

MISSION EXOMARS

Par Papyref
Octobre 2016



1 - Installation

Il suffit de dézipper le Pack Mission Exomars dans votre dossier Orbiter.

Cet addon nécessite :

- InterplanetaryMFD 5.5 de Jarmo Nikanen que l'on trouve sur le site <http://users.kymp.net/p501474a/Orbiter/Orbiter.html> qu'il faut installer et activer dans le Launchpad -- >module
- Pad24_UR500_V1 de Papyref qui se trouve sur ce site

2 - But de la mission

Elle consiste à lancer vers Mars une sonde appelée TGO_(Trace Gas Orbiter) qui doit se placer en orbite autour de la planète Mars pour étudier la présence et l'origine des gaz présents dans l'atmosphère martienne à l'état de trace notamment le méthane dont elle doit tenter de déterminer s'il est d'origine biologique.

La sonde spatiale a été lancée le 14 mars 2016 par une fusée russe Proton. Après s'être insérée en orbite autour de Mars en octobre 2016, la mission doit utiliser la technique de l'aérofreinage durant 12 mois avant d'entamer la phase scientifique de la mission qui doit s'achever en 2022.

La sonde spatiale d'une masse totale de plus de 4 tonnes transporte une charge utile de 712 kg comprenant 4 groupes d'instruments (spectromètres, caméras, détecteurs de neutrons) et l'atterrisseur expérimental européen EDM (Schiaparelli)_ qu'elle doit larguer à proximité de Mars. Celui-ci doit se poser sur Mars et permettre ainsi de valider les techniques de rentrée atmosphérique et d'atterrissage sur cette planète.

Il porte un bouclier thermique, un parachute ralentisseur, le Lander (petit atterrisseur motorisé, devant se poser en douceur pour déposer le Rover.

Bien que cette mission ne comporte pas de Rover, j'ai imaginé et ajouté celui-ci pour le fun.

Le site d'atterrissage retenu Oxia planum se situe dans la plaine [Meridiani Planum](#) par 6,1° Ouest 1,9°S à une altitude -1424 mètres. Il se trouve non loin du site d'atterrissage du [rover Opportunity](#).

3 - Lancement et transit vers Mars (mars à octobre 2016)

La fenêtre de lancement vers la planète Mars s'ouvrait le 14 mars et se refermait le 25 mars 2016. TGO est lancée avec l'atterrisseur EDM par une fusée russe Proton-KM/[Briz-M](#) depuis le cosmodrome le 14 mars 2016 à 18h33 GMT.

Pour la fusée Proton il s'agit du premier lancement d'une sonde spatiale interplanétaire depuis plus de deux décennies mais le profil de ce vol est proche des mises en orbite de satellites de télécommunications qui représentent une part importante de l'activité du lanceur. Le lancement s'étale sur 11 heures car la poussée de l'étage Briz-M est relativement faible et pour optimiser son utilisation, il faut trois mises à feu successives :

- T0 : décollage
- 1'59" : mise à feu du second étage
- 5'24" : mise à feu du troisième étage
- 9'31" : largage du troisième étage. La sonde spatiale est sur une orbite de parking standard avec une altitude 175 km et une inclinaison équatoriale de 51,5°
- 11'01" : première mise à feu de l'étage [Briz-M](#). L'allumage du moteur a lieu à l'opposé de l'azimut de la position que Mars occupera à l'arrivée prévue le 16 octobre
- 16' : extinction de l'étage Briz-M : la sonde spatiale est sur une orbite de parking standard avec une altitude 175 km avec une inclinaison équatoriale de 51,5°

- 1h34' : 1ère mise à feu de l'étage Briz-M d'une durée de 18 minutes : l'orbite est désormais de 175 x 5800 km L'allumage du moteur a lieu à l'opposé de l'azimut de la position que Mars occupera à l'arrivée prévue le 16 octobre
- 4h : lorsque la sonde spatiale repasse par le périégée de sa nouvelle orbite, une 3ème mise à feu de l'étage Briz-M d'une durée de 12 minutes est déclenchée pour relever l'apogée : l'orbite résultante est de 250 x 21400 km et la période est de 6 heures. Le réservoir auxiliaire est largué.
- 10h19' : 4ème mise à feu de l'étage Briz-M d'une durée de 10 minutes déclenchée au périégée de l'orbite permettant à la sonde spatiale de s'échapper de l'attraction terrestre et de se diriger vers Mars. L'étage Briz-M est largué 2 minutes après l'extinction du système de propulsion puis les panneaux solaires sont déployés.

La sonde spatiale doit atteindre Mars environ 7 mois plus tard en octobre 2016.

Une correction de trajectoire sera réalisée si nécessaire à mi-parcours

Trois à cinq jours avant ses manœuvres d'insertion en orbite autour de Mars, la sonde libère l'atterrisseur Schiaparelli qui effectuera une rentrée directe dans l'atmosphère martienne dans le prolongement de la trajectoire hyperbolique de la sonde (première quinzaine d'octobre)

Le jour suivant TGO effectuera une manœuvre d'évitement de Mars pour avoir un simple freinage atmosphérique qui transformera son orbite en une orbite très elliptique

Si vous avez tout compris nous allons essayer de réaliser au mieux cette mission sans avoir les ordinateurs de l'ESA pour nous aider. Nous utiliserons seulement IMFD

Contrôlez le timing de la mission en suivant MET sur le HUD pendant le lancement puis le temps MFD écoulé en haut à droite

J'ai inclus quelques scénarios pour les phases les plus intéressantes

4 – Lancement et mise en orbite 175x175 km

Ouvrir le scénario **1 – Lancement de TGO** et procéder immédiatement au lancement en appuyant sur la touche P qui déclenche le lancement automatique pour décrire une première orbite de parking altitude 175 Km inclinaison équatoriale 51,5°

Une fois l'orbite atteinte, le 3ème étage doit être largué en appuyant sur la touche J et ne conserver que le dernier étage Briz

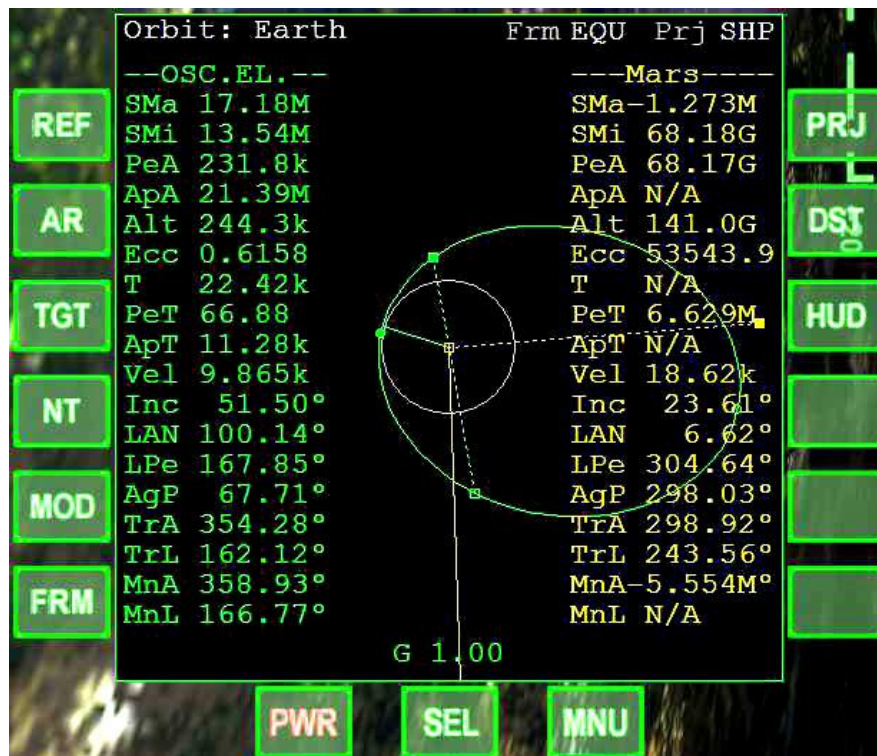
Si vous avez activé le module Mustistage2015MFD dans le launchpad vous pourrez l'ouvrir dans un MFD et suivre les paramètres du lancement (lire la notice de Multistage 2015)

5 – Mise en orbite elliptique 175x5800 km

Il va falloir faire la mise à feu à l'opposé de la position qu'occupera Mars à l'arrivée vers le 15 octobre. Comme la période de révolution de Mars est environ 59000000 s et notre temps de trajet d'environ 19000000 s (215 jours du 15 mars au 15 octobre) Mars se sera déplacé de $360^\circ \times (19/59) = 116^\circ$ Comme il nous est difficile de calculer le moment d'allumage, nous allons faire confiance à l'ESA et allumer en prograde à MET = 1h34'

6 – Mise en orbite elliptique 250x21400 Km

Toujours en suivant le timing de l'ESA nous allumons à MET = 4h qui est un point un peu avant le périégée pour ne pas déformer l'orbite



PeA n'est pas tout à fait à 250 Km mais nous corrigerons à l'apogée avec un petit allumage en prograde

6 – Mise de TGO en orbite de transfert

L'ESA effectue un dernier allumage à MET = 10h19 'qui porte l'apogée à la position qu'occupera Mars dans 7 mois.

Nous n'avons pas ses capacités de calcul prédictif et nous allons utiliser IMFD

Si vous voulez tout savoir sur IMFD et son utilisation, consultez mon tutoriel IMFD 5.3 – Théorie et exercices disponible sur <http://francophone.dansteph.com/>

A l'apogée de la nouvelle orbite, faire un petit allumage en prograde pour porter PeA à 250 Km. Nous serons ainsi conforme au projet de l'ESA

Ouvrir Interplanetary (IMFD) sur les deux MFD :

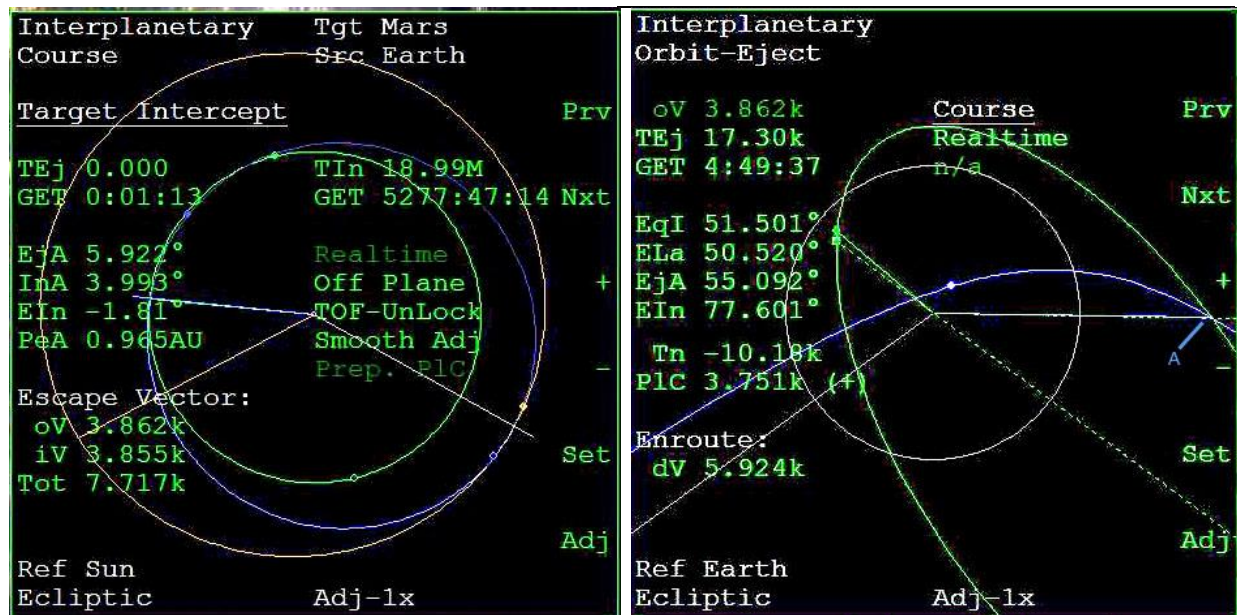
Sur le MFD à gauche

- Ouvrir Interplanetary (IMFD)
- Faire Course → Target Intercept → Set
- On vous demande quel est l'objectif. Faire TGT → Mars → Enter
- En utilisant Prv ou Nxt se déplacer pour aller sur Tin faire Set et entrer 19M (19000000) qui est en secondes le temps approché estimé du voyage de 7 mois

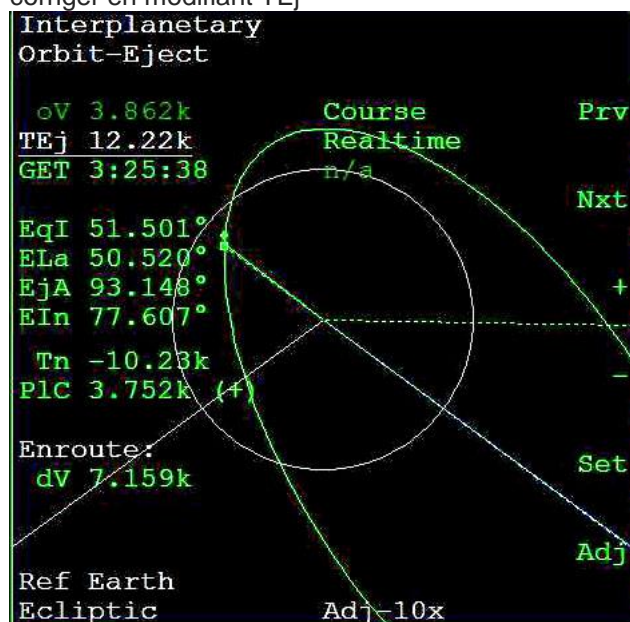
Sur le MFD à droite

- Ouvrir Interplanetary (IMFD)
- Faire MNU → OpMode → 0 → Enter ce qui va coupler le MFD de droite à celui de gauche pour la transmission des données
- Faire Orbit-Eject ce qui va nous permettre de chercher une solution de tir permettant de diminuer la consommation de carburant
- En utilisant + passer en mode Course

Nous avons les MFD ci-dessous



Ce n'est pas encore la bonne solution car l'orbite d'éjection en bleu coupe la Terre en gris et il faut corriger en modifiant TEj



En utilisant Prv ou Nxt sélectionner TEj et le faire varier pour amener le point A sur la figure précédente à coïncider avec le rayon en pointillé

On ne voit plus l'orbite en bleu mais il ne faut pas s'inquiéter elle ne coupe plus la Terre

Dans Course Intercept c'est la Terre qui est prise comme source Src car la trajectoire est calculée entre deux corps Earth et Mars tournant autour d'un même point qui est le soleil.

Comme la Terre n'a pas de moteur il faut utiliser Orbit-Eject pour utiliser le moteur de la fusée.

Sur Orbit-Eject faire PG → BV → AB pour préparer l'allumage

L'allumage va durer 936.4 s et se produira dans 12179 s Voir figure ci-dessous

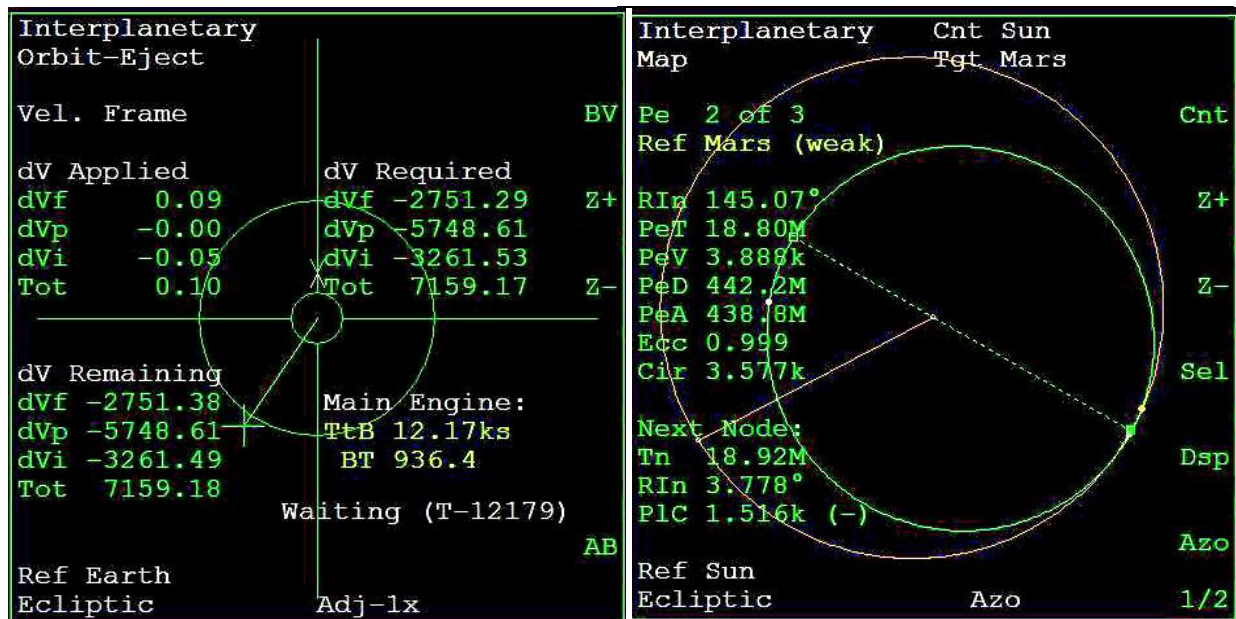
Un peut accélérer le temps jusqu'à T-200 il sera automatiquement ramené à x10 à T-180

Après la fin de l'allumage sur le MFD de droite faire Mnu → Map → TGT → Mars puis avec Sel choisir Pe 2 of 3 qui nous donne le périégée prévu à l'arrivée sur Mars

On voit sur la figure ci-dessous que PeA = 438,8M ce qui est très bien car c'est seulement un peu plus que la distance Terre-Lune

Nous sommes en route vers Mars et nous ferons une correction à mi-parcours vers le 15 juin

Remarque – Les valeurs que vous obtiendrez pour votre mission peuvent être un peu différentes mais ce n'est pas grave, l'essentiel est que vous en soyez proche



7 – Voyage vers Mars

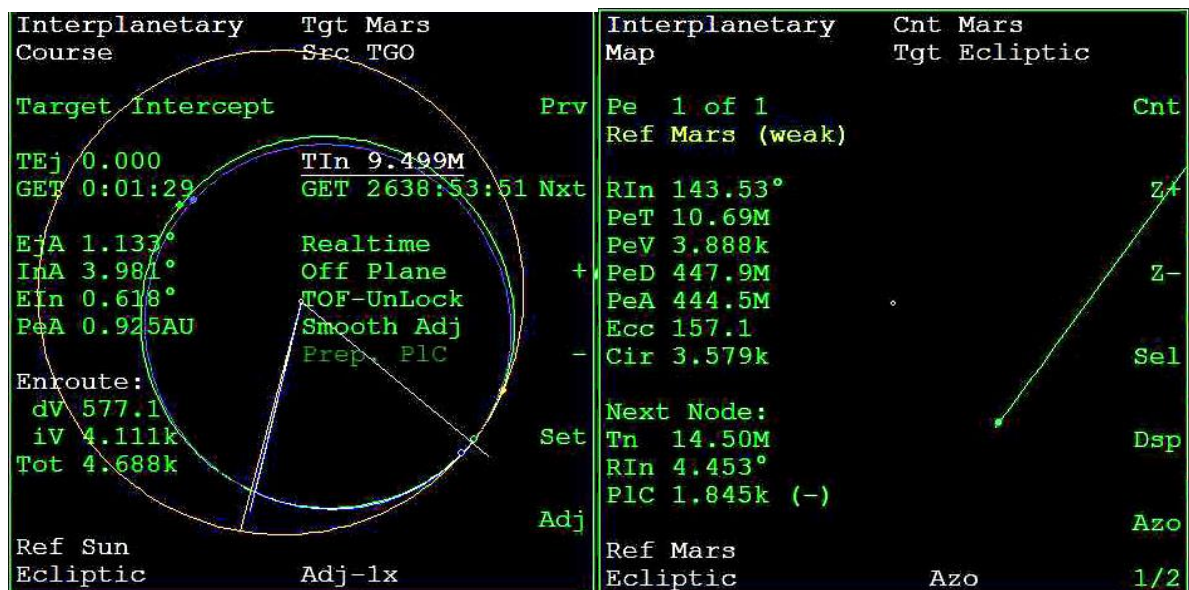
Deux minutes après la fin de l'allumage, séparer TGO du 4^{ème} étage Briz de Proton en appuyant sur la touche J puis déployer les panneaux solaires en appuyant sur la touche K et l'antenne en appuyant sur la touche G

Attention- Faites attention en appuyant sur K à ne pas appuyer sur J car vous sépareriez EDM de TGO ce qui ne doit être fait qu'à l'approche de Mars

Vous pouvez charger le **scénario 7- Correction à mi-parcours** pour gagner du temps

Il faut rouvrir les MFD Course Target Intercept et Map sur les deux MFD en les couplant comme nous l'avons fait précédemment.

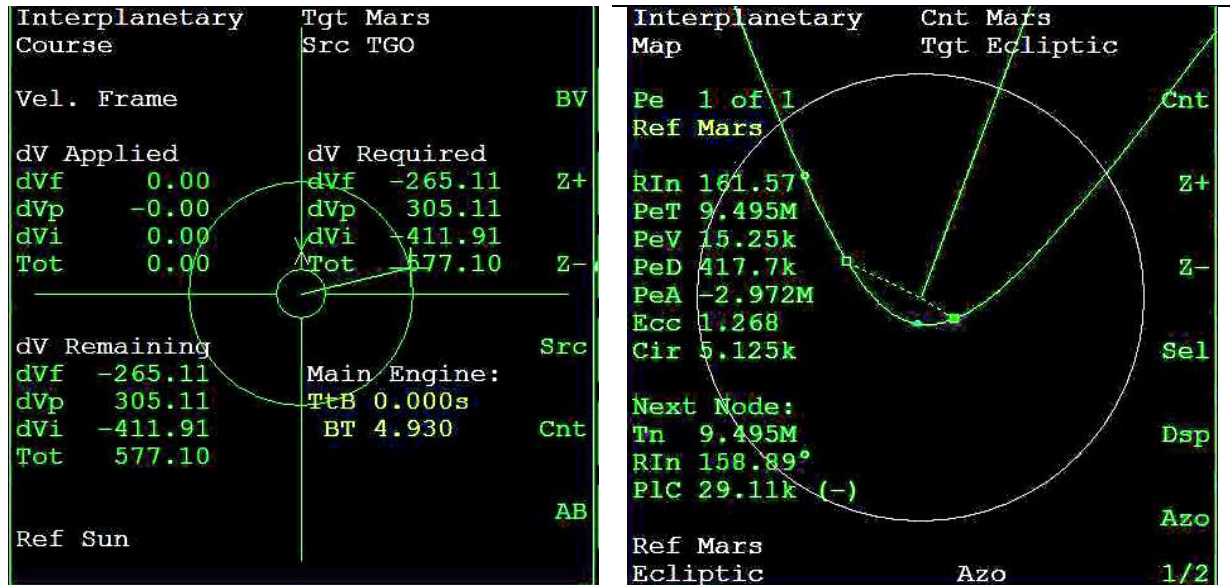
Comme nous sommes à mi-parcours il faut modifier Tin pour lui donner la valeur 9.5M (nous avions 19M au départ)



- Sur Course faire PG → Src → Set et entrer X pour choisir TGO puis valider
- Sur le MFD Course faire PG → BV pour voir la valeur du temps d'allumage prévu et nous voyons qu'il est inférieur à 5s. C'est une correction économique !

On peut voir sur Map que le PeA sur Mars est de -2.972M c'est-à-dire que sans correction en approche nous le percuterons !

- Faire AB pour déclencher l'allumage



8 – En approche de Mars

Quand nous entrons dans la SOI (sphère ou l'influence de la planète devient prépondérante) de Mars nous allons faire une correction avec TGO qui lâchera ensuite EDM en trajectoire balistique pour que la capsule se pose.

Si on ouvre le MFD orbite standard avec Mars en référence quand on entre dans la SOI on doit avoir $G < 0.5$ et on se trouve à environ 100M

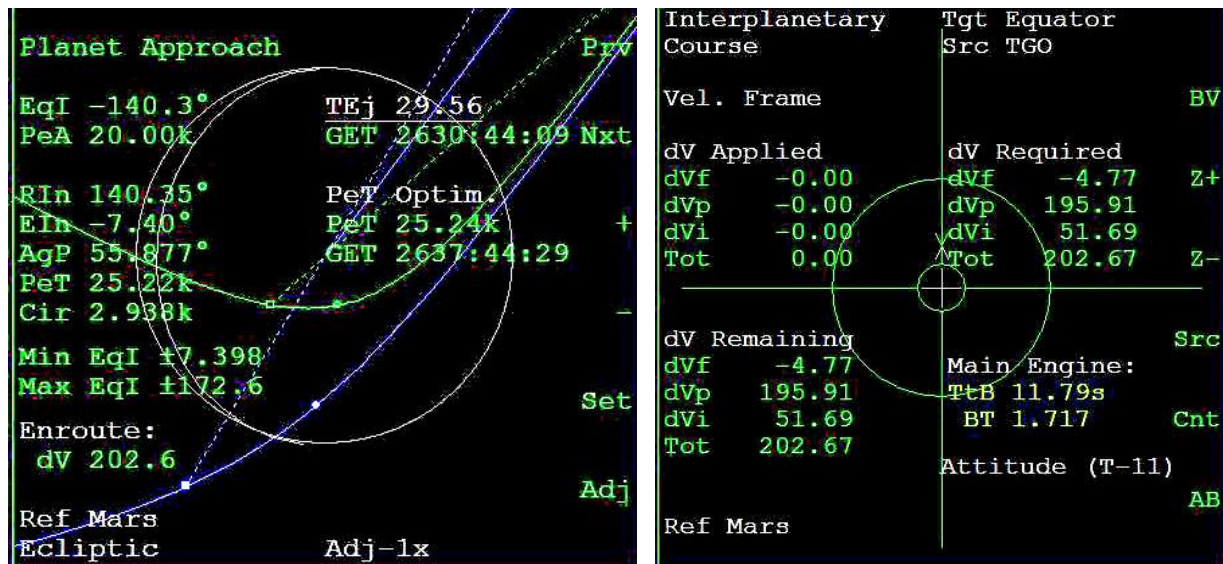
Vous pouvez ouvrir le **scénario 8 – Mars à 100M** pour gagner du temps

8.1 – Correction de trajectoire pour EDM

Un peu plus tard, TGO corrigera sa trajectoire pour seulement se freiner dans l'atmosphère et prendre une trajectoire elliptique

- Sur le MFD de gauche, avec Prv ou Nxt, aller sur Target Intercept si vous n'y êtes pas et faire + pour revenir au menu Course.
- Aller sur Planet Approach et faire Enter puis faire REF et **entrer Mars en référence (important sinon vous risquez d'avoir Sun)**
- Avec Prv ou Nxt aller sur PeA et faire set puis entrer 20K et faire Enter (ceci nous donnera une trajectoire de pénétration assez en pente pour ne pas risquer de rebondir sur l'atmosphère)
- Avec Prv ou Nxt aller sur Tej faire Set et entrer 50 pour retarder l'allumage de 50s et permettre à TGO de se stabiliser puis faire Enter (**important pour la précision**)
- Faire sans tarder PG → BV → AB pour lancer l'allumage qui prendra moins de 2 secondes

En ouvrant Orbit standard sur le MFD de droite on peut voir que PeA après allumage est un peu inférieur à 20K ce qui est normal vu la précision de la correction à cette distance de Mars



Cette correction ne permettra pas de poser EDM au point fixé pour la mission mais nous ne pourrions pas faire mieux !

Après la correction larguer EDM avec la touche J. Il va s'éloigner en trajectoire balistique

Vous restez focalisé sur TGO pour pouvoir corriger sa trajectoire un peu plus tard

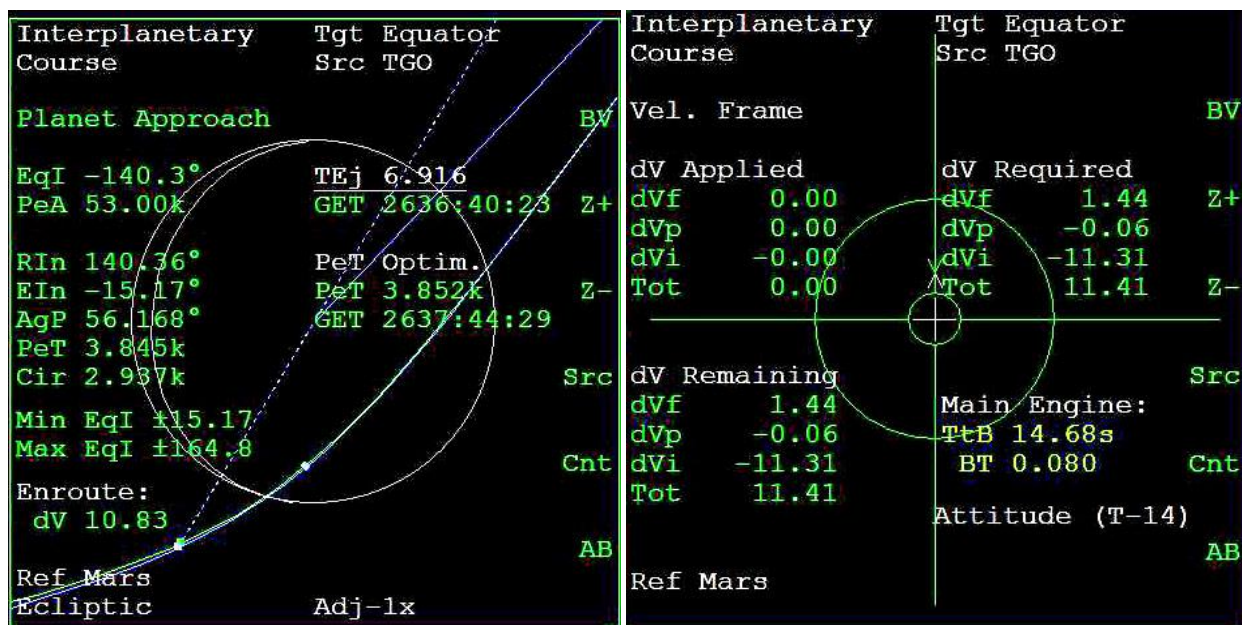
8.2 – Correction de trajectoire pour TGO

L'atmosphère de Mars commence à se faire sentir vers 65 km d'altitude et il ne faudra pas faire trop pénétrer TGO puisque nous voulons seulement le ralentir pour qu'il ait une trajectoire elliptique allongée (Ecc voisin de 1)

Avec le coefficient de traînée de TGO une valeur correcte pour PeA est de 53K.

Pour avoir une bonne précision, nous ferons la correction quand TGO se trouvera à 10M de Mars.

Nous opérerons comme précédemment mais en prenant PeA = 53 k



On voit que le temps de combustion est très faible et il est très important de prendre TEj = 30 avant de lancer l'allumage pour que TGO stabilise avant allumage

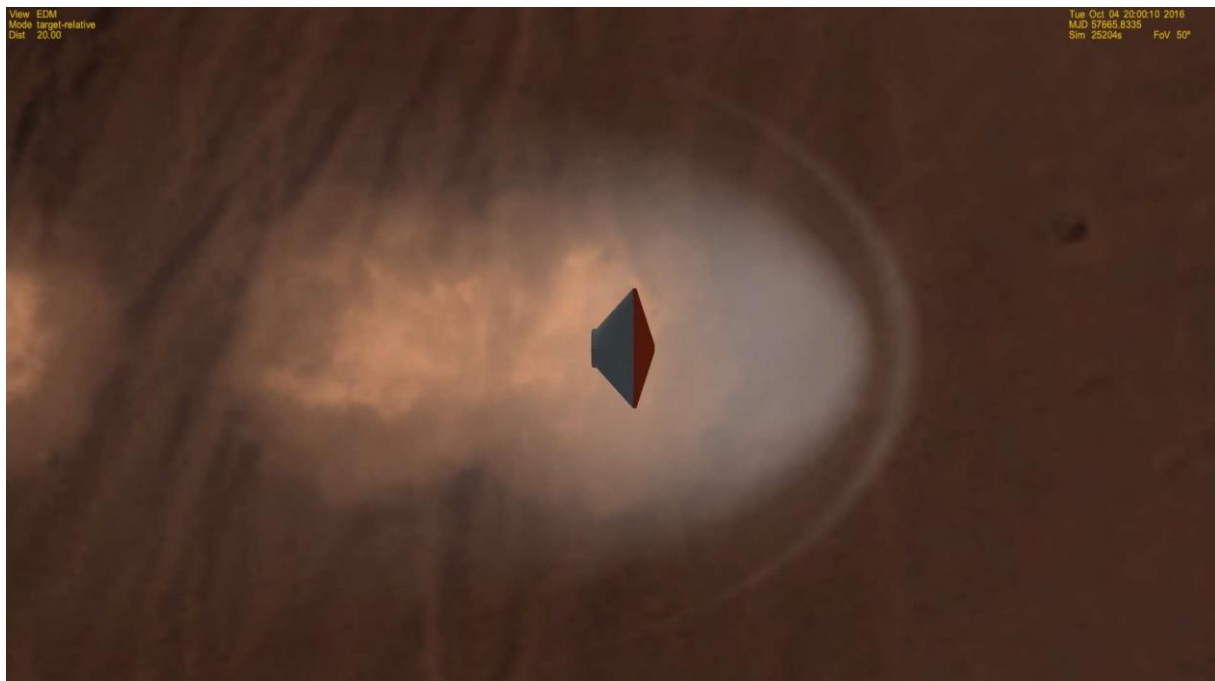
8.3 – Atterrissage du Lander

C'est la phase la plus délicate de la mission !

- En faisant F3 focalisons sur EDM en approche de Mars vers 10M
- Passer en prograde et stabiliser avec Killrot puis remettre en prograde
- Sans accélérer trop le temps (100x max) continuer l'approche jusqu'à une altitude de 100 km et mettre le temps en 1x (max 10x)
- Ouvrir les MFD Surface et Orbit



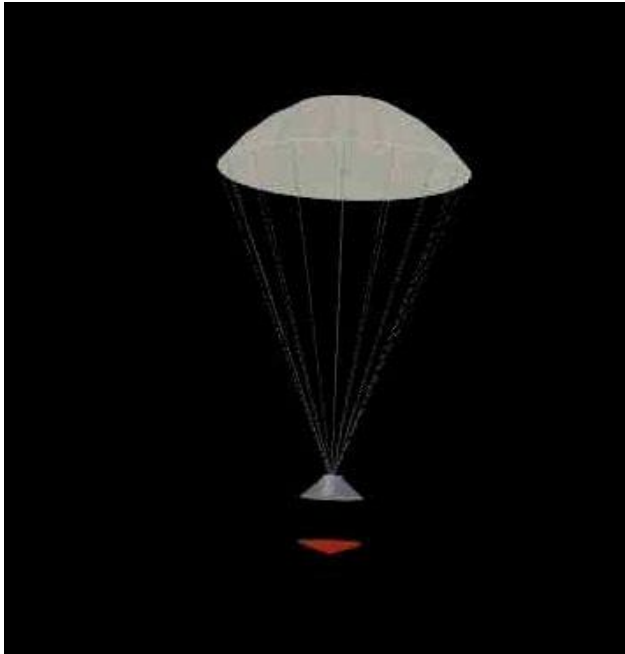
On pourra voir que l'influence de l'atmosphère commence à se faire sentir vers 65Km en observant la valeur de GS qui va décroître au fur et à mesure de la pénétration



Sur le HUD continuer à maintenir EDM en prograde et suivre la diminution de vitesse GS et l'altitude

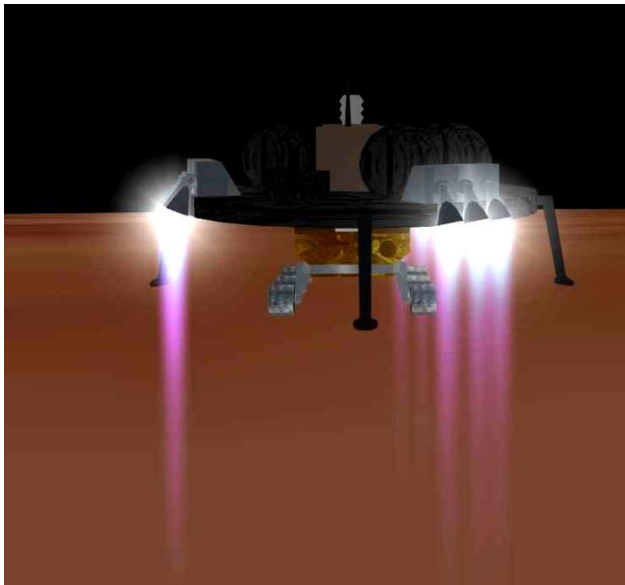
A l'altitude 10km, ouvrir le parachute en appuyant sur la touche G

Le ralentissement de vitesse est brutal car le parachute ajoute un grand coefficient de trainée



Supprimer le maintien en prograde et on voit que l'ensemble va aller vers un positionnement vertical. Comme un mouvement pendulaire sous le parachute va se produire, agir sur la touche killrot pour se maintenir vertical et le supprimer une fois stabilisé.

A l'altitude 7 km, larguer le bouclier thermique en appuyant sur J



Continuer la descente jusqu'à 1,2Km et larguer le Lander en appuyant sur la touche J

Déployer son train en appuyant sur la touche G

Ensuite en suivant Vs sur le MFD Surface il faudra essayer de maintenir $VS < 20$ m/s en allumant les moteurs doucement.

A l'atterrissage, couper les moteurs

Nota – Le train du Lander et le Rover sont imaginés car ils n'existent pas dans cette mission.

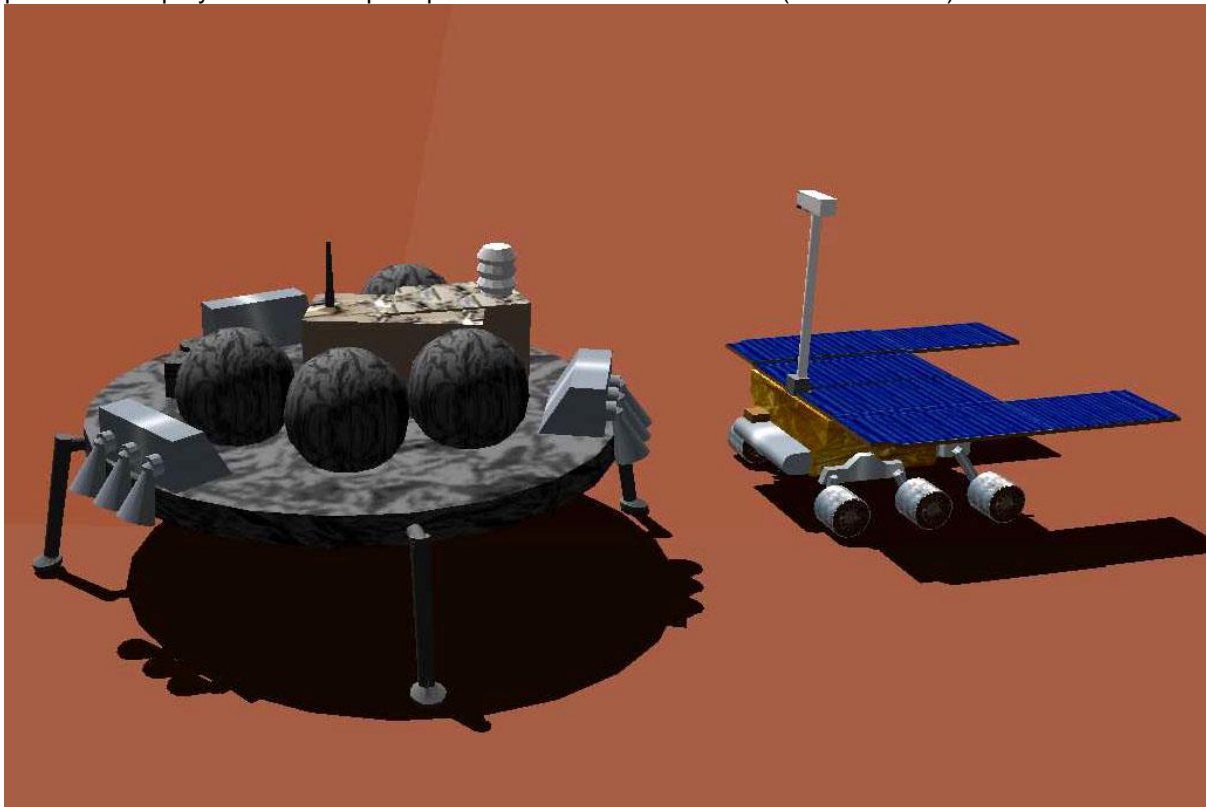
On peut piloter le Lander avec les touches du pavé numérique ou un Joystick mais c'est très difficile

Une fois le Lander posé libérer le Rover en appuyant sur la touche J

Il y a alors deux possibilités :

- Faire décoller le Lander et le poser plus loin pour dégager le Rover
- Faire tourner le Rover en utilisant les touches 4 et 6 du pavé numérique pour le diriger entre deux pieds du train et le faire avancer avec les touches Ins et Supp du pavé numérique (comme pour l'allumage d'un moteur Hoover)

Pour le Rover **La touche G** permet de déployer le périscope et les panneaux solaires et **la touche K** permet de déployer la foreuse pour prélever un échantillon du sol (fictif bien sûr)



Nous sommes posé le 4 octobre vers 21 h mais il fait nuit. Si vous voulez profiter des ombres il faudra accélérer le temps pour passer au jour.
Nous sommes un peu en avance sur la mission réelle mais ce n'est pas mal

8.4 – Mise en orbite de TGO

Après atterrissage du Lander, refocalisons par F3 sur TGO

On voit que si tout a bien marché, son orbite est maintenant assez elliptique mais nous n'avons pas consommé une goutte de carburant

Il est difficile de refaire un autre passage car le réglage d'altitude au PeA est très délicat.

On peut essayer en faisant à nouveau Planet Approach à l'apogée avec PeA = 60 k et si ça marche répéter la manœuvre plusieurs fois pour diminuer ApA

Il vaut mieux se placer en prograde à l'apogée et porter le périégée à 400k comme prévu pour la mission. Ensuite on se circularise.



Nous en resterons là et je vous souhaite bon amusement !

Papyref

—