancement depuis la surface)

Ce module 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

Le module donne un guide de lancement mais ne l'effectue pas automatiquement  
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

<b>Course-Program</b>	Couplage possible avec Course-Program
<b>BaseApproach</b>	Couplage possible avec BaseApproach
<b>Slingshot</b>	Couplage possible avec Slingshot
<b>Higher-Orbit</b>	
<b>Lower-Orbit</b>	
<b>Lunar off-plane</b>	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 orienter le vecteur de déplacement (croix dans un rond)

Il faut essayer d'avoir **EIn** le plus près possible de zéro 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 pour profiter au mieux de la rotation de la Terre 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.

**TEP** donne le temps approché avant de pouvoir faire la phase d'éjection de l'orbite comme la TL1. Nous ferons un exercice dans le tutorial d'application