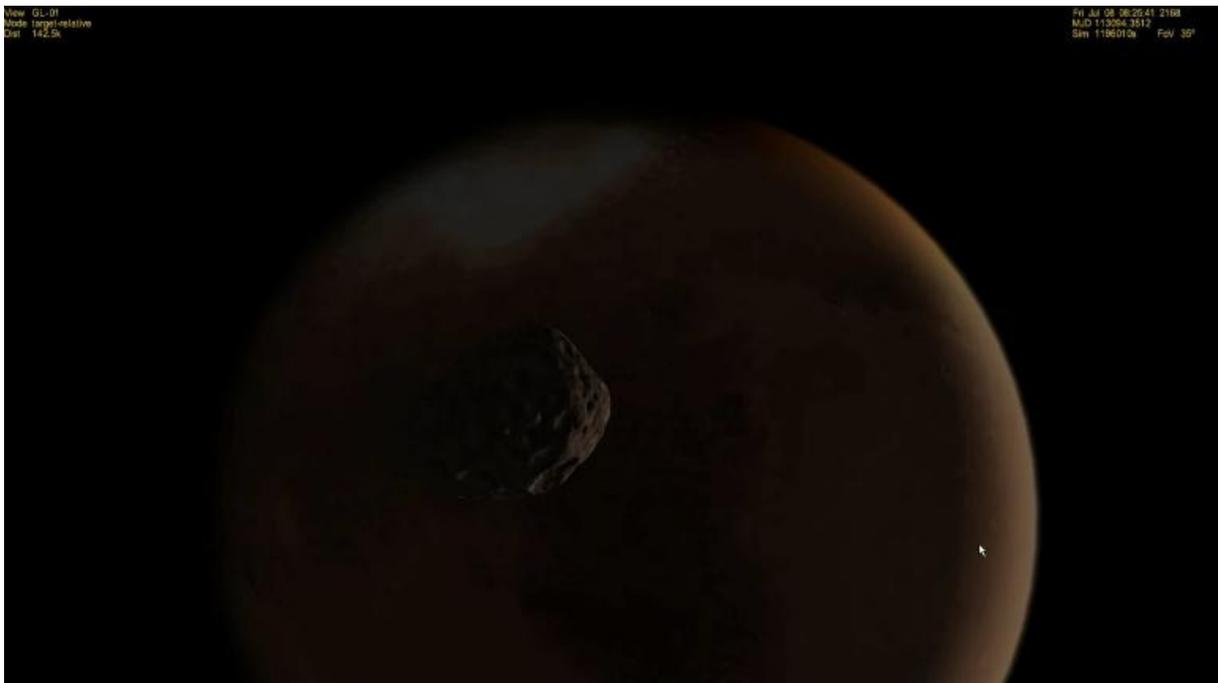


**ALIGNEMENT DIRECT AVEC UN OBJET ORBITANT AUTOUR D'UNE PLANETE,  
LORSQU'ON ARRIVE EN HTO A CETTE PLANETE :**

**CAS DE PHOBOS AUTOUR DE MARS**



**Carcharodon**

**Coch**

**Avril 2012**

## 1) Introduction

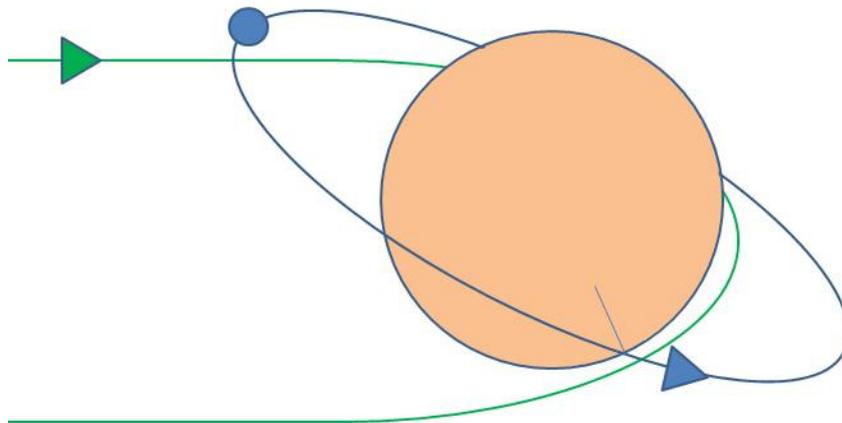
Notre ami Carcharodon a commis une vidéo sur le sujet, que l'on peut trouver à [http://www.dailymotion.com/video/xptci4\\_alignement-phobos\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/xptci4_alignement-phobos_tech)

De quoi s'agit-il ? Le but de l'opération est, en arrivant vers une planète mère quelconque, de tenter d'atteindre un des objets en orbite autour de cette planète (satellite, station orbitale, etc.) le plus efficacement possible, en consommant le minimum de carburant. L'originalité de la méthode développée par Carcharodon est de d'abord se préoccuper de l'alignement possible avec l'orbite de l'objet recherché, AVANT de s'occuper de la mise en orbite autour de la planète mère. On aurait une tendance naturelle à d'abord effectuer l'insertion en orbite autour de la planète mère, puis à s'occuper d'atteindre l'objet en orbite autour d'elle. Opérer ainsi est faisable, mais coûte très cher en carburant... J'ai donc été séduit par la méthode proposée par Carcharodon, et, quoiqu'elle m'ait parue originale, elle devrait en fait faire partie des manœuvres classiques d'Orbiter. C'est pourquoi je lui ai proposé de la coucher sur papier.

Coch

## 2) Présentation théorique du problème

On peut représenter le problème posé par le schéma suivant :



La planète mère, en orange, a un satellite, bleu, orbitant de manière prograde (attaquant la planète par la droite). Son plan orbital, à moins d'un coup de chance qui fait passer l'Euromillions pour une aimable plaisanterie, ne sera JAMAIS correctement aligné par rapport à la trajectoire d'arrivée de notre vaisseau, représentée par la courbe verte. C'est ce satellite que l'on veut pourtant atteindre, d'un seul coup. La seule certitude que l'on peut avoir est que, à un moment donné, on coupera fatalement le plan orbital de ce satellite. L'endroit précis où ce plan orbital sera coupé s'appelle un « node » (en français, nœud orbital). Il peut être soit ascendant si notre engin « monte » par rapport au plan orbital du satellite, soit descendant si notre engin « descend » par rapport au plan orbital du satellite. Lorsqu'on coupe le plan orbital au node, on a l'opportunité unique d'aligner notre plan

orbital avec celui du satellite : si on « monte », il faudra se mettre perpendiculairement à notre orbite, vers le bas, et « pousser » jusqu'à ce que notre plan orbital soit confondu avec le plan orbital du satellite. C'est ce que l'on appelle la position « Normal - ». Inversement, si on est à un node descendant, on se met en position « Normal + » et on « pousse » en montant jusqu'à ce que les deux plans orbitaux soient confondus. Mais, comme le montre le schéma, il faut au préalable contrôler si notre engin est également dans le même sens général de rotation autour de la planète mère, ce qui n'est pas le cas représenté ici... Si le satellite tourne dans le sens prograde et notre engin dans le sens rétrograde, on verra peut-être le satellite un jour, mais ce sera, heu... bref !

Lorsque l'opération est réalisée, on s'occupe seulement de la mise en orbite autour de la planète, et finalement on calculera une trajectoire de Hohmann pour atteindre le satellite.

Lorsqu'on arrive à l'objet recherché, ce qu'on y fait n'est pas décrit dans la présente procédure.

### 3) Préalables et quelques chiffres

L'exercice proposé demande une certaine habitude d'utilisation d'Orbiter. Il ravira les familiers, mais pourrait frustrer un débutant. Quelques approches de planètes ou de satellites sont nécessaires avant d'aborder le sujet, ainsi que la maîtrise essentielle de deux MFD :

- L'incontournable [IMFD 5.5](#), dont presque plus personne ne peut se passer aujourd'hui, tellement il est complet
- Un MFD moins connu mais simple et fort utile : [Burn Time Calculator 2.32](#), qui permet des corrections de vitesse.

Heureusement, il existe plusieurs tutoriaux sur IMFD, et ils sont très complets, de la théorie aux exercices pratiques. Nous supposons ici qu'IMFD est connu.

- <http://www.orbiterfrancophone.com/?disp=dl&tuto=true&id=59>
- <http://www.orbiterfrancophone.com/?disp=dl&tuto=true&id=40>

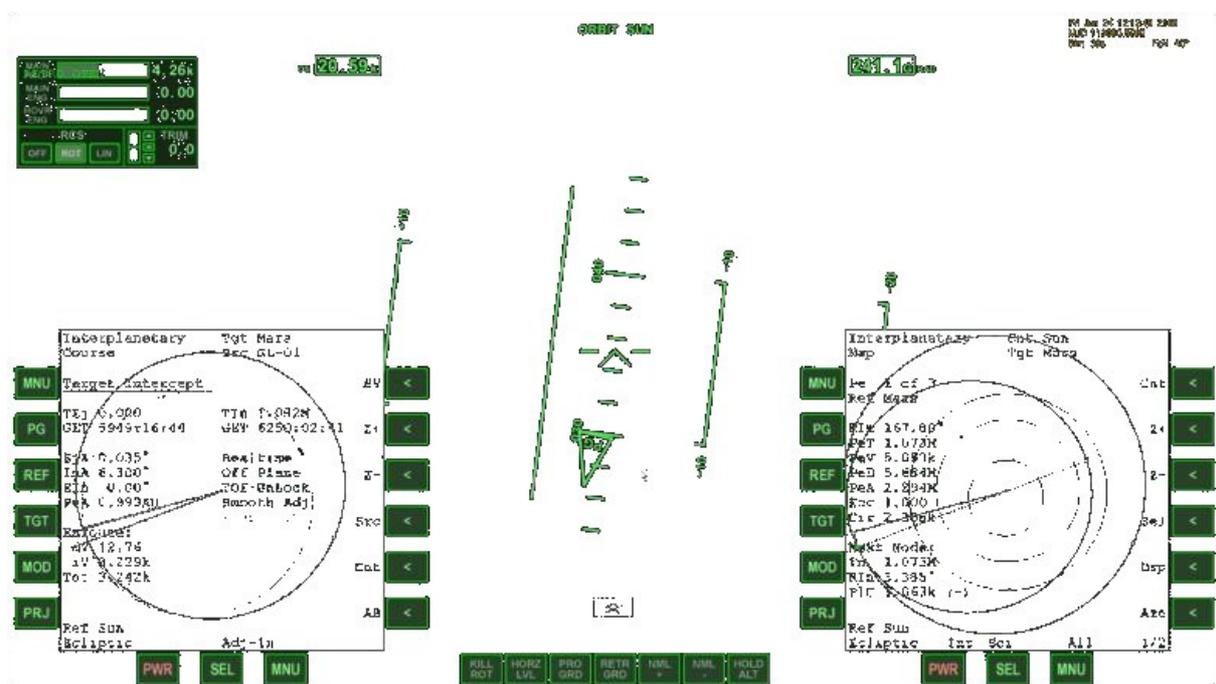
Phobos est un « cailloux » gravitant rapidement autour de Mars, dont la plus grande longueur fait 27 km, avec une période de 7 heures et 40 minutes. Vachement plus rapide que la Lune ! Son demi grand axe est de 9.377 km, depuis le centre de Mars. Comme le rayon de Mars est de 3.400 km, Phobos gravite à +/- 6.000 km de la surface de Mars. Lorsqu'on veut atteindre un objet en orbite, on ne se place JAMAIS à la même altitude, sauf si on a un temps disponible qui avoisine l'éternité... Généralement, on se place en dessous de l'orbite de l'objet pour orbiter plus vite que lui. Ici, on propose 5.000 km d'altitude pour notre approche. Ce n'est que lorsque la fenêtre de rendez-vous est calculée et enclenchée que l'orbite de Hohmann nous mènera jusqu'à l'altitude du satellite.

Dernière donnée : Phobos est petit... très petit ! En conséquence, son influence gravitationnelle est à peu près nulle.

#### 4) Approche

Nous supposons que nous sommes en approche de Mars, à 1 millions de seconde du Périapsis de la trajectoire, soit 11.5 jours (TIn = 1.000M). Nous n'illustrerons ici que le cas rencontré par Carcharodon dans sa vidéo, mais il est évident que plusieurs situations peuvent se présenter. Le raisonnement développé ici est donc à adapter à chaque situation particulière.

- Sur le MFD de gauche est allumé IMFD, module « Course », sous-module « Target Intercept » :
  - Ref = Sun
  - Tgt = Mars
  - Src = GL-01 (c'est-à-dire nous)
  - Prj = Ecliptic
- Sur le MFD de droite est allumé IMFD, module « Map » :
  - Ref = Sun
  - Tgt = Mars
  - Cnt = Sun
  - Int, Soi, All enclenchés
  - Sel = Ref Mars
  - Prj = Ecliptic



Le dV « En Route » est faible : on peut d'emblée faire progresser le temps jusqu'à environ 4 jours de Mars, soit jusqu'à une valeur de TIn de  $4 \times 24 \times 3600 = 350.0K$  sec. Pour contrôler le dV, on peut estimer que +/- 20 m/s correspond grosso modo à +/- 1 sec de burn.

Pour faire progresser le temps : une règle d'or : toujours vérifier si un des pilotes automatiques est enclenché ou pas. Si c'est le cas, TOUJOURS limiter la multiplication du temps à 100 x maximum. Sous peine de danser une sacrée samba !

Lorsque l'on est aux environ de 350.0K sec de TIn à l'approche de Mars, changer de sous-module dans l'IMFD de gauche et passer au sous-module « Planet Approach ». Ce module nous permettra de créer un node avec le plan orbital de Phobos, pour autant que cet objet soit désigné comme cible (target).

Lorsque « Planet Approach » est sélectionné :

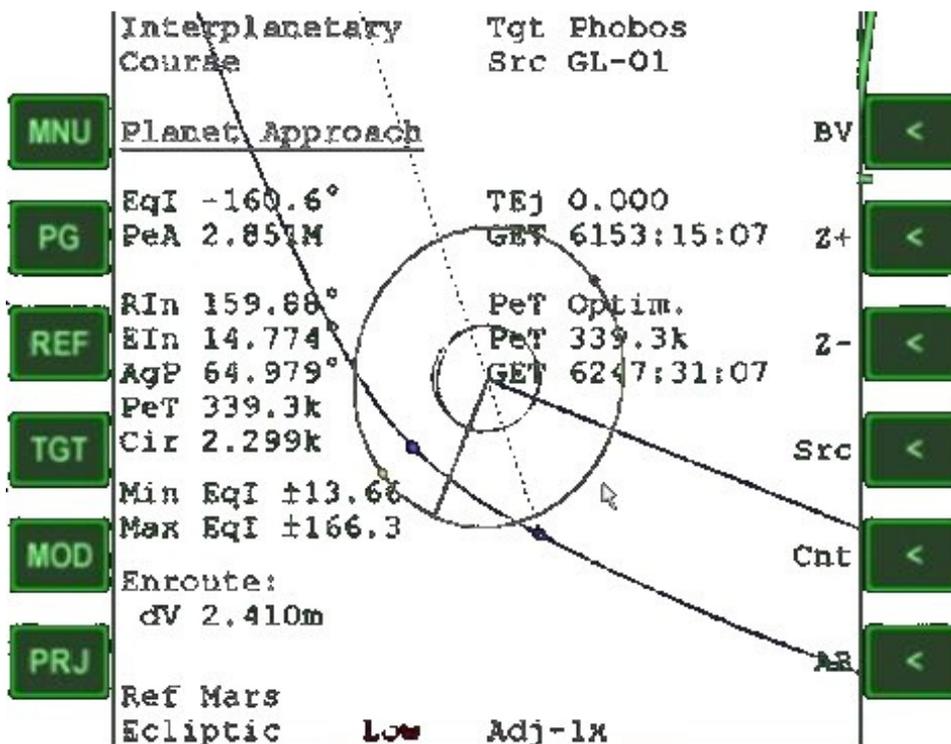
- Ref = Mars
- Tgt = Phobos

C'est cette dernière sélection qui nous permet de créer le node avec le plan orbital de Phobos. Deux autres paramètres et une opération sont encore à régler pour affiner notre approche :

- EqI : l'inclinaison équatoriale par rapport à la référence (Mars)
- PeA : le périapsis par rapport à la référence (le point minimum d'altitude de notre courbe)
- Enclencher l'auto-burn (AB)

### EqI :

Il faut avant tout vérifier le type de rotation orbitale de l'objet recherché et le comparer à notre approche. Pour ce faire, on peut faire avancer le temps afin de constater le sens de rotation du satellite. On peut aussi rechercher dans Wikipedia... S'il tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, il s'agit d'une rotation PROGRADE, sinon elle est RETROGRADE. Voici ce que Carcharodon a obtenu dans sa vidéo :

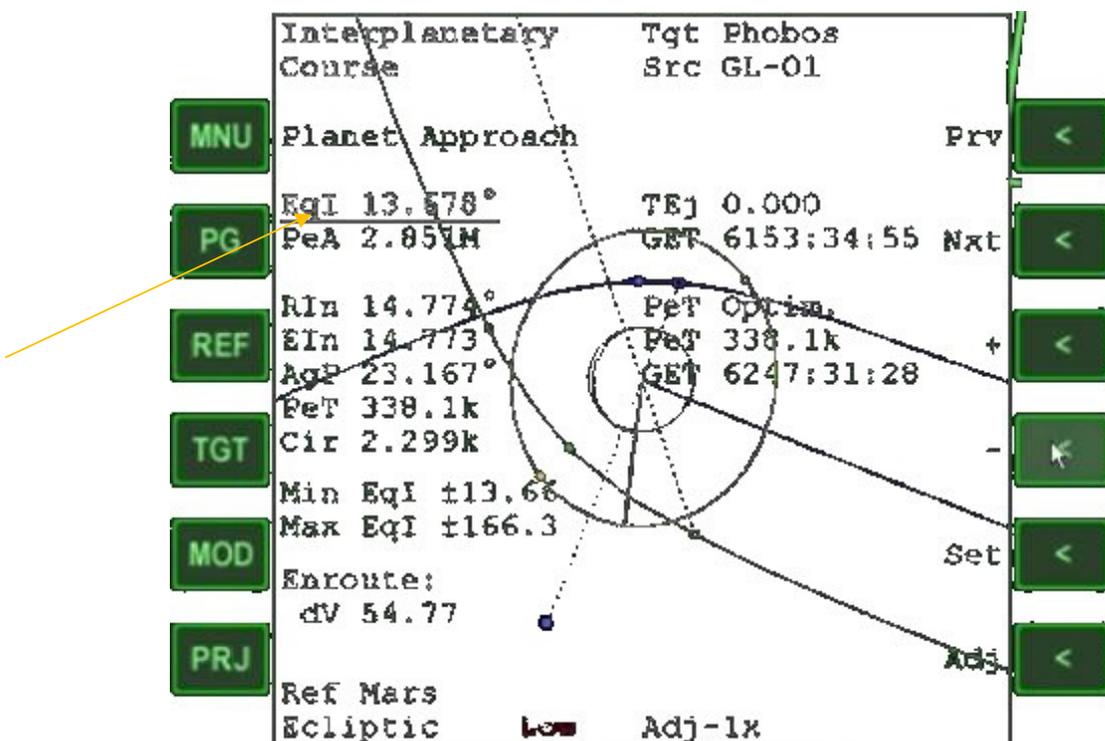


Le grand cercle montre l'orbite de Phobos autour de Mars. En jouant un peu avec la multiplication du temps, on constate aisément le sens Prograde de son orbite. Et nous ? Nous voyons sur IMFD deux éléments bleus : une courbe, qui est la courbe théorique d'approche (mais elle est confondue avec la

courbe verte, qui est la courbe réelle), et une ligne droite : cette ligne part du centre de Mars et va jusqu'à notre engin spatial, que nous ne voyons pas pour l'instant : il est hors champ. Mais nous pouvons en conclure une chose certaine : nous arrivons de la droite, et donc dans le sens RETROGRADE ! (Sens des aiguilles d'une montre). Ce n'est pas bon... Ceci est confirmé par la valeur de EqI, l'inclinaison d'arrivée, qui est à  $-160.6^\circ$ , le signe « - » trahissant une insertion du côté du pôle Sud. Rappelons que :

- un EqI de  $0^\circ$  correspond à une insertion prograde à l'équateur,
- un EqI de  $90^\circ$  correspond à une insertion par le pôle Nord
- un EqI de  $-90^\circ$  correspond à une insertion par le pôle Sud
- un EqI de  $-180^\circ$  ou  $+180^\circ$  correspond à une insertion équatoriale rétrograde

On est donc presque en insertion équatoriale rétrograde. Il est aisé de corriger cela, en faisant varier la valeur de EqI : on se place sur cette donnée et, à l'aide du bouton « Set », on tente d'introduire une valeur de « 0 », correspondant à l'équateur de Mars. On constate que cette valeur est rejetée, dû à l'inclinaison de Mars par rapport à notre. On tente donc de se placer à la valeur positive (Prograde) minimale possible, avant de « ressauter » dans les angles négatifs. Dans l'exercice de Carcharodon, cette valeur est de  $13.678^\circ$ . Si on tente de diminuer encore, on passe immédiatement à  $-13.678^\circ$ ... Il est donc impossible de faire moins. Il y a donc une zone interdite entre  $+13.678^\circ$  et  $-13.678^\circ$ , due à l'inclinaison de l'axe de rotation de Mars par rapport à nous au moment du calcul vaisseau (l'inclinaison de Mars par rapport à son plan orbital est de  $25.19^\circ$ ). En ayant fait varier cette valeur d'angle et en la mettant positive, on peut immédiatement en observer l'effet sur la courbe calculée, par rapport à la courbe réelle du moment :



On voit nettement que la courbe bleue passe maintenant au dessus de Mars. Comme on arrive par la droite (ligne bleue), on est bien (par calcul, virtuellement) en mode prograde, comme Phobos. Bien entendu, comme la correction ne s'est pas encore traduite dans les faits, la courbe verte passe

toujours en dessous de Mars. On peut faire tous les calculs que l'on veut, tant qu'on n'allume pas nos moteurs, rien ne change !

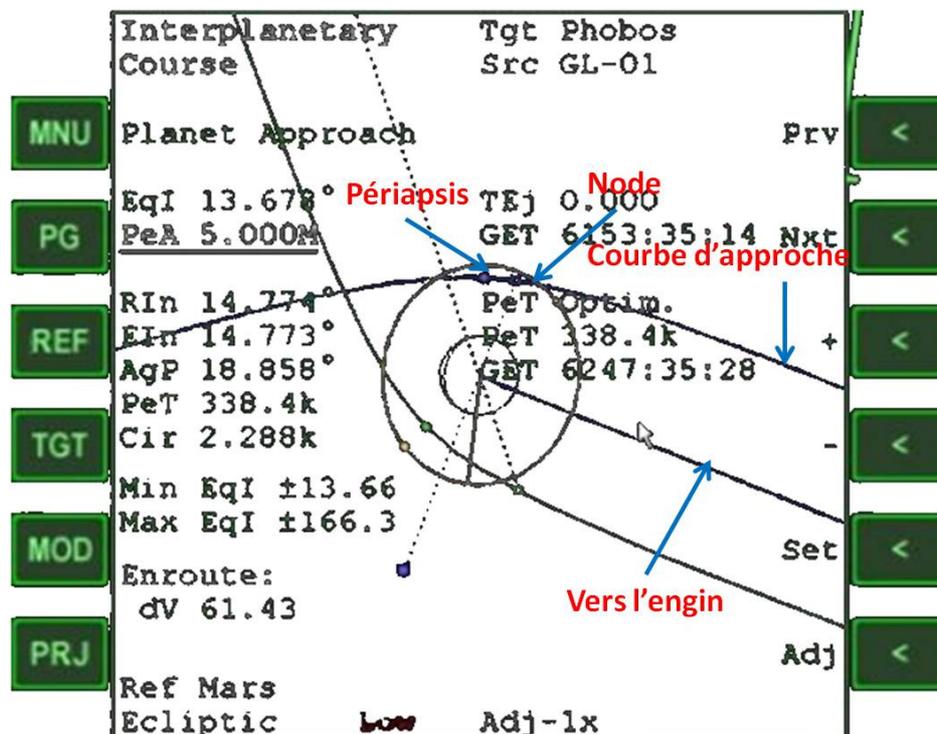
### PeA :

Nous l'avons vu plus haut : on va se fixer une altitude de 5.000M mètres à partir de la surface de Mars (M pour million : 5 millions de mètres = 5.000 km). C'est notre Périapsis d'arrivée, et également le point de circularisation de notre orbite martienne. Nous fixons cette valeur en sélectionnant PeA et en introduisant la valeur « 5.000M » avec le bouton « Set ». Ainsi, nous serons 1.000 km en dessous de Phobos. Nous irons donc plus vite et nous pourrions calculer une orbite de Hohmann optimale pour l'atteindre. Mais une chose à la fois...

On peut visualiser la situation en faisant varier la rotation de la projection, à l'aide des touches Shift + W.

Si on examine de près les éléments bleus, on peut observer :

- Une ligne bleue qui part du centre de Mars vers notre engin spatial, toujours hors champ
- Une courbe bleue, qui est la courbe d'approche prograde calculée
- Un petit rond bleu vide, sur la courbe, et attaché à une ligne pointillée : c'est le node créé avec le plan orbital de Phobos (le trait pointillé indique la ligne entre les deux plans orbitaux : le nôtre et celui de Phobos)
- Un petit point bleu plein, sur la courbe : c'est le point du périapsis, là où se fera la circularisation



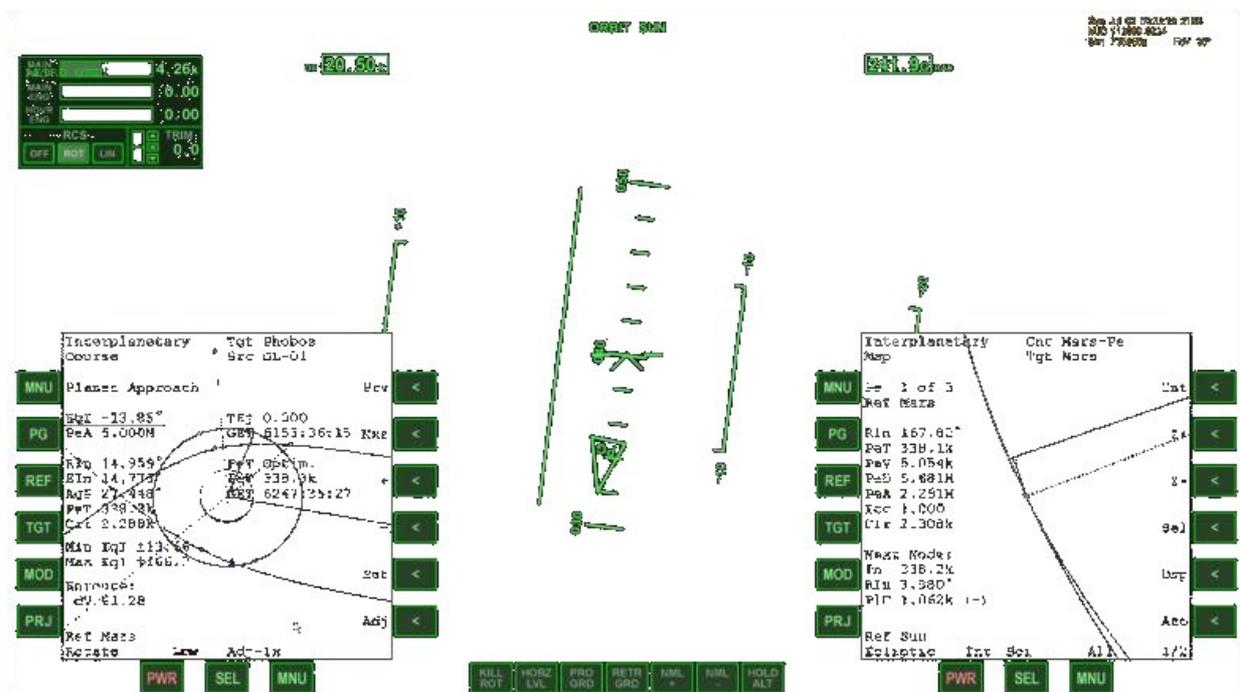
On constate donc que la courbe bleue va traverser le plan de l'orbite de Phobos (et non son orbite !), plus bas en altitude martienne que l'orbite elle-même. Le node est situé sur le plan orbital : c'est à cet endroit que le plan orbital sera traversé par notre engin, et c'est **A CET ENDROIT, ET NULLE PART**

**AILLEURS** que l'on pourra corriger notre propre plan orbital pour qu'il s'aligne parfaitement avec celui de Phobos.

On remarque que les deux points, le node et le périapsis, sont assez proche. Or, à l'aide des AP :

- Pour corriger le plan orbital au **node**, on devra se mettre en position **Normal +** ou **Normal -** (comme pour toute correction de plan orbital)
- Pour circulariser en orbite au **périapsis**, on devra se mettre en position **Retrograde** afin de « freiner »

Autant se donner donc un peu d'air entre les deux points de manoeuvres. Pour ce faire, on augmente très peu la valeur de EqI. Ici, on passe de 13.678° à 13.85°. Cette légère variation est suffisante, et nous laissera le temps de changer de position entre les deux opérations :



**AB :**

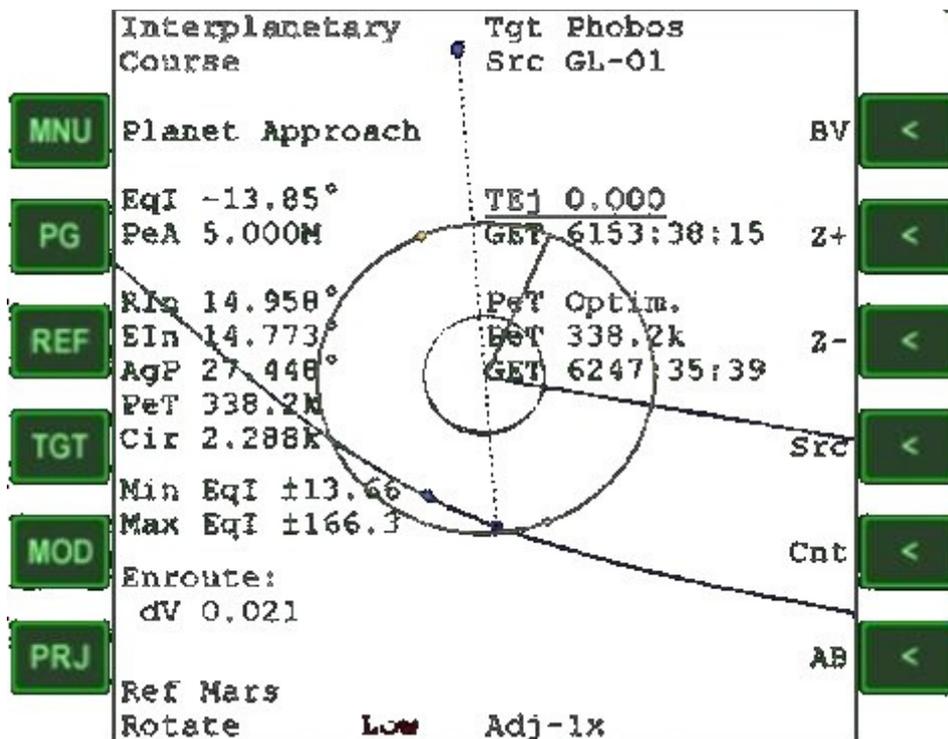
Il nous reste à lancer la correction d'approche de Planet Approach, avec 3 opérations communes :

- L'accélérateur de temps à 1x
- TEj à 100 sec pour le positionnement
- Cliquer AB pour lancer l'auto-burn.

On laisse faire IMFD, tout est automatisé. On peut éventuellement accélérer le temps à 10x. Lorsque Planet Approach aura terminé sa correction, la courbe verte sera parfaitement alignée avec la courbe bleue : le réel aura rejoint le calcul ! Au moins, on arrivera dans le bon sens... On constatera également que dV « EnRoute » est devenu proche de 0 : la correction de trajectoire a bien été effectuée.

Après la correction, on peut lire le temps restant jusqu'au Periapsis de Mars, qui sera notre point d'insertion : PeT. Dans l'exemple, 338.2k sec, soit près de 100 heures. On peut donc accélérer le

temps pour diminuer PeT, mais en surveillant la valeur de dV, qui traduit la correction à apporter à la trajectoire. Pour info, un dV de 20 m/s correspond à +/- 1 seconde de burn. Notons que la valeur "Low" en rouge en bas de l'IMFD, traduit une valeur faible de l'influence gravitationnelle de Mars. L'influence prépondérante reste celle du soleil. On peut constater cela sur le MFD de droite, en passant au MFD "Orbit" : selon la référence choisie (REF), on constate que le G de "Sun" est nettement supérieur au G de Mars. Dans l'exemple : 86% pour le soleil et 14% pour Mars.



Procéder à de petites corrections, qui ne coûtent pas cher en carburant. Pour chaque correction :

- Bloquer l'accélérateur de temps à 1
- fixer TEJ à 100 (avec la touche "Set", introduire la valeur 100, puis Enter)
- cliquer la touche AB, en changeant au préalable de page (touche PG)

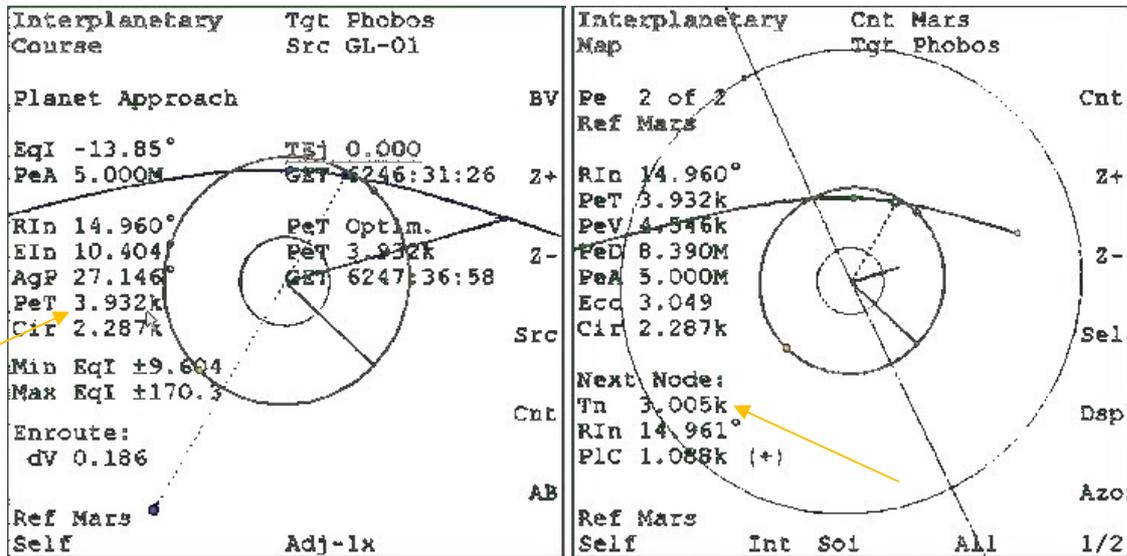
Continuer à accélérer le temps tant que la valeur de dV ne dérape pas. Procéder à une dernière correction à environ 4.000k sec. On constate que la valeur "Low" a disparu, car l'influence gravitationnelle de Mars est devenue prépondérante. Dans l'exemple, si on repasse sur le MFD de droite au module "Orbit", on constate maintenant une valeur de G de 0.98% pour Mars : on approche !

## 5) Correction du plan orbital au node

Il est temps maintenant d'adapter le module "Map" du IMFD de droite à Mars et Phobos :

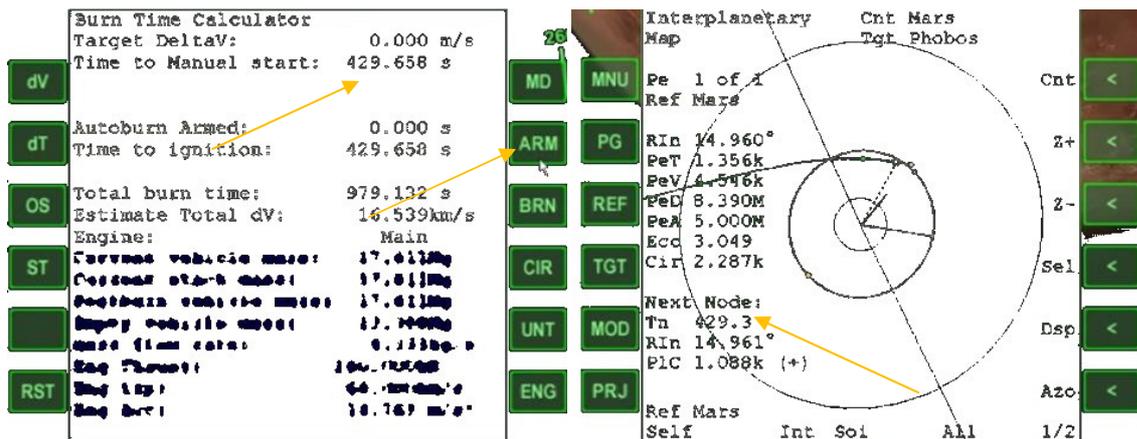
- Ref = Mars
- Tgt = Phobos
- Cnt = Mars
- Prj = Self

Sur ce module : on peut lire les données du node auquel on fera notre correction de plan orbital : "Next Node". Dans l'exemple, on lit sur le MFD de droite un Tn (time to node) pour le Next Node de 3.005k sec, alors que sur le MFD de gauche, on peut lire un PeT de 3.932k sec pour arriver au Periapsis ou point de circularisation. On a donc ici 930 sec de disponible entre les deux manoeuvres, soit 1/4 d'heure. C'est suffisant. Mais ce temps illustre tout de même la bonne décision d'avoir un peu changé la valeur de EqI afin d'éloigner les deux points.



**dT :**

On se rapproche de Tn = environ 500 sec (Tn = time to node), et on ouvre le MFD « Burn Time Calculator » à gauche. On clique sur le bouton dT, et on y rentre une valeur inférieure de 10-20 sec inférieure à Tn, puis « enter ». On laisse filer le temps, les yeux rivés sur la valeur de Tn, et la flèche de la souris sur le bouton « ARM » de « Burn Time Calculator ». Lorsque la valeur de Tn à droite est exactement la valeur encodée dans « Time to Manual start » via dT, on clique le bouton « ARM » :



**dV :**

« Time to Ignition » apparaît avec très exactement la même valeur que Tn : l'allumage se fera exactement à l'endroit du node. De quelle valeur ? Elle donnée par « PIC » (Plane Change), qui indique la valeur de dV à appliquer pour réaliser le changement de plan. On clique donc, dans « Burn

Time Calculator », sur dV, et on rentre simplement la valeur lue de PIC dans « Map » (dans l'exemple de Carcharodon : 1.088k :

**Burn Time Calculator**  
 Target DeltaV: 1.088km/s  
 Time to Manual start: 413.259 s  
 Autoburn Armed: 73.034 s  
 Time to ignition: 376.577 s  
 Total burn time: 979.132 s  
 Estimate Total dV: 16.539km/s  
 Engine: Main  
 Current vehicle mass: 17.61Mg  
 Current stage mass: 17.61Mg  
 Boosters vehicle mass: 17.61Mg  
 Empty vehicle mass: 11.00Mg  
 Mass flow rate: 0.713kg/s  
 Thrust: 10.00kN  
 Thrust: 60.000kN  
 Thrust: 14.76kN

**Map**  
 Interplanetary Course Tgt Phobos  
 Map Src GL-01  
 Planet Approach BV  
 EqI -13.85° TEj 0.000  
 PeA 5.000M GET 6247:20:55 Z+  
 RIn 14.960° PeT Optim. PeT 964.0 Z-  
 EIn 0.246° GET 6247:36:59  
 AgP 27.156°  
 PeT 964.0  
 Cir 2.287k  
 Min EqI ±0.176  
 Max EqI ±179.8  
 Enroute: dV 0.542  
 Ref Mars  
 Rotate Adj-1x

**Map Parameters**  
 Pe 1 of 1  
 Ref Mars  
 RIn 14.960°  
 PeT 1.345k  
 PeV 4.546k  
 PeD 8.390M  
 PeA 5.000M  
 Ecc 3.049  
 Cir 2.287k  
 Next Node:  
 Tn 417.9  
 RIn 14.961°  
 PIC 1.088k (+)  
 Ref Mars  
 Self Int Soi All 1/2

La valeur de la poussée étant rentrée dans « Burn Time Calculator », on remarquera que Tn n'a plus exactement la même valeur que Time to Ignition : l'allumage commence avant l'arrivée au node et se terminera après être passé : le temps d'allumage n'est pas ponctuel !

**Attitude :**

Dans « Map », après la valeur de PIC, on remarque la présence d'un « (+) ». Cela indique qu'il faut se mettre dans la position « Normal + » pour opérer le changement de plan. Si c'est « (-) », on se met en « Normal - ». On clique donc ici sur le bouton d'AP « Normal + » pour nous mettre en position.

**Correction :**

Il ne nous reste plus qu'à attendre l'arrivée au node et la correction faite par l'auto-burn de « Burn Time Calculator ». On peut accélérer le temps, mais il est prudent de remettre l'accélération à x1 une dizaine de seconde avant le Time to Ignition. Grâce aux touches Shift + W, on peut voir le plan orbital de Phobos de profil et observer notre changement de plan orbital :

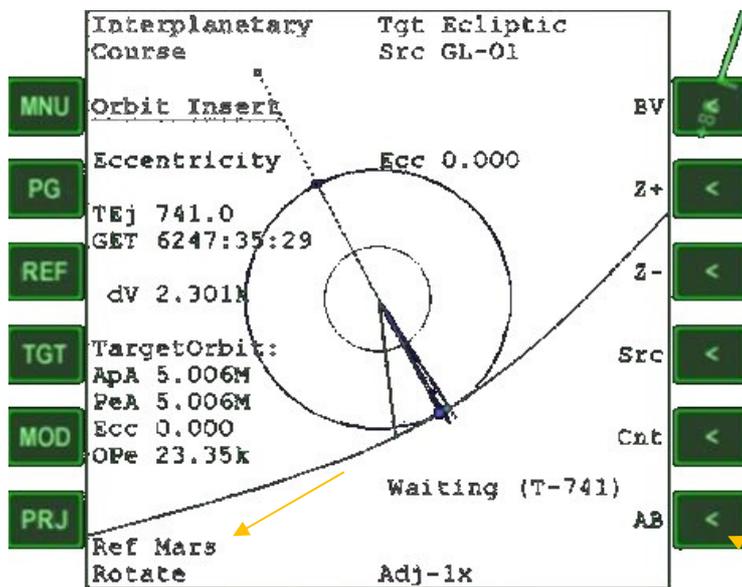
**Map (Left)**  
 Interplanetary Course Tgt Phobos  
 Course Src GL-01  
 Planet Approach BV  
 EqI -13.85° TEj 0.000  
 PeA 5.000M GET 6247:20:55 Z+  
 RIn 14.962° PeT Optim. PeT 964.0 Z-  
 EIn 0.246° GET 6247:36:59  
 AgP 27.156°  
 PeT 964.0  
 Cir 2.287k  
 Min EqI ±0.176  
 Max EqI ±179.8  
 Enroute: dV 0.542  
 Ref Mars  
 Rotate Adj-1x

**Map (Right)**  
 Interplanetary Course Tgt Phobos  
 Course Src GL-01  
 Planet Approach BV  
 EqI -13.85° TEj 0.000  
 PeA 5.000M GET 6247:22:26 Z+  
 RIn 14.962° PeT Optim. PeT 902.4 Z-  
 EIn -0.00° GET 6247:37:28  
 AgP 25.947°  
 PeT 902.4  
 Cir 2.174k  
 Min EqI ±0.025  
 Max EqI ±179.9  
 Enroute: dV 1.090k  
 Ref Mars  
 Rotate Adj-1x

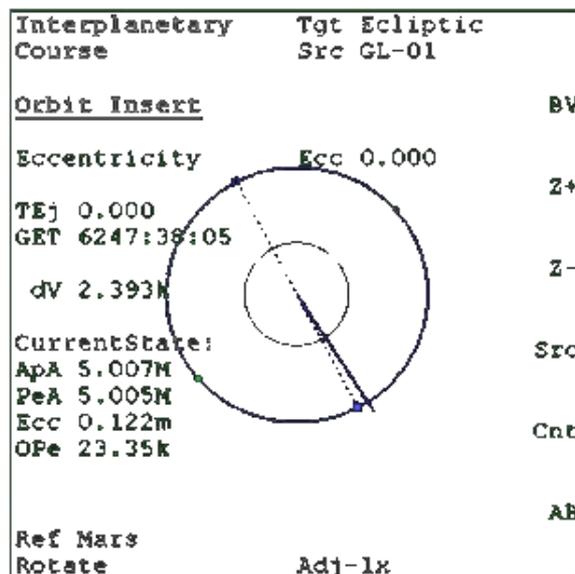
Après la correction de plan, nous nous trouvons exactement dans le plan orbital de Phobos. On observera sur le MFD « Map » que la valeur de RIn (inclinaison relative) est pratiquement tombée de 15° à 0°, indiquant la réussite de la correction.

### 6) Circularisation autour de Mars

On abandonne « Burn Time Calculator » et on retourne dans « IMFD », module « Course », et on appelle le sous-module « Orbit Insert ». Bien vérifier, à tout hasard, que la référence « REF » est bien Mars. Le calcul se fait tout seul (à moins d'un bug, ça arrive...). On change de page avec « PG » et on lance l'auto-burn en cliquant sur « AB ». Il ne reste plus qu'à attendre... On peut accélérer ici le temps sans souci : l'auto-burn de IMFD gère les accélérations de temps pour finalement les ramener à x1 en fin d'opération :



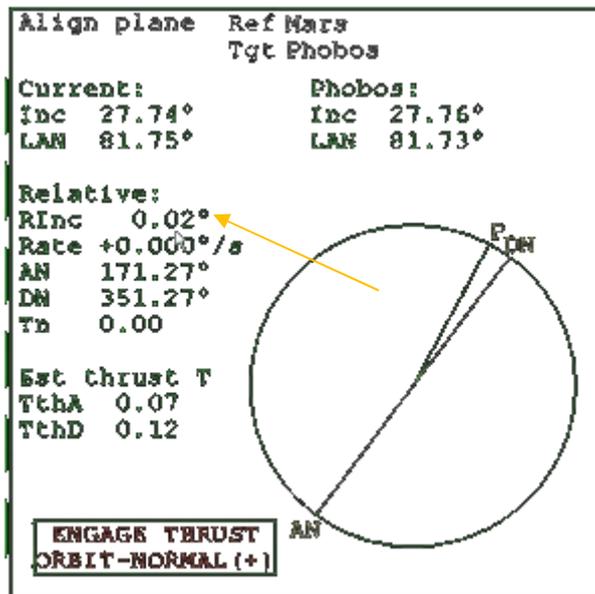
A la fin de la manœuvre, nous sommes en orbite autour de Mars, dans le plan orbital de Phobos, 1.000 km en dessous de celui-ci.



On peut vérifier à l'aide du MFD « Align Plane », en indiquant :

- Ref = Mars
- Tgt = Phobos

La valeur de RInc est pratiquement de 0°.

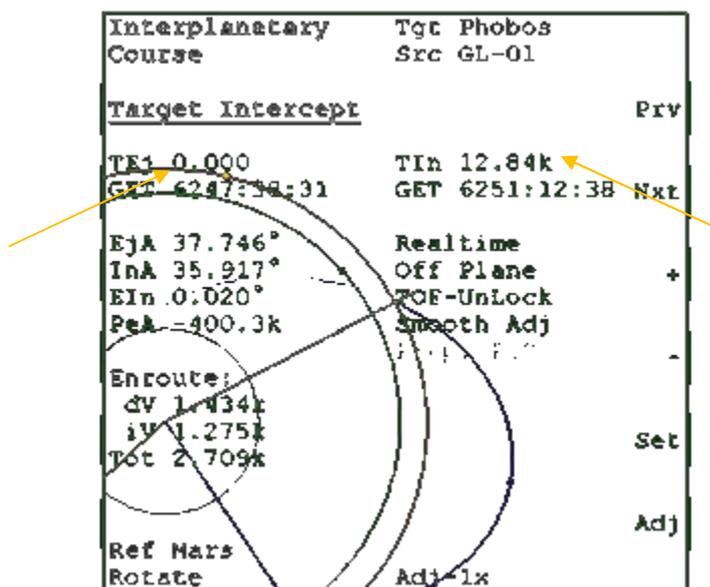


### 7) Rendez-vous avec Phobos

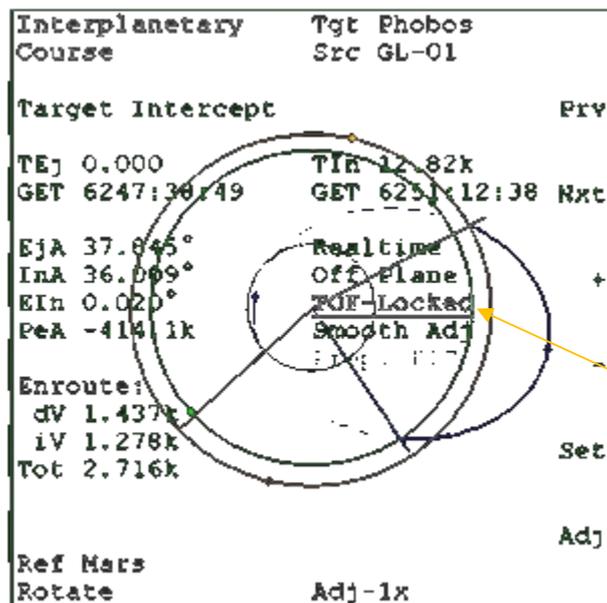
Nous sommes maintenant dans les conditions indispensables pour créer un rendez-vous avec Phobos. On reprend IMFD, module Course, sous-module Target Intercept :

- Ref = Mars
- Tgt = Phobos
- Centrer sur Mars pour la visibilité de la lecture

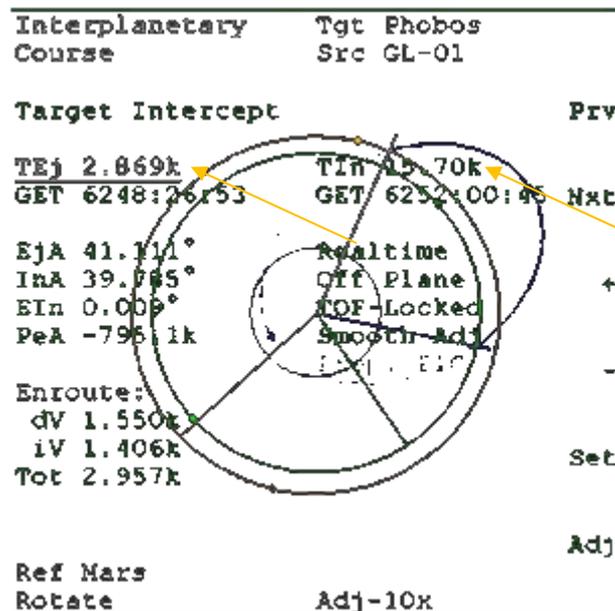
Dans l'exemple ici, on a un TEj (départ) de 0 et un TIn (arrivée) de 12.83k sec.



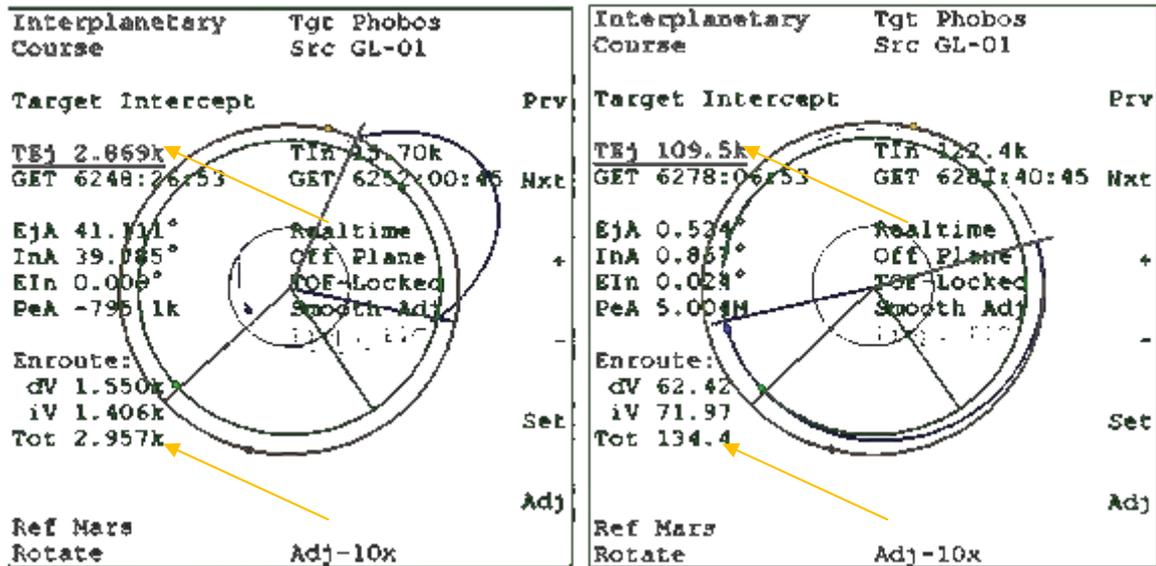
On va tout d'abord bloquer cet écart de temps : aller sur "**TOF-Unlocked**". En cliquant sur "+", on change la valeur en passant à "**TOF-Locked**", bloquant ainsi la différence de temps : lorsque **TEj** (départ) augmente, **TIn** (arrivée) augmentera en conséquence.



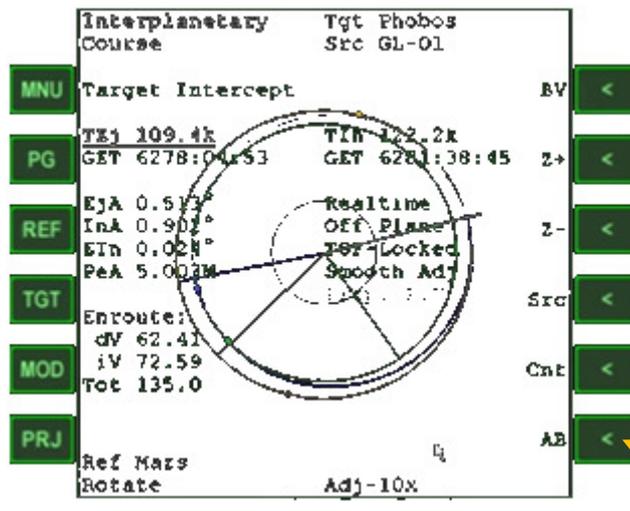
On passe Adj à 10x et on augmente TEj à l'aide de la touche "+". on voit qu'en effet TIn augmente également :



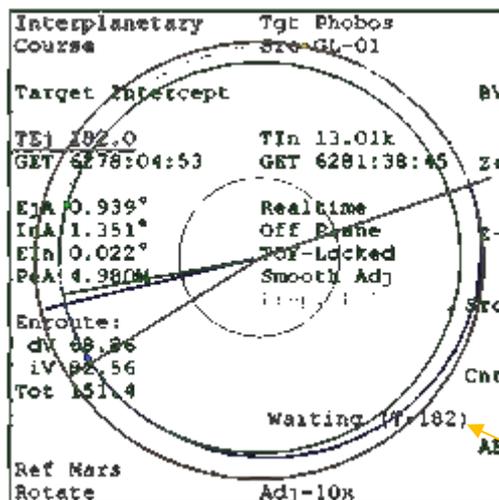
Le but est de diminuer au minimum la valeur de dV Tot (dernière ligne : Tot). On constate qu'au début, ce n'est pas le cas, ce qui peut être perturbant : **insister** et continuer à augmenter TEj jusqu'à ce que le maximum de dV Tot (Tot 5.800k m/s dans cet exemple !) soit passé et qu'il commence à diminuer jusqu'à son minimum. On peut obtenir une valeur minimale de +/- 135 m/s, très éloignée de la valeur de départ (dans l'exemple, 2.700 m/s !).



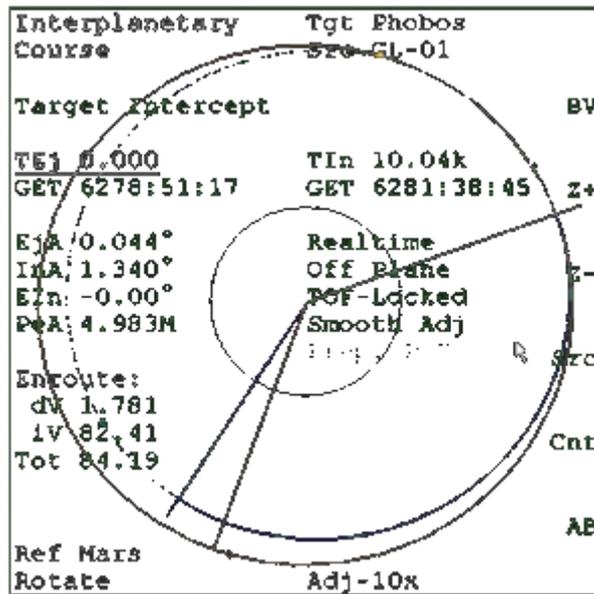
Lorsque le minimum est atteint, lancer l'auto-burn en cliquant sur AB. Accélérer le temps de manière à atteindre environ 200 sec avant le début (la correction d'attitude se produit à 180 sec avant l'auto-burn). Ou peut laisser une accélération de temps de x 10000 sans souci.



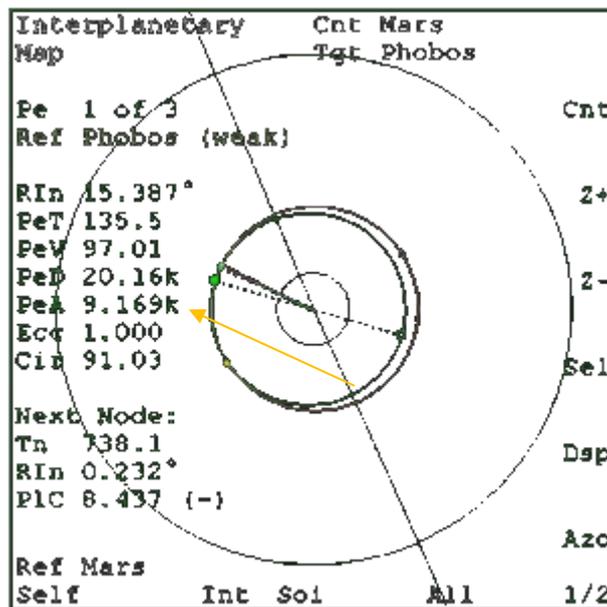
Voici IMFD, 2 secondes avant la correction d'attitude :



La correction est lancée automatiquement et la courbe verte (réelle) rejoint la courbe bleue (calcul), en route vers Phobos :



On accélère le temps pour arriver à Phobos. Il est judicieux de contrôler sur l'IMFD « Map » de droite la valeur du PeA (le périapsis à Phobos, ou le point le plus proche de la surface), afin de savoir si on ne s'en éloigne pas trop :



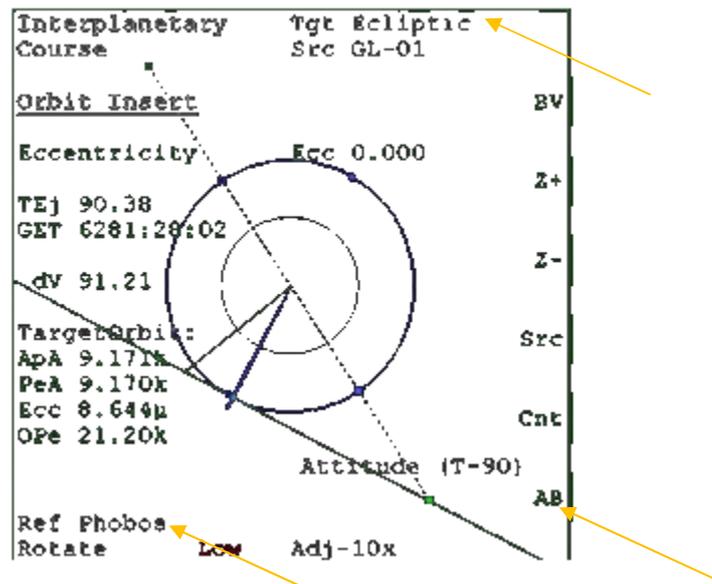
On observe ici une valeur stable de +/- 9 km. Si ce n'était pas le cas, on peut lancer une correction de trajectoire à l'aide de « Target Intercept », en cliquant sur le bouton « AB ». On observera que Phobos est indiqué comme faible (weak), et pour cause : il s'agit d'un caillou !

## 8) Circularisation autour de Phobos

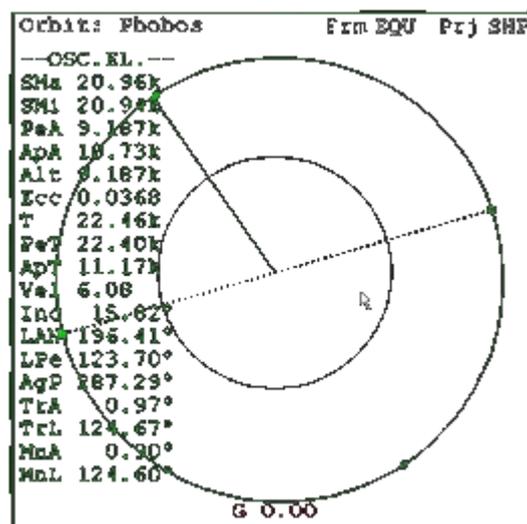
A l'approche de Phobos, appeler le sous-module « Orbit Insert » :

- Ref = Phobos
- Tgt = e
- Src = x

Le calcul de circularisation se fait tout seul, et il suffit de ne pas oublier d'enclencher le pilote automatique en changeant de page (PG) et de cliquer sur le bouton « AB » :



Pour votre plaisir, c'est le moment de jeter un coup d'œil à la fenêtre vers le caillou... J'ai trouvé beaucoup d'humour dans la volonté de circulariser autour d'un caillou en forme de cacahuète ! En fait, il ne s'agit pas à proprement parler d'une mise en orbite autour de Phobos, mais plutôt d'une position pseudo-stable à proximité de Phobos, en orbite martienne. La position peut être tenue plusieurs heures, mais sera tôt ou tard détruite. Le MFD « Orbit », avec Ref = Phobos, nous donne d'ailleurs ceci :



Nous pouvons y voir une influence gravitationnelle de Phobos de... 0.00 % !!!

## 9) Crédits :

Satané Carcharodon ! « La vidéo est un peu dense », dit-il. Ca, pour être dense, elle est dense ! Mais je ne soupçonnais pas d'en tirer 18 pages ! Qu'il soit ici remercié pour les nombreux détails fournis dans la vidéo et pour le temps qu'il y consacre. D'autant plus que ses vidéos sont de qualité, tant dans la présentation que dans le contenu. Si, si ! Il a bien mérité sa transat pendant que toute la communauté Orbiter répètera ses approches satellitaires à coups d'aspirines !

Il me faut également remercier l'homme sans qui toute cette communauté s'ennuierait en baillant : Martin Schweiger, le créateur d'Orbiter.

Les francophones étant ce qu'ils sont (des non anglophones...), il me faut également remercier Daniel Polli (DanSteph) pour le forum qu'il anime pour notre communauté d'amateurs.

Toutes ces manœuvres et maux de crânes sont en grande partie dus au créateur d'IMFD, Jarmo Nikkanen (Jarmonik), qui est crédité de tout mon respect pour son puissant calculateur.

Enfin, Burn Time Calculator est une œuvre collective, due à David Henderson, Chris Jeppesen et Thomas Hagemeyer (Topper), qui méritent, eux aussi, mes remerciements.

Coch

Avril 2012