

# De la Terre à Mars en 80 minutes

Avec TransX



Par Laserpithium  
Février 2005

# Sommaire

Introduction .....	Page 3
1. Le scénario de départ .....	Page 4
2. HTO .....	Page 4
3. Utilisation de TransX	
3.1. Principe général de TransX .....	Page 5
3.2. Planification de la HTO .....	Page 6
3.3. Préparation de la mise à feu .....	Page 8
3.4. Correction à mi-course .....	Page 10
3.5. Seconde correction .....	Page 13
4. Freinage et mise en orbite	
4.1. Freinage conventionnel .....	Page 14
4.2. Freinage aérodynamique .....	Page 15
Annexe : Comment trouver rapidement une fenêtre de tir avec TransX ? .....	Page 17

# Introduction

Ce tutorial est destiné aux personnes qui ont déjà fait quelques voyages Terre – Lune, et qui ont envie d’aller voir un peu plus loin ce qu’il s’y passe. Mars est donc une étape logique dans la conquête, à défaut de l’espace, du moins d’Orbiter.

Ce tutorial est donc dédié à des Orbinautes relativement à l’aise avec les notions élémentaires d’astronautiques (Orbite de Transfert (HTO : Hohmann Transfert Orbit), Périapsis, Apoapsis, plans orbitaux...).

Je détaillerai dans ce tutorial les notions de TransX qui nous seront utiles, mais je ne me lancerai pas dans une explication complète de ce module, très utile. Il faut cependant savoir que TransX permet de faire des choses beaucoup plus puissante que ce dont nous aurons besoin aujourd’hui.

Ce tutorial ne prétend en aucun cas faire autorité sur le sujet. J’y expose une manière simple et fiable pour rejoindre Mars. Cette méthode est de plus facilement transposable pour atteindre n’importe quel astre du système solaire.

Le but de ce tutorial n’est pas non plus de vous emmener sur Mars en suivant une sorte de « check-list », mais de vous expliquer le pourquoi du comment dès que possible, afin que vous soyez à même de voler par la suite, c’est le cas de le dire, de vos propres ailes. Cependant, pour ceux et celles qui sont pressés, j’ai indiqué d’une flèche rouge et d’une police différente chaque action à effectuer dans le simulateur.

De nombreuses captures d’écran apparaissent dans ce tutorial. Vos valeurs peuvent tout à fait être un peu différentes des miennes, ne vous inquiétez pas pour ça.

Vous aurez besoin des MFD suivant pour ce tutorial :

- TransX, naturellement fourni avec Orbiter.
- BurnTimeCalcMFD, plus simplement appelé BurnTimeMFD, petit utilitaire très pratique que vous trouverez ici : <http://www.aibs.org.uk/orbiter/>  
N’oubliez pas d’activer le module dans le launch pad une fois installé !

Mais commençons donc notre voyage...

# **1. Le scénario de départ**

On ne part pas vers Mars dès que l'on veut : il nous faut trouver une **fenêtre de tir**, c'est-à-dire une date à laquelle les deux planètes sont en position favorable. Pour Mars, une telle fenêtre de tir se présente tous les 700 jours environ. C'est à ces moments-là et à ces moments là seulement qu'il faut partir. Certaines fenêtres de tir sont cependant plus favorables que d'autres.

Ainsi, la fenêtre de tir de juin 2003 est extrêmement favorable : c'est celle que nous utiliserons.

Nous prendrons comme vaisseaux le DGIII, (si vous ne l'avez pas, le DG de base d'Orbiter convient parfaitement aussi, mais le DGIII est nettement plus intéressant).

Par ce vol, le scénario est créé de telle manière que nous sommes à midi du 52800° jour julien, c'est-à-dire vers mi-juin 2003, et donc au moment de notre fenêtre de tir.  
(*MJD 52800.5* dans le fichier scénario, pour les curieux).

Vous avez normalement dû trouver dans le fichier zip, en plus de ce tutorial, 2 fichiers scénarios, intitulés « DGIII Voyage vers Mars.scn » et « DG Voyage vers Mars.scn ».

Si vous souhaitez utiliser le DGIII pour ce vol, copiez le fichier « DGIII Voyage vers Mars.scn » dans le dossier « Scénario » de Orbiter.

Si vous préférez utiliser la version par défaut de ce vaisseau, c'est-à-dire celle fournie avec Orbiter, copiez dans le dossier « Scénario » l'autre fichier.

Si vous utilisez le DGIII, n'oubliez pas non plus de le paramétrer pour un vol au long cours ! (Et dans tous les cas, n'oubliez pas non plus quelques bons bouquins, le voyage va être long.)

## **2. HTO**

HTO est l'acronyme de « Hohmann Transfert Orbit ».

Les orbites de transfert de Hohmann sont de simples orbites autour du soleil, mais ajustées de telle manière qu'elles passent à proximité de notre point de départ et de notre point d'arrivée. Pour nous rendre sur Mars, nous allons utiliser une telle orbite.

### **➤ Lancez Orbiter**

- avec le scénario « DGIII Voyage vers Mars », si vous souhaitez utiliser le DGIII. (conseillé).
- avec le scénario « DG Voyage vers Mars », si vous souhaitez utiliser le DeltaGlider fourni par défaut avec Orbiter.

Désarrimez-vous de la station, et éloignez-vous un peu avec les propulseurs RCS en mode translation (touche 9 du pavé numérique), pour ne pas avoir de problème avec votre assureur. Faites attention à bien faire votre checklist avant le départ...

Tout d'abord, avant de partir pour Mars, il nous faut aligner les plans orbitaux de notre vaisseau et de la belle rouge. Pour cela, manœuvre classique :

- ➡ Lancer la MFD « Align Planes ». Target = Mars  
Faites la mise à feu comme d'habitude.

Le travail de paramétrage de la HTO va à présent réellement commencer.

## 3. Utilisation de TransX.

### 3.1. Principe général de TransX.

L'utilisation de TransX est différente de celle de IMFD, et moins intuitive.

Dans TransX, votre voyage est découpé en grandes « étapes logiques », appelées « stages ».

Chaque stage est centré sur un corps différents, et vous pouvez définir dans chacun une action à effectuer

Exemple : prenons le cas d'un voyage Terre – Lune – Mars.

Votre premier stage sera centré sur la Terre (c'est là d'où l'on part). Vous voulez aller vers la Lune. Vous définirez donc comme cible la Lune dans ce stage (c'est « l'action » que vous effectuerez dans ce stage). Puis vous créez le stage suivant, qui sera, lui, automatiquement centré sur la Lune. Vous voulez aller vers Mars : vous choisissez donc dans ce stage comme action d'échapper à l'attraction de la Lune. Puis création du stage suivant. Ce dernier sera centré sur la Terre (car vous venez d'échapper à la Lune, mais la Lune dépendant de la Terre, le stage est donc centré sur la Terre). Nous voulons aller vers Mars : nous choisissons donc comme action de s'échapper à l'attraction terrestre, et nous créons le stage suivant. Celui-ci sera centré sur le Soleil (car on vient de s'échapper de la Terre), et nous y choisissons comme cible Mars, et création du stage suivant. Celui-ci sera centré sur Mars, et on ne choisit aucune action particulière.

En résumé, on aura comme liste de stage et comme action :

**Terre (Cible : Lune) --- Lune (Escape) --- Terre (Escape) --- Soleil (Mars) --- Mars (pas d'option)**

Cela peut paraître un peu compliqué, mais cela permet de planifier des vols très complexes, type missions Voyager, et donc d'effectuer de tels vols avec une précision que n'offre aucun autre calculateur pour l'instant.

Une fois créés, il est possible de se déplacer parmi ces différents stages avec les boutons *FWD* (stage suivant) et *BCK* (stage précédent)

Chaque stage de TransX comporte plusieurs vues, entre lesquelles on navigue par le bouton *VW*.

Parmi elles, les plus importantes :

- **Setup** dans laquelle vous définissez ce que vous voulez faire dans ce stage (c'est-à-dire si vous souhaitez échapper à l'attraction du corps ou alors choisir une cible).
- **Manoeuvre** qui vous permet de planifier une HTO lorsque ne souhaite pas échapper à l'attraction du corps courant (par exemple pour rejoindre la Lune depuis la Terre) ou de faire des corrections de trajectoires.
- **Target** pour la mise à feu
- **Eject Plan**, qui permet de prévoir une HTO lorsque l'on souhaite échapper à l'attraction du corps courant (il ne faut donc pas utiliser cette vue pour aller sur la lune avec TransX : quand on va sur la Lune, on n'échappe pas à l'attraction de la Terre, on ne fait qu'une très longue ellipse).
- **Encounter**, qui affiche de nombreuses informations sur votre orbite auprès de l'astre que vous voulez atteindre (inclinaison prévue, altitude minimale prévue etc...)

Mais ne vous inquiétez pas, cela est plus simple que cela n'en a l'air !

Pour entrer nos paramètres dans TransX, on utilise la méthode suivante :

Chaque vue possède plusieurs variables que l'on peut régler. On navigue entre ces variables par les touches *VAR* et *-VR* (navigation dans un sens ou dans l'autre).

On modifie ensuite la valeur de ces variables avec les touches ++ ou --

Dans le cas où l'on modifie une valeur numérique, on peut (et on doit) régler la sensibilité du réglage avec les touches *ADJ* et *AJ-*. On a le choix entre plusieurs sensibilités : *coarse* (modifications très grossières), puis par ordre de précision croissante *medium*, *fine*, *super*, *ultra*. *Reset* permet de remettre la variable à sa valeur précédant la modification (bien utile quand on ne sait plus trop où l'on en est !).

Ces quelques remarques effectuées, passons à présent à la planification de notre vol.

### 3.2. Planification de la HTO

- ➔ Ouvrez sur le MFD de gauche TransX.

Nous allons planifier notre vol.

Nous voulons partir de la Terre pour aller sur Mars.

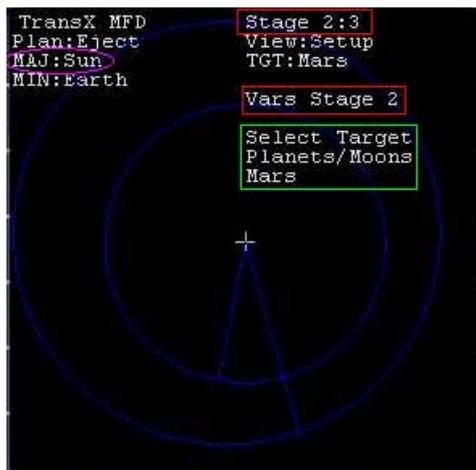
Un premier stage est créé automatiquement, centré sur la Terre (car on est référencé sur Terre). Vous êtes normalement automatiquement placé en vue *Setup*. Si ce n'est pas le cas, cliquez sur *VW* jusqu'à se trouver dans cette situation.

- ➔ Nous voulons aller sur Mars : cliquez sur *VAR* et *-VR*, jusqu'à voir afficher *Select Target Planets/Moons*, et en dessous *None*. Nous devons en effet échapper à l'attraction terrestre pour rejoindre Mars : sélectionnez *Escape* avec *++*. Nous pouvons à présent créer le stage suivant en cliquant sur *FWD*. Nous avons quitté l'attraction terrestre dans le stage suivant : ce stage-là est donc automatiquement centré sur le Soleil. Nous voulons rejoindre Mars : sélectionnez cette fois-ci *Mars*. Créons à présent le troisième stage en cliquant sur le bouton *FWD*, qui sera automatiquement centré sur Mars. Dans ce stage nous ne réglons aucun paramètre particulier. Son utilité sera de nous fournir des valeurs précises des paramètres prévues de notre rendez-vous (inclinaison de l'orbite, distance maximale à laquelle nous passerons de Mars...).

Nous avons donc 3 stages, centrés sur 3 corps différents, avec 3 actions :

**Terre (Escape) --- Soleil (Target = Mars) --- Mars (Aucune action définie).**

- ➔ Cliquez ensuite sur *BCK* pour revenir au stage précédent. Vous devez avoir l'affichage suivant :



Ce stage présente des éléments importants :

- Il s'agit bien du stage 2, comme le montre les rectangles rouges. Le rectangle rouge tout au dessus nous précise même qu'il s'agit du stage numéro 2 sur un total de 3.
- Ce stage est bien centré sur le soleil (*MAJ:Sun*).
- Nous avons bien sélectionné comme action pour ce stage d'atteindre Mars (rectangle vert).

C'est dans ce stage, centré sur le Soleil, que nous allons planifier notre HTO.

- ➔ Cliquez sur *VW* pour afficher *View: Eject Plan* au lieu de *View: Setup*.
- ➔ Avec *VAR* et *-VR*, on peut naviguer entre les différentes variables nécessaires pour planifier la HTO. Sélectionnez *Prograde Vel*.
- ➔ Avec *++*, augmentez la valeur de cette variable (initialement nulle) jusqu'à environ 3000.

On aperçoit une courbe en pointillé jaune qui grossit : c'est notre HTO !

2 lignes jaunes pointillées apparaissent également :

- La première, qui passe par le point où l'orbite de Mars et la HTO se coupe représente la position de Mars lors de l'intersection.

- La seconde représente votre position lorsque Mars sera à l'intersection de la HTO et de sa propre orbite.

Pour que le rendez-vous réussisse, il faut que les deux lignes soient confondues...

- Le trait blanc est l'intersection entre le plan de l'orbite de Mars et le plan de notre HTO. Idéalement, cette droite doit être confondue avec les deux autres, dans la pratique un léger écart n'est pas un problème.

- Jouez avec ++ et -- jusqu'à ce que le point le plus éloigné de la HTO coupe l'orbite de Mars. Il vous faudra pour cela changer progressivement la sensibilité du réglage avec *ADJ* et *-AJ*.

Ensuite, il nous faut choisir notre date de départ. Comme je suis très gentil, vous remarquez que les 2 droites pointillées jaunes se coupent déjà ! Notre fenêtre de tir est donc très proche...

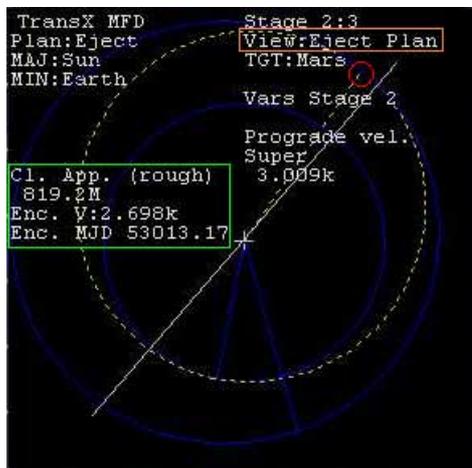
- Avec *VAR*, sélectionnez la variable *Ejec Date*, et passez en sensibilité *fine* ou *super*
- Augmentez légèrement la valeur de la variable, du genre rajoutez 0,5. Cela nous laissera du temps pour faire nos réglages avant la mise à feu. Revenez ensuite sur *Prograde Vel*.

Vous remarquez qu'il y a pleins de chiffres sur la gauche de l'affichage. Ils nous donnent des informations très importante sur notre interception avec Mars :

- *Cl. App* : distance minimale à laquelle vous allez passer de Mars avec vos réglages actuels. C'est cette distance qu'il faut chercher à minimiser. Le *rough* (« grossier » en anglais) signifie que c'est une valeur approchée.
- *Enc. V* : Vitesse que vous devrez perdre pour vous faire capturer par Mars. Pour l'instant, on s'en fiche.
- *Enc. MJD* : ça, on s'en fiche aussi pour l'instant. C'est la date à laquelle on va arriver. Vu que l'on fera des corrections de trajectoire en cours de route, cette date va varier. Donc pas la peine de réserver tout de suite votre hôtel.

- Passez en sensibilité *super* et affinez *Prograde vel* pour avoir la plus petite valeur de *Cl. App* possible. Puis, affiner la date pour faire également diminuer *Cl. App*. Mais garder TOUJOURS au moins 0.1 de plus que la date actuelle (dans notre cas, ne descendez pas en dessous de 52800.65). Faites des allers-retours entre ces 2 variables jusqu'à avoir la valeur de *Cl. App* la plus petite possible. Ça peut être assez long quand on n'a pas l'habitude.

Vous devez obtenir quelque chose dans ce goût là :



La rencontre avec Mars se fera dans le rond rouge.

TransX nous affiche un passage à 820 000 km de Mars. Ça paraît beaucoup, mais à ce stade c'est au contraire très bon. Ne vous affolez donc pas si vous n'arrivez pas à descendre sous les 2 ou 3 G, c'est parfaitement normal.

Nous avons à présent planifié notre trajectoire globale, il nous faut encore planifier notre départ de la Terre.

- Cliquez sur *BCK* pour revenir au premier stage, centré sur la Terre.

On remarque alors que notre trajectoire actuelle (en vert) est plus basse que l'orbite prévue (en jaune pointillé) ! Ça, c'est un peu embêtant ! Un dernier réglage doit être effectué : il faut indiquer à TransX notre *PeR* actuel.

- Avec *VAR*, sélectionnez la variable *Pe Distance*. Ouvrez sur le MFD de droite le MFD Orbit.
- Avec les touches ++ et -- et en changeant si nécessaire la sensibilité du réglage, donnez à cette variable la valeur moyenne de votre orbite. Par exemple, dans mon cas, je lis sur mon MFD Orbit un *PeR* de 6664 et un *ApR* de 6676. J'ai donc mis une valeur de 6670.

### 3.3. Préparation de la mise à feu.

TransX a un gros défaut : il ne précise pas le moment de la mise à feu ! Il précise le moment auquel l'allumage devrait avoir lieu, mais en considérant que le burn est instantané. En réalité, le burn durera plus de 300 secondes. Il faudra donc allumer plus de 150 secondes avant le passage au point d'allumage théorique afin d'avoir une orbite bien symétrique.

Mais nous sommes sauvé par un petit MFD, BurnTimeMFD. Ce MFD, conçu pour fonctionner avec TransX, vous donnera le moment exact quand allumer ! Sauvés !

- ➡ Ouvrir BurnTimeMFD sur le MFD de droite, et rentrez à l'aide des différentes touches la valeur de *DeltaV* située dans le MFD de gauche.

#### Remarque importante 1:

Nous avons 2 valeurs différentes de *deltaV* :

- Celle que nous avons réglée à la main dans le stage 2 (planification de la HTO)
- Cette valeur de *deltaV*, présent dans le stage 1.

La valeur du stage 1 est toujours plus élevée que celle du stage 2. **C'est cette valeur qu'il faut prendre pour l'allumage**, pas celle que nous avons réglée à la main (car elle ne tenait pas bien compte de l'influence de la Terre, ce que fait celle du stage 1).

#### Remarque importante 2 :

Si vous avez l'habitude de IMFD, vous vous souvenez que l'on réglait à la seconde près le moment de l'allumage. C'est parce que IMFD ne nous positionnait pas automatiquement le point d'allumage au meilleur point de notre orbite, et il fallait donc lui expliquer que nous ne voulions pas traverser la Terre lors de la mise à feu.

TransX, lui, place automatiquement le moment de l'allumage au meilleur endroit de notre orbite. Cela signifie qu'il n'y a pas de compte à rebours explicite pour indiquer quand allumer la chandelle.

Plus précisément, il faudra allumer lorsque l'indication *T to Pe* sera proche de 0 (donc quand nous serons proche du point initial de lancement). Oui, mais de quelle orbite ?

En fait, et là il faut faire gaffe, **il faut allumer dans l'orbite pour laquelle vous passerez à ce point au moment le plus proche de celui que vous avez réglé lors de la planification de la HTO** (avec la variable *Ejec Date*).

Ainsi, personnellement, j'avais réglé un *Ejec Date* de 52800.68. Je vais donc tirer dans l'orbite qui me fera passer par le point de lancement le plus proche possible de cette date. Personnellement, je suis passé à 52800.695.

Mais rassurez-vous, la différence qu'entraîne un lancement durant la mauvaise orbite n'est pas trop importante tant que vous ne lancez pas avec 5 orbites d'avance.

- ➡ Une fois que vous pensez être dans la bonne orbite et que vous avez paramétré correctement BurnTimeMFD, allez vous chercher un coca. Si le lancement rate, se sera peut être votre dernier...

BurnTimeMFD vous indique ceci :

```
Burn Time Calculator

Target dV: 3608.0

Estimated burn time: 288.8 seconds
Engage at PeT =      147.6 seconds
Estimate Total dV =  22817 m/s

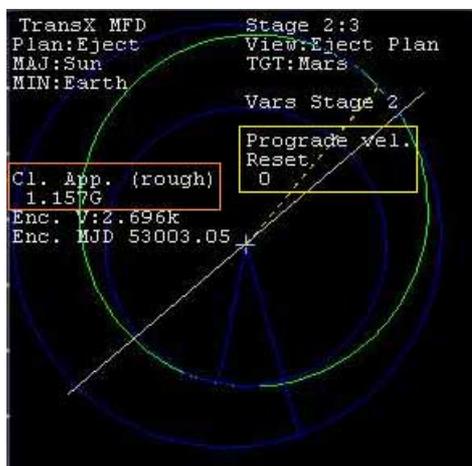
Keys: -/+  [/]  </>
      BKSPC = reset
```

Je devrais donc allumer, durant la bonne orbite, lorsque *T to Pe* sur le MFD de gauche vaudra 147.6

- Lorsque *T to Pe* indique la valeur que vous lisez sur le BurnTimeMFD + 100 secondes, placez l'appareil en position prograde. Faites une dernière check-list de lancement.
- Lorsque *T to Pe* vaut la valeur de *Engage at PeT* que vous lisez sur le BurnTimeMFD, allumez à fond, sans la turbopompe.
- Une fois que vous avez allumé, BurnTimeMFD ne vous sert plus à rien. Ce qu'il affichera ne veut plus rien dire, car il ne se rend pas compte que vous avez allumé ! Pour savoir quand éteindre, surveillez la valeur de *delta V* sous TransX (toujours dans le stage 1). Elle diminue au cours du temps. Coupez lorsqu'elle est la plus proche possible de 0, et affinez aux RCS.
- Retournez dans le stage 2 (bouton *FWD*, et avec *VAR*, sélectionnez la variable *Prograde Vel*. Résetez là. Pour ce faire, choisissez comme sensibilité de réglage *reset*, et appuyer sur ++ ou --.

A présent la courbe affichée n'est plus notre trajectoire théorique mais notre trajectoire réelle.

Personnellement, j'obtiens ceci :



*Prograde Vel* est reseté : on affiche donc la trajectoire actuelle (courbe verte).

Je passerai à présent à une distance de 1.157 G de Mars. Le burn n'a donc pas été parfait, mais c'est parfaitement normal. Temps que l'on est inférieur à 3 ou 4 G, pas de soucis à se faire !

- Retournez dans le premier stage pour pouvoir suivre votre trajectoire. Passez en accélération 10x, puis en 100x à plus de 5000 km de la Terre, puis en 1000x à plus de 100 000 km et enfin à 10 000x à plus de 500 000 km. Ne montez pas à 100 000x, vous allez flinguer votre orbite. Gardez ça pour les voyages vers Jupiter ou Saturne.

Vous avez à présent une dizaine de minutes de libre devant vous !

Vous allez soudain voir le stage 1 disparaître une fois que vous serez à environ 300 000 km de la Terre. A cette distance, vous êtes sortis de la sphère d'influence de la Terre, et vous êtes en orbite autour du Soleil. TransX considère donc l'objectif du premier stage (rappelons nous : *escape*) comme accompli et passe donc au stage suivant. C'est sur celui-ci que nous allons à présent suivre notre progression. Ce qui était avant le stage 2 « Soleil (Target = Mars) » devient le stage 1 et le stage 3 « Mars (Pas de cible définie) » devient le stage 2.

### 3.4. Correction à mi-course.

Non seulement la mise à feu n'a pas été parfaite, mais en plus, avec les réglages que nous avons faits pour la HTO, nous passons bien loin de Mars ! Il va donc falloir faire une première correction de trajectoire.

Quand faire cette correction ?

Il n'y a pas de règle impérative. Il faut juste savoir que plus on fait la correction loin notre objectif, moins on consommera de carburant, mais moins on sera précis.

Personnellement, je fais toujours une première correction à mi-course. C'est ce que je vous propose de faire ici.

Nous sommes partis environ à MJD = 52800.

TransX prévoit une arrivée près de Mars à environ MJD = 53000 (variable *Enc. MJD* sur le nouveau stage 1)

Nous allons donc faire une correction à environ MJD = 52900.

- Lorsque nous arrivons à MJD = 52900, repassez en temps réel. C'est le moment de la première correction de trajectoire.
- TransX doit normalement être ouvert sur le MFD de gauche. Faites lui afficher le stage 1 (bouton *FWD* et *BCK*) et mettez le en vue *Manoeuvre*.

Ouvrez TransX sur le MFD de droite. Faites lui afficher le stage 2 et mettez le en vue *Encounter*.

La vue *Manoeuvre* permet d'effectuer des corrections d'orbite durant un vol. Elle doit aussi être utilisée, par exemple, lorsque vous êtes en orbite autour de la Lune et que vous voulez revenir sur Terre.

La vue *Encounter* (« rencontre » en anglais) permet d'afficher les caractéristiques de notre rencontre avec Mars.

Nous allons régler les paramètres de mise à feu dans le MFD de gauche et observer les modifications que cela donnera sur le MFD de droite.

- Sur le MFD de gauche, avec *VAR* et *-VR*, sélectionnez la variable *Manoeuvre mode*. Elle est normalement à *off*. A l'aide de ++ ou de moins --, passez-la sur *on*.  
Nous pouvons à présent calculer notre correction.

Les 3 variables que nous allons modifier sont :

- *Ch Plane Vel* : inclinaison de l'orbite.
- *Prograde Vel* : Position de l'ApR de notre orbite.
- *Date* : Moment de la mise à feu.

Il nous faut commencer par choisir le moment exact de notre correction (cela permet des corrections très précises).

- Sélectionnez la variable *Date*, passez en sensibilité *fine* et augmentez sa valeur de 0.1 environ. Cela nous laissera le temps de faire correctement nos réglages.

- Choisissez l'une des deux autres variables, passez en sensibilité *medium* et modifiez doucement la valeur de la variable, en observant le résultat sur le MFD de droite. Il vous faut régler avec précision les valeurs de *Min Alt* (altitude minimale à laquelle nous passerons de la surface de Mars), et *Inclinaison* (inclinaison de notre future orbite autour de Mars).

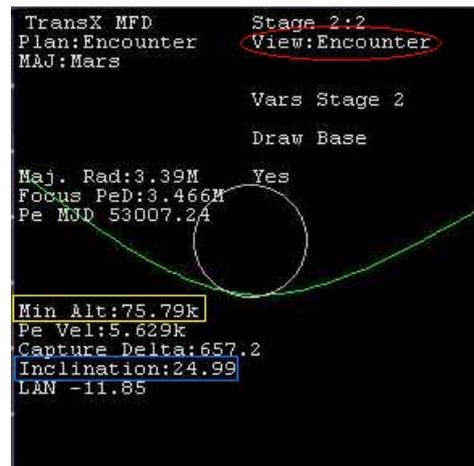
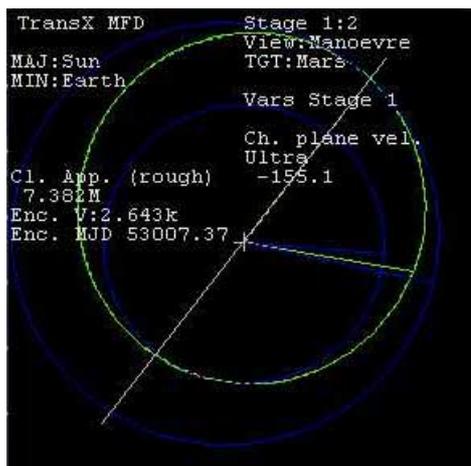
Si vous désirez uniquement atteindre Mars, ne tenez aucun compte de la valeur de *Inclinaison* (car vous vous moquez de la valeur de l'inclinaison de votre orbite, tout ce qui compte c'est d'arriver à rejoindre Mars). Si vous prévoyez par contre une opération particulière une fois en orbite autour de Mars (amarrage à une station, rejoindre l'une des 2 lunes...), alors vous devez régler également la valeur de *Inclinaison*. Car en ce moment changer la valeur de, mettons, 30° ne vous coûtera que quelques secondes d'allumage, contre plusieurs minutes une fois que nous serons en orbite !

Personnellement, je voudrais aller dire bonjour à un ami sur Deimos une fois arrivé, et je vais me débrouiller pour avoir une valeur de *Inclinaison* la plus proche possible de l'inclinaison de Deimos, soit 24,93°. Pour la valeur de *Min Alt*, choisissez une valeur de l'ordre de 100km.

Pour faire les réglages, commencez par modifier *Ch Plane Vel* ou *Prograde Vel* (au choix), jusqu'à ce que *Inclinaison* ou *Min Alt* vous convienne. Puis passez à l'autre variable et modifiez là doucement (n'hésitez pas à jouer avec les sensibilités). Revenez ensuite à la première variable etc...

Arrêtez vous lorsque vous avez obtenu des valeurs qui vous satisfont pour *Min Alt* et éventuellement *Inclinaison*.

Personnellement, après quelques efforts, j'obtiens ceci :



Je passerai à environ 76 km de la surface de Mars et ma future orbite aura une inclinaison de 24,99°

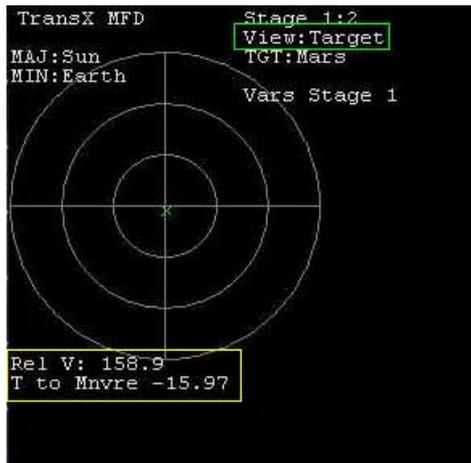
Nous n'avons plus qu'à effectuer la mise à feu :

- Sur le MFD de gauche, cliquez sur *VW* jusqu'à afficher la vue *Target* (c'est une cible).

Pour déterminer la direction de mise à feu, il faut amener la petite croix verte dans le centre de la cible. Si vous êtes très loin de la bonne position, la petite croix peut ne pas bouger et rester contre un bord alors que vous êtes en train de faire tourner le vaisseau. Dès que le vaisseau sera à peu près dans la bonne direction, vous verrez la croix commencer à se rapprocher du centre.

- Amenez la croix verte au centre de la mire. Il est en pratique très difficile de l'amener exactement au centre. Si vous êtes à 1 mm du centre, c'est tout à fait convenable.

Vous devez obtenir quelque chose comme ça :

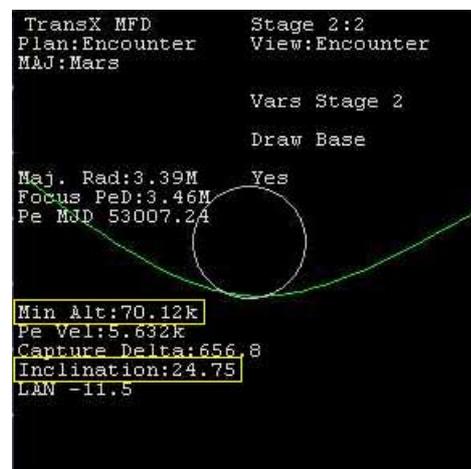
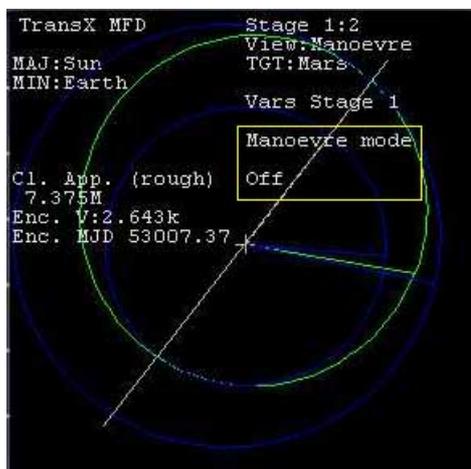


Je devrai acquérir dans cette manœuvre un deltaV de 158,9 m/s.  
La mise à feu aurait du être faites il y a 16 secondes (et oui, personne n'est parfait !)

- Faites la mise à feu lorsque *T to Mnvre* atteint 0, et allumez jusqu'à ce que *Rel V* atteigne 0. Fignolez aux RCS. Vous constaterez que, lorsque *Rel V* devient très petit, la croix part brutalement. C'est normal. Prenez votre temps, réorientez le vaisseau et rallumez les RCS.  
Le respect du temps n'est pas très important ici : on peut sans problème avoir quelques minutes de retard. Par contre, il est très important d'avoir *Rel V* le plus proche possible de 0 (et en tout cas inférieur à 0,01). Prenez donc votre temps et fignolez bien proprement aux RCS.

- Une fois la mise à feu terminée, repassez en vue *Manoeuvre* (touche *VW*), sélectionnez la variable *Manoeuvre mode* et repassez-la sur *off*. Cela va reseter les variables que nous avons modifiées pour la correction de trajectoire et permettra au MFD de droite d'afficher notre trajectoire réelle (et plus notre trajectoire théorique).

Vous devez obtenir ceci :



Nous passerons à une altitude minimale de 70,12km et notre orbite aura une inclinaison de 24,75°. Nous affinerons définitivement ces réglages lors d'une seconde correction à l'approche de Mars.

- Repassez en temps accéléré 10 000x.  
Vous remarquerez que vos paramètres orbitaux se dégradent : c'est malheureusement normal. Ne vous inquiétez donc pas si votre altitude près de Mars que vous aviez réglée amoureusement à 100,00 durant la correction se retrouve peu de temps après à 150km...  
A environ 4 millions de km de Mars, le stage 1 disparaît : il ne reste plus qu'un seul et unique stage, celui centré sur Mars. C'est bon signe, cela veut dire que l'on arrive !

- Lorsque le stage 1 disparaît, repassez l'accélération temporelle en x1000, afin de ne pas détruire vos paramètres orbitaux.

### 3.5. Seconde correction.

Nous avons dit plus haut que plus on fait une correction près de la cible, plus on est précis mais plus cela nous coûte en carburant. Comme nous arrivons à présent près de Mars, c'est le moment d'être précis !

Quand effectuer la correction ?

Cette fois-ci il y a une règle : il faut faire la correction dès que l'on rentre dans la sphère d'influence de Mars. Avant, on ne serait pas assez précis. Plus tard cela nous coûterait vraiment trop cher.

Le passage dans la sphère d'influence de Mars est marqué par le passage automatique du HUD de *Orbit[Sun]* à *Orbit[Mars]*. Cela a lieu à environ 150 000 km de Mars.

- Lorsque vous entrez dans la sphère d'influence de Mars, repassez en temps réel.

A partir de maintenant, ce tutorial diverge. J'expose en effet par la suite 2 méthodes de freinage pour se mettre définitivement en orbite autour de Mars, un freinage conventionnel avec les moteurs ou un aérofreinage. Ces deux méthodes impliquent évidemment des altitudes différentes.

- Si vous voulez effectuer un freinage conventionnel, choisissez l'altitude que vous voulez, de préférence supérieure à 100 km. L'atmosphère de Mars est ténue, mais quand même ! Personnellement, j'ai choisi 120km.

- Si vous voulez effectuer un aérofreinage, choisissez une altitude de 19,00 km (là, il faudra être assez précis !)

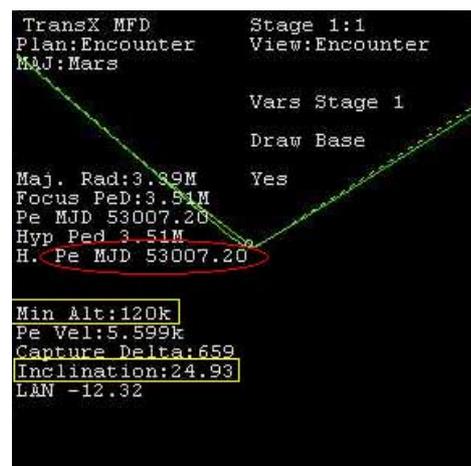
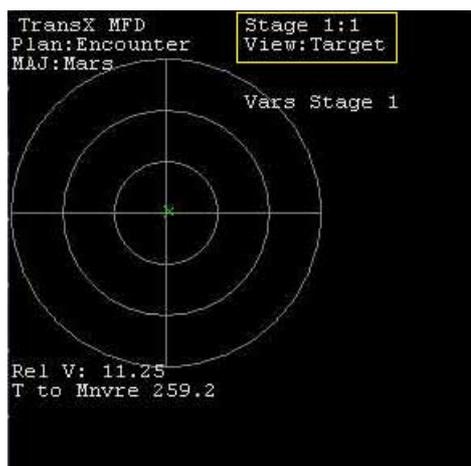
- Opérez la correction de trajectoire de la même manière que pour la première. Seule différence : cette fois-ci, le temps devient un facteur important. Lorsque vous choisirez la date exacte de la correction (variable *Ejec Date*), augmentez celle-ci de 0,1, pas plus (sinon la correction se fera trop tard), et pas moins (car vous risquez de ne pas avoir le temps d'effectuer vos réglages avant de devoir faire la correction).

Essayez cette fois-ci d'être le plus précis possible dans vos réglages. Ces réglages seront pratiquement les définitifs !

Peaufinez autant que possible aux RCS.

N'oubliez pas de passer le *Manoeuvre mode* sur *off*, sinon vous ne verrez plus rien ensuite.

J'obtiens ceci (correction non encore effectuée) :



J'ai définitivement réglé mon inclinaison orbitale pour me retrouver dans le même plan orbital que Deimos. Nous savons à présent la date de notre arrivée : *Pe MJD 53007.20*. C'est maintenant le moment de réserver votre chambre d'hôtel.

- Repassez l'accélération du temps en 100x, pas plus pour ne pas trop détruire votre orbite. Vous pouvez à la rigueur passer en 1000x si vous ne tentez pas l'aérofreinage (la précision est alors moins capitale).
- Fermez le MFD de droite, et ouvrez à la place le MFD Orbit. Si ce n'est pas le cas, donnez lui Mars comme corps de référence (*Ref*, puis *Mars*). La valeur de PeT décompte le temps avant notre passage au périapsis. C'est en effet à ce point qu'il faudra freiner.
- Si vous avez choisi de faire un aérofreinage vous pouvez faire une ultime correction de trajectoire à T-3600. Mais augmentez la variable Ejec Date d'une valeur très faible, donnez vous juste le temps de paramétrez votre correction, pas plus !
- Passez en accélération 10x lorsque *PeT* devient inférieur à 2000 secondes.

## 4. Freinage et mise en orbite.

C'est bien beau de passer à 120 km de Mars, si c'est pour la frôler à 5 km/s, et la laisser ensuite derrière nous. C'est quand même mieux d'y rester !

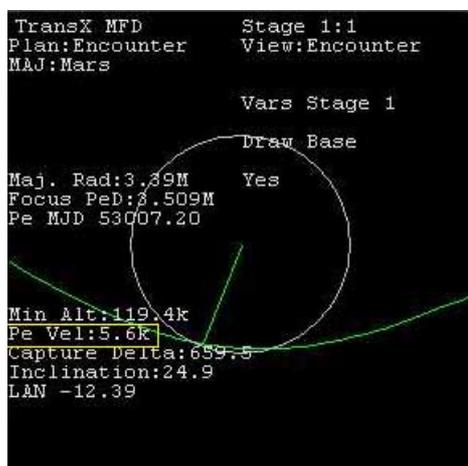
Comme je suis très motivé et très gentil, nous allons traiter des 2 cas suivants :

- Mise en orbite, avec freinage conventionnel.
- Mise en orbite, avec freinage aérodynamique (nettement plus marrant, et en plus on économise entre 1 et 2 minutes de carburant !)
- Je ne traiterai pas du cas d'un amarsissage direct. On effet, le freinage nécessaire à une telle manœuvre est très important, et il est beaucoup plus simple de commencer par une simple mise en orbite, puis de procéder en un deuxième temps à une désorbitation et à une rentrée.

### 4.1. Cas d'un freinage conventionnel.

L'idée est de faire une mise à feu, dans le sens rétrograde et au bon moment, afin de diminuer notre vitesse pour pouvoir être capturés par l'attraction martienne et avoir une belle orbite circulaire.

- Ouvrez sur le MFD de droite le MFD Orbit, et sur celui de gauche TransX en vue *Encounter*.



Il nous faut à présent calculer le moment auquel nous devons allumer la chandelle pour nous faire capturer par Mars et pour avoir une orbite la plus circulaire possible. Pour cela, nous allons utiliser la méthode suivante : nous allons calculer (à la main...) la vitesse que nous devons perdre, et nous fournirons cette info au BurnTimeMFD, qui nous dira quand allumer.

- Pour calculer cette vitesse avec TransX :
  - Relever la valeur de la variable *Pe Vel* (5600 dans mon cas).
  - Relever la valeur de *PeR* sur le MFD Orbit (3.509M, soit 3 509 000) dans mon cas.
  - La valeur que l'on cherche (notons-la V) vaut  $V = PeVel - \text{RacineCarréeDe}(3.73 * PeR)$Par exemple, dans mon cas :  $V = 5600 - \text{RacineCarréeDe}(3.73 * 3\,509\,000) = 1\,982$

- Fermez votre TransX, et ouvrez à la place BurnTimeMFD. Rentrez comme valeur la valeur de V que vous venez de calculer (1982 dans mon cas). BurnTimeMFD vous affichera *Engage at PeT = XXX secondes*, avec à la place de XXX un chiffre. Typiquement, ce chiffre est de l'ordre de 60 ou 70 secondes. Il faudra allumer en (position rétrograde bien sûr) lorsque la valeur de *PeT* sur le MFD Orbit vaudra XXX.

BurnTimeMFD ne vous sert à plus rien à présent. En particulier, au cours du burn, vous verrez son affichage changer. C'est parce qu'il ne sait pas que vous êtes en train de freiner.

- Quand *PeT* atteint 200 secondes sur le MFD Orbit, revenez en temps réel, et mettez le vaisseau en position rétrograde.
- Lorsque *PeT* atteint la valeur XXX, allumez à fond, sans la turbopompe. (si vous l'activez, vous planterez le freinage, car BurnTimeMFD a fait son calcul sans tenir compte de la turbopompe).

Au cours du freinage, surveillez l'allure de votre orbite sur la MFD Orbit. Réduisez les gaz en fin de freinage pour peaufiner votre orbite.

Si vous vous rendez compte (c'est le cas la plupart du temps) que vous ne pourrez pas accomplir la totalité de votre manœuvre de freinage sans dégrader les paramètres orbitaux (en particulier, la valeur du périapsis a tendance à chuter assez vite vers la fin), arrêtez tout. Vous procéderez plus tard à une circularisation de l'orbite, suivant les méthodes classiques.

- Penchez-vous vers le hublot et prenez une photo.

## 4.2. Cas d'un freinage aérodynamique.

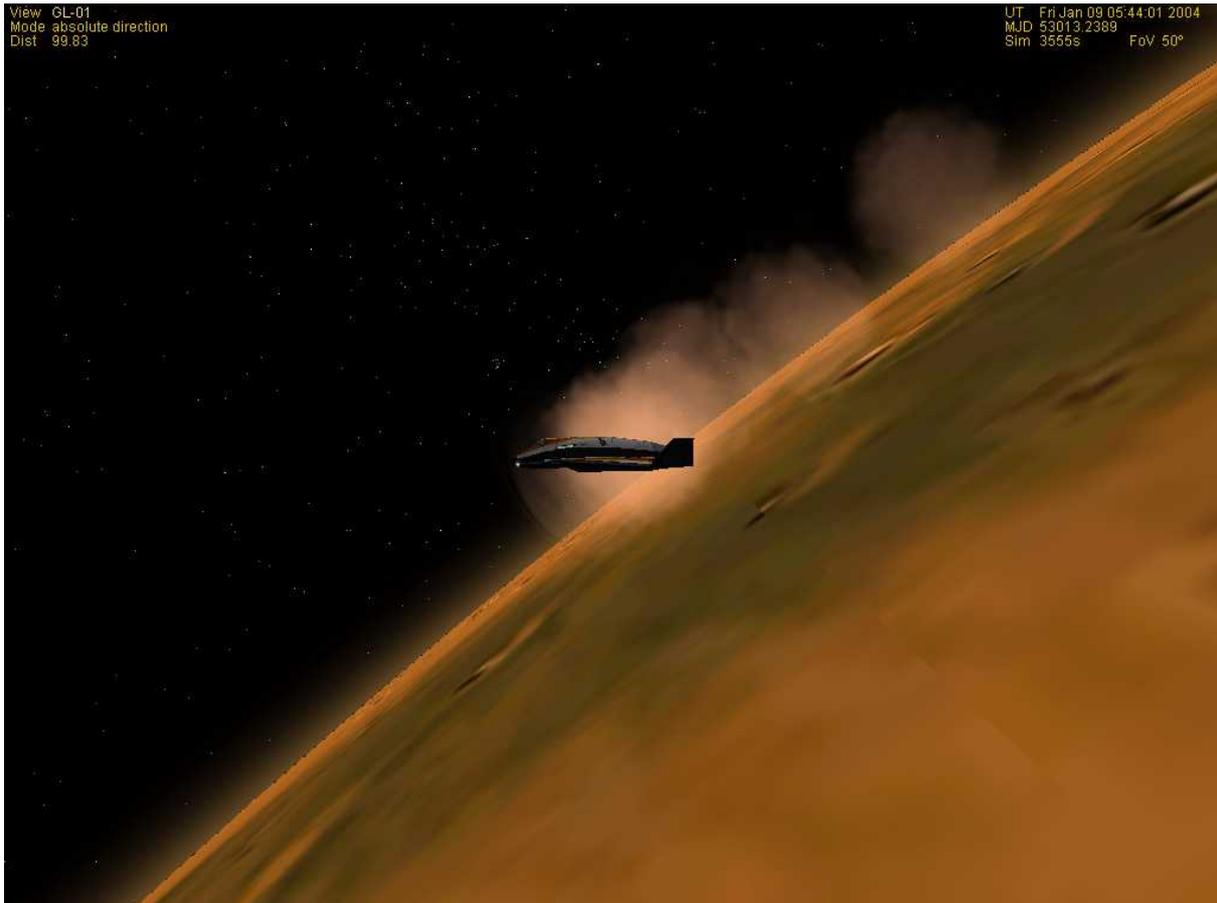
- Ouvrez sur l'un des MFD le module « Surface », sur l'autre le module « Orbit ».
- Lorsque votre altitude approche les 100 km sur le module « Surface », lancez le programme de rentrée PRO104SPEC40.
- Admirez votre rentrée, mais gardez un œil sur les températures. Normalement, il ne devrait pas y avoir de problème de ce côté-là. Gardez aussi un œil sur votre orbite, dans le module « Orbit ».

Une fois le freinage effectué, 2 possibilités :

- **Votre orbite coupe le cercle de la planète** (en projection *Self*) : vous avez trop freiné, vous allez vous crasher. Reprenez à la dernière sauvegarde (« Voyage vers Mars – Approche »), et augmentez légèrement la valeur de votre *PeA* (1 ou 2 km devrait suffire normalement), et réessayez !

- **Vous êtes en orbite** autour de la planète rouge ! A ce moment- là, libre à vous de faire ce qu'il vous plaît. Commencez quand même par remonter votre périapsis au prochain passage à l'apoapsis, afin de ne pas faire un deuxième freinage, qui vous serait fatal cette fois-ci. Si vous considérez que vous n'avez vraiment pas assez freiné et si vous êtes déçu par votre freinage aérodynamique, reprenez votre dernière sauvegarde « Voyage vers Mars – Approche », et abaissez d'1 ou 2 km la valeur de votre PeA. Pas plus, sinon vous vous cassez !

Aller, je vous laisse là, moi je vais me coucher. Envoyez-moi une carte postale !



L'auteur du présent tutorial en train de serrer les doigts pour que son vaisseau et lui-même ne se transforment pas en brochettes

## Annexe : Comment trouver une fenêtre de tir rapidement avec TransX ?

Le problème est le suivant : nous sommes en orbite autour d'une planète A et nous voulons nous rendre vers la planète B (on ne parle donc pas ici de rejoindre un satellite depuis la planète autour duquel il orbite).

Question : quand partir pour avoir le temps d'allumage le plus court possible ?

Pour résoudre ce problème, nous allons utiliser TransX.

Il faut également que votre vaisseau se trouve dans une orbite dont le plan orbital n'est pas trop éloigné de celui de la planète cible (du genre pas plus de 5° d'écart).

- Ouvrez TransX sur l'un des 2 MFD.
- Avec *VAR* et *-VR*, faites apparaître *Select Target Planets/Moons*. Initialement, cette variable vaut *none*. Avec ++ ou --, sélectionnez *Escape*.  
Nous avons ainsi expliqué à TransX que nous souhaitons échapper à l'attraction de la planète actuelle.
- Cliquez sur *FWD* pour créer le stage suivant, qui sera automatiquement centré sur le soleil.
- Dans ce stage, cliquez sur *VW* jusqu'à passer en vue *Setup* (il doit s'afficher *View: Setup* en haut à droite du MFD).
- Avec *VAR*, sélectionnez à nouveau *Select Target Planets/Moons*, et cette fois-ci, avec ++ ou --, sélectionnez la planète vers laquelle vous souhaitez vous rendre. Cliquez sur *FWD* pour créer le stage suivant, puis sur *BCK* pour revenir au stage 2.
- Cliquez sur *VW* pour changer de vue, et passez de la vue *Setup* à la vue *Ejec Plan*.
- Cliquez sur *VAR* ou *-VR* pour afficher la variable *Prograde Vel*, et avec ++ si vous voulez atteindre une planète extérieure, avec -- pour une planète intérieure, augmentez sa valeur. Une ellipse jaune pointillée apparaît. Réglez grossièrement la valeur de *Prograde Vel* de telle manière que le point le plus éloigné de cette ellipse soit tangent avec l'orbite de la planète cible.
- Vous apercevez aussi 2 traits jaunes pointillés sur le MFD : nous serons à la fenêtre de tir lorsque ces 2 traits seront superposés. Avec *VAR* ou *-VR*, sélectionnez la variable *Ejec Date* (« date de mise à feu »). Augmentez là doucement, jusqu'à ce que les 2 lignes jaunes soient confondues. Pour plus de précision, vous pouvez passer la sensibilité du réglage de *Coarse* à *Medium* (touche *ADJ*).
- Lorsque les 2 lignes pointillées sont superposées, la date affichée dans la variable *Ejec Date* est votre fenêtre de tir. Cependant, souvent, cette fenêtre de tir se situe à plusieurs centaines de jours du moment présent.
- Notez sur un papier cette valeur, et quittez Orbiter.
- Editez le scénario *Current State* avec un éditeur de texte de la manière suivante :
  - Remplacez le nombre qui suit *DATE MJD* dans le fichier scénario **par celui que vous avez noté diminué de 4 ou 5 jours**. Le problème, c'est que lorsque TransX prévoit une fenêtre de tir dans plusieurs centaines de jours, la date n'est pas exactement bonne à cause des approximations de calcul faites. Il faut donc mieux se placer un peu avant, pour avoir de la marge (sinon, vous risqueriez de vous retrouver 2 ou 3 jours après la fenêtre).
  - Effacez tout ce qui est compris entre les variables *BEGIN\_MFD LEFT* et le premier *END\_MFD*, puis entre *BEGIN\_MFD RIGHT* et le second *END\_MFD*.
  - Enregistrez les modifications, et relancez Orbiter avec ce scénario.
- Vous devez vous trouver à présent à quelques jours de la fenêtre de tir. Si vous êtes à plus d'une journée de la fenêtre de tir, refaites toutes les opérations depuis le début de ce tutorial, mais cette fois-ci soyez plus précis lorsque vous réglerez *Eject Date*. Affinez les réglages en passant en sensibilité *Medium* puis *Fine* (touche *ADJ*). Essayez de minimiser la valeur de *Cl. App* (Sur la gauche de l'écran). Notez la nouvelle valeur de *Ejec Date*, et lors de l'édition du fichier scénario, remplacez le nombre qui suit *DATE MJD* par la nouvelle valeur que vous venez de trouver diminuée de 0.3 (toujours pour avoir un peu de marge). Relancez Orbiter avec le fichier ainsi modifié pour la seconde fois.
- Cette fois-ci, vous vous trouvez à quelques heures de votre fenêtre de tir. Bon vol !

Voilà, ça à l'air assez compliqué comme ça, mais avec un peu d'habitude et comme on ne cherche pas à ce stade une précision diabolique vu que l'on se donne toujours un peu de marge, on finit rapidement par réaliser tout ça en quelques minutes.

Bons vols !