

Utilisation de IMFD 5.5

Ⓜ Faire tourner la vue 3D : [MAJ] W

(Voir p9) fait référence aux pages de ce livret.
(Voir IMFD p6) désigne **IMFD 5.5 Théorie**.

CE COTÉ.

- 1 : Terre Ⓜ Mars.
- 2 : Terre Ⓜ Vénus.
- 3 : Terre Ⓜ Mercure.
- 4 : Terre Ⓜ Jupiter.
- 5 : Terre Ⓜ Saturne.
- 6 : Terre Ⓜ Saturne avec Sling-Shot.
- 7 : Terre Ⓜ Uranus.
- 8 : Terre Ⓜ Neptune.
- 9 : Terre Ⓜ Pluton. sans Sling-Shot.
- Terre Ⓜ Pluton. avec Sling-Shot.
- A : Vénus Ⓜ Mercure.

AUTRE COTÉ.

- 1 : Mars Ⓜ Terre.
 - 2 : Vénus Ⓜ Terre.
 - 3 : Mercure Ⓜ Terre.
 - 4 : Saturne Ⓜ Terre.
 - 5 : Uranus Ⓜ Terre.
 - 6 : Neptune Ⓜ Terre.
 - 7 : Giotto Ⓜ HALLEY.
 - 8 : Uranus Ⓜ Ariel Ⓜ Uranus.
 - 9 : Le PETIT TOUR.
 - A : Le GRAND TOUR avec Sling-Shot.
- En bleu : Partir.
En bleu : Revenir.
En rouge : Vol spéciaux.



Fichier UTILISER.PM5

2

Quelques fenêtres de tir favorables.

Mission Spirit : 09 Juin 2003 : MJD 52799.9
Mission Scout : 04 Aout 2007 : MJD 54316.39
Phénix (Roman) : 03 Février 2046 : MJD 68379.39

Recherche d'une solution de tir.

- Passer en temporel : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >
 - Target Intercept > Set > TGT > mars ↵ >
- (On vérifie Ref Sun et Src Earth)

Si MJD (Date d'arrivée) est affiché à la place de GET temps écoulé depuis le départ :
MNU > MOD > Next > + > MNU > Course

- Choisir Off Plane de ——— Two Plane
Ⓜ montre que les plans sont Source Plane
alignés. Off Plane convient. Target Plane
Manual Tgt
Off Plane

Préparation de IMFD 1 :

Voyage entre deux planètes orbitant autour d'une même référence Sun il faut faire l'allumage avec Orbit-Eject couplé à Target Intercept.

- Ouvrir Interplanetary > MNU > PG > 0 ↵ pour coupler avec IMFD 0 > Orbit-Eject >
- Choisir Course de ——— Lower Orbit
Pour définir la source Higher Orbit
des données de tir. Course
Sling-Shot
BaseApproach
- PRJ pour projection Self.

Avant de passer en mode Off-Axis, on voit que l'on ne coupe pas l'atmosphère puisqu'on part dans le sens de la flèche rouge. Le point

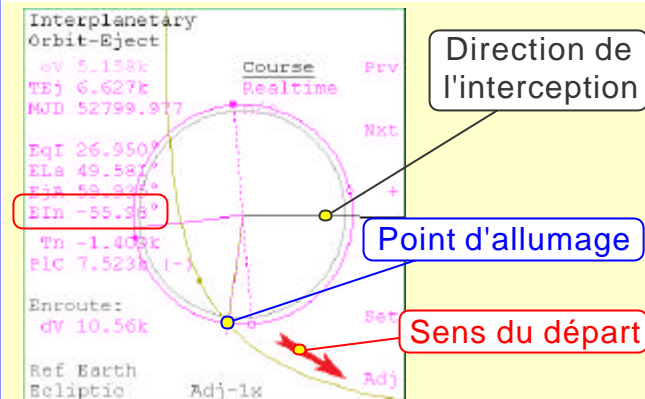
TERRE > MARS - 1

1: T → M



Ven, 18 Fév, 2011

3



d'allumage est placé automatiquement par le calcul rayon pointillé. Avec Ⓜ sur le MFD de gauche on voit que les plans planétaires sont relativement alignés, mais le vecteur de lancement est très incliné. (55.98°) Le temps du voyage TIn ≈ 21.27M soit environ 246 jours. Avec BV sur Orbit-Eject on note BT ≈ 710s. Cette solution fonctionne mais n'optimise ni le temps de trajet TIn ni le temps de combustion BT.

Optimisation de la solution.

IMFD de gauche :

- Ⓜ : Observer les plans planétaire par la tranche.
- Diminuer TIn, en Adj-100x, 10x et 1x avec le bouton -. EIn et Tot diminuent. Le plan d'éjection se rapproche des plans planétaires. TIn diminue à 17.49M et Tot ≈ 5.680k.

IMFD de droite :

- Next > Off-Axis car poussée de longue durée.
- Faire varier TEj sur Orbit-Eject pour minimiser EjA donc la valeur de dv. (≈ 3.611k) Le temps du voyage est maintenant de 17.49M

TERRE > MARS - 2



4

soit ≈ 202 jours. **BT** n'est plus que de 264.4s. Si on lance sans faire de correction en route le rapprochement se fait à \approx **PeR 511.9M** de Mars ce qui est très correct. (À peine 1,4 fois la distance Terre Lune par exemple)

- **PG > BV > AB** pour activer l'auto burn > **BV** pour visualiser le graphe. Accélération temporelle : Le rayon vert converge vers le rayon pointillé. L'accélération temporelle se réduit automatiquement.

Attendre de quitter la Soi terrestre, **Orbit-Eject** affiche **Have a nice voyage** et devient inutile. **C'est la fin de l'éjection, on passe en croisière.** (Nous sommes sur une orbite héliocentrique)

IMFD de droite :

- **MNU > Map > TGT > mars** > Vérifier **Ref Sun > Dsp > Cnt > x** > **Z+** jusqu'à voir en grand l'orbite de la Lune > **PG > Soi.**

IMFD de gauche :

- **PG > Src > x**.

IMFD de droite :

- **REF > mars** pour tracer la trajectoire par rapport à Mars > **PG > Z-** pour visualiser l'ensemble de la course >

- **Sel** pour **Pe 1 of 1** si plusieurs rapprochements. Note : On observe l'affichage **Ref Mars (weak)** qui traduit une attraction faible par la référence imposée. Ce n'est donc pas elle qui gouverne actuellement notre trajectoire mais l'astre central. On peut également vérifier que suite à notre éjection, **PeA** serait d'environ 512.5M raison pour laquelle une correction à mi-course s'impose.

TERRE > MARS - 3



5

Correction à mi-course. (MCC)

Le temps du voyage avoisine 17.49M on va donc situer la mi-course à environ 9M. Attendre que **PeT** $\approx 9M$ sur IMFD à droite sur **Map.**

IMFD de gauche :

- **Passer l'écoulement temporel à 1x.**

- **BV** (BT faible, $\approx 9s$) > **AB** pour activer l'auto burn > **BV** pour visualiser à nouveau le graphe.

Après cette courte correction de trajectoire, on voit à droite que **PeA** fait $\approx -3.284M$. IMFD a manœuvré pour une interception du centre de l'astre. **Si arrivé à la Soi de Mars on n'effectue pas de correction, ce sera la collision.**

Correction en approche.

Quand on arrive dans la Soi de Mars, **Course** affiche **Invalid Source or Reference** ... c'est le moment d'effectuer la correction en approche. *Pour économiser du carburant en particulier pour les planètes massives, il est possible de faire deux corrections. La première à 2 ou 3 fois la SOI la deuxième à environ 1/3 de la Soi.*

Deux cas sont à envisager :

- * On désire respecter une altitude d'interception **PeA** et une inclinaison **Eql** : **Planet Approach.**

- * On veut arriver dans un plan orbital pour survoler ou se poser sur une base au sol : **Base Approach.**

*** Respect de l'inclinaison d'un plan orbital.**

Choix de l'inclinaison orbitale : Réalisons par exemple une orbite géosynchrone polaire avec arrivée par le Nord. L'altitude pour géosynchrone marsien **PeA** ≈ 17000 km. Arrivée par le pôle Nord : **Eqi** = $+90^\circ$. (Voir IMFD onglet **Mode**)

TERRE > MARS - 4



6

IMFD de gauche :

- Restant dans le module **Course > Menu > Avec Nxt indexer Planet Approach > Set >**

- **REF > mars** > **PRJ** pour **HTO >**

- **Nxt** pour indexer **Eql > Set > +90**

- **Nxt** pour indexer **PeA > Set > 17000k** (Ne pas oublier le k ou 17k m de périégée)

- **Nxt** pour indexer **TEJ > Set > ≈ 60**

- **PG > BV > AB > BV** pour visualiser le graphe.

Ne pas se préoccuper au début de la trace bleue. Programmer la manœuvre de freinage de capture juste après la correction en approche.

*** Correction pour synchroniser une base.**

On désire se poser sur Olympus par exemple.

- **MNU > Base Approach >**

- **REF > mars** > **TGT > olympus**

NOTE : Il serait possible de saisir librement avec **Set** les coordonnées dans **Lon** et **Lat.**

Choisir **Orbit-Insert** de **Re-Entry** **Re-Entry (old)** **Orbit_Insert**
Très important.

- Si désiré : **Alt > Set > 400k**

(Ne pas oublier le k ou ... 400m de périégée !)

- **Num > +** pour le nombre d'orbites avant de survoler la base. *Num = 0 dès le premier tour.*

- Choisir **Prograde** ou **Retrograde >**

- **PRJ** pour **HTO >**

- **PG > BV > AB > BV** pour visualiser le graphe.

Ne pas se préoccuper au début de la trace bleue. Programmer la manœuvre de freinage de capture juste après cette correction en approche.

TERRE > MARS - 5



7

Freinage de capture.

Le module **Orbit-Insert** opérationnel à partir de l'entrée dans la **Soi** réalise le freinage en orbite **circulaire par défaut** avec comme altitude celle du périégée prévu. Programmer la manœuvre juste après la correction en approche *.

Si * en module **Planet Approach** :

- Prv jusqu'à indexer **Planet Approach** >
- + pour revenir au menu **Course** > **Nxt** pour indexer **Orbit Insert** > **Set** >
- **Vérifier Ref Mars** ou utiliser **REF**.
- **PG** > **BV** > **AB** > **BV** pour visualiser le graphe.

Si * en module **Base Approach** :

- **MNU** > **Course** > **Orbit Insert** > **Set** >
- **REF** > **mars** > **PRJ** pour **Self** >
- **PG** > **BV** > **AB** > **BV** pour visualiser le graphe.

MFD de droite :

- **SEL** > **Orbit** > **FRM** pour **EQU** > **PRJ** pour **SHP** > **DST** pour donner les altitudes.

Attendre la mise à feu de freinage. Passer en accélération temporelle, le programme en diminue automatiquement la valeur au bon moment. En fin de manœuvre, dans le cas de la synchronisation avec Olympus, le MFD **Orbit** affiche les valeurs montrées ci-contre ce qui atteste de la précision de cet automatisme.

Orbit: Mars
PeA 397.0k
ApA 397.6k
Ecc 0.0001
Inc 166.99°

- **SEL** > **Map** > **TGT** > pour désigner Olympus comme cible visualisée sur la carte.

TERRE > MARS - 6



8

Variantes pour Orbit-Insert.

Affiner une orbite géosynchrone martienne en **imposant la période orbitale**. Comme nous avons donné comme paramètre **PeA** $\approx 17000k$ à **Planet Approach** elle sera presque circulaire.

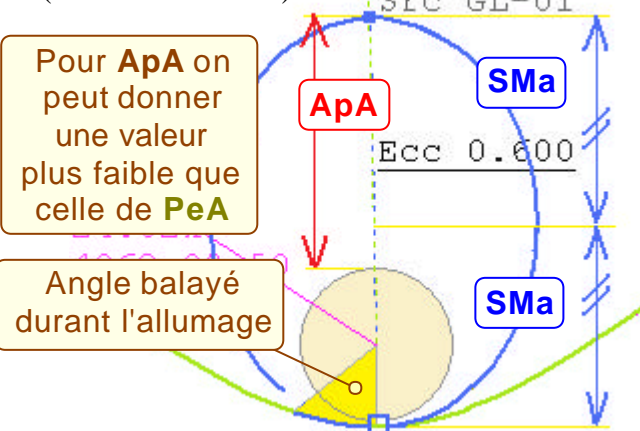
- **Prv** jusqu'à indexer **Planet Approach** >
- + pour revenir au menu **Course** > **Nxt** pour indexer **Orbit Insert** > **Set** >
- **Vérifier Ref Mars** ou utiliser **REF**.

Choisir **Orbit Period** de _____ **Eccentricity**
La journée sidérale martienne **Apoapsis**
fait 24h 37min 23s soit 88643s. **Major Axis**
Orbit Period

- Indexer **Ope** > **Set** > 88643 >
- **PG** > **BV** > **AB** > **BV** pour visualiser le graphe.

Autres paramètres possibles :

- **Eccentricity** : Allongement de l'ellipse.
- **Apoapsis** : Valeur de l'apogée **ApA**.
- **Major Axis** : Demi grand axe de l'ellipse. (**SMa**)
- **Orbit Period** : Période orbitale.
(T sur **Orbit MFD**)



TERRE > MARS - 7



9

Quelques fenêtres de tir favorables.

Le lancement vers une planète inférieure fait passer plus près du soleil, il faut choisir une bonne fenêtre de tir sinon il va faire chaud !

Mission AAP : 31/10/1973 : MJD 41986.5

Vénus Express : 09/11/2005 >>> Voir p14.

Akatsuki (Japon) : 21/5/2010 : MJD 55337.5

Recherche d'une solution de tir.

Il est plus délicat de naviguer à proximité du soleil et d'atteindre ce type de planète dont la vitesse sur orbite est élevée et entraîne des temps d'allumage BT importants.

- Écoulement temporel conseillé : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
 - **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **venus** >
- (On vérifie **Ref Sun** et **Src Earth**)

- Choisir **Two Plane** de _____ **Two Plane**
 montre que les plans ne sont pas alignés : **Off Plane**. **Source Plane**
Target Plane
Manual Tgt
Off Plane

@ montre que la trajectoire calculée (bleu clair) débute sur l'orbite verte de la Terre et se poursuit sur l'orbite jaune de Vénus. On note que **Tot** $\approx 6.985k$.

Préparation de IMFD 1 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** >
- **PG** (OpMode) > 0 > pour coupler avec IMFD 0.
- **Orbit-Eject** >
- Choisir **Course** de _____ **Lower Orbit**
Pour définir la source des données de tir. **Higher Orbit**
Course
Sling-Shot
BaseApproach

TERRE > VÉNUS - 1

2: T → V



10

- **PRJ** pour **Self** > **Next** > **Off-Axis** >
 - **TEj** > Adj-10x et minimiser **dV**.
- On obtient : **dv** \approx 3.670k, **BT** \approx 268.4,
TIn \approx 12.64M, **PeA** \approx 0.701AU.
- À gauche on voit que pour atteindre le moment pour réaliser la MCC on a **Tn** \approx 4.957M.
- **PG** > **BV** > **AB** > **BV**.
 - Accélération temporelle à 10000 x. Une fois le lancement effectué il reste 83.4 % de Fuel.

Attendre de sortir de la Soi terrestre. C'est la fin de l'éjection. **On passe en croisière.** Orbit-Eject devenu inutile affiche **Have a nice voyage**.

Correction à mi-course. (MCC)

- Rester en 10000 x durant cette phase.
- IMFD de droite :**
- **MNU** > **Map** > **TGT** > **venus** > **Dsp** > **Cnt** > **x** > **Sel** pour **Ref Venus (weak)** Qui signale que la trajectoire passe loin de la cible >
 - **PG** > **Soi** > **PRJ** pour **Self** > **PG** > **Z+** pour voir l'orbite lunaire >

IMFD de gauche :

- **PG** > **Src** > **x** > **PG** > **Nxt** pour indexer **Prep.PIC** > Valider le mode avec **+** > **PG** > **BV**. (On peut noter que **TtB** équivalent à **Tn**)
 - **AB** > **BV**. (**BT** \approx 119.8 est optimal)
 - "T" pour passer en 100000 x. Le rayon vert s'approche du rayon bleu. La manœuvre et le ralentissement temporel sont automatiques arrivé au nœud des deux plans orbitaux.
- Il reste 76.0 % de Fuel. Sur **Map (weak)** s'efface et **PeA** \approx -5.110M : **Trajectoire de collision !**

TERRE > VÉNUS - 2



11

Deuxième correction en croisière.

Elle est réalisée quand **PeT** sur **Map** est de l'ordre de 500k et que **G** > 0 sur le MFD **Orbit**.

IMFD de droite :

- **SEL** > **Orbit** > **REF** > >
- Attendre que **PeT** \approx 500k et **G** \approx 0.01.
- Revenir sur **Course** > **DéIndexer** **Prep. PIC** >
- Vérifier **Realtime** et **Off Plane**.
- **PG** > **BV** (**BT** \approx 8s) > **AB** > **BV**.

IMFD de droite : • Revenir à **Map** >

Première correction en approche.

Choix de l'inclinaison orbitale :

Vénus (Cas particulier dans le système solaire) présente la spécificité de tourner en sens rétrograde. On désire s'insérer en orbite globalement équatoriale, mais tourner dans le sens le plus favorable pour repartir.

Conclusion : On va effectuer une insertion **RETROGRADE** la plus équatoriale possible.

IMFD de gauche :

- **Indexer** **Target Intercept** > **+** pour avoir le menu > Indexer **Planet Approach** > **Set** >

- **REF** > **venus** >

On observe l'écran commenté page **VÉNUS - 4** avant de changer de plan de projection.

En 1 la trajectoire Képlerienne actuelle. On vérifie qu'il y a collision et passage "au centre".

En 2 les paramètres initiés par **Course**.

En 3 la trajectoire prédite à partir de 2.

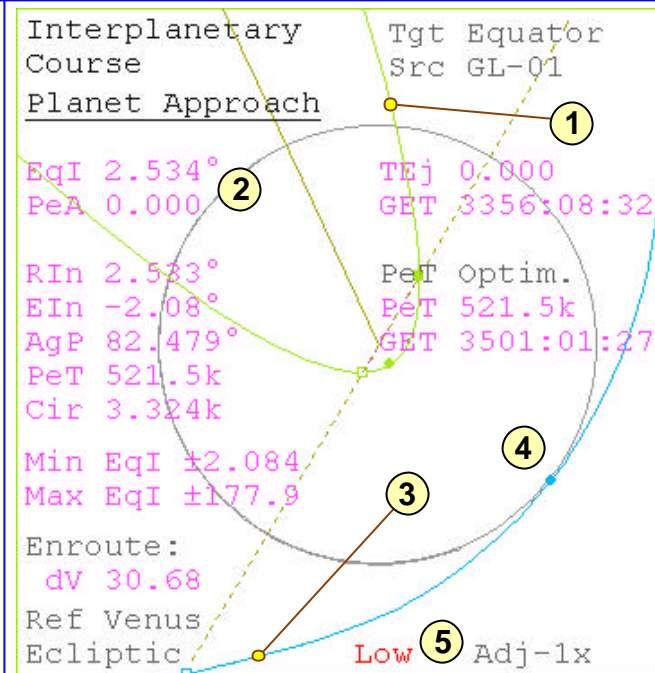
En 4 on vérifie que par défaut **PeA** est nul.

En 5 on observe **Low** qui atteste qu'a notre distance la planète n'a pas d'influence. (**G** < 0.2 sur **Orbit**)

TERRE > VÉNUS - 3



12



- **PRJ** pour **HTO** >
 - Indexer **EqI** > **Set** > 180 >
- Course** retient \approx -177.8° car notre plan d'approche est incliné d'environ 2,1°. On arrivera par le Sud car la valeur est négative.

- Indexer **PeA** > **IM** > par exemple >
 - **PG** > **BV** (**BT** \approx 4.143s) > **AB** > **BV**.
- La courbe verte se superpose à la trajectoire de prédiction tracée en bleu.

Deuxième correction en approche.

Le Soleil perturbe fortement notre trajectoire verte qui s'éloigne de la trace calculée bleue. On va passer plus loin de Vénus car il nous accélère.

IMFD de droite :

- **Z-** pour voir la SoI de Vénus > **Cnt** > **x** >

TERRE > VÉNUS - 4



13

• Attendre **PeT** $\approx 39k$: On pénètre dans la Soi.
(Durant cette attente **Low** s'efface, **Vénus** nous attire)

IMFD de gauche :

• **PG** > **BV** (BT $\approx 10.9s$) > **AB** > **BV**.

La trace verte revient sur l'orbite calculée bleue.
Il nous reste environ 74.7 % de Fuel.

Freinage de capture.

IMFD de gauche :

• **PG** > **Prv** pour indexer **Planet Approach** >
• + pour obtenir le menu > **Nxt** pour indexer
Orbit Insert > **Set** pour valider le mode >

• Vérifier **REF** > **venus** >

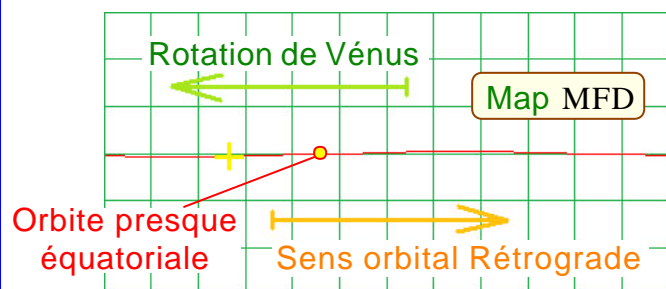
RAPPEL : On recommande de valider cette étape quand on se trouve dans la Soi de la cible.

• **PG** > **BV** (BT $\approx 200.4s$) > **AB** > **BV** >

• Passer en 10000 x est suffisant.

IMFD de droite : • **Z+** à la demande.

Mise en orbite effectuée, on se trouve sur une orbite pratiquement équatoriale de 997k x 999k avec Inc $\approx 2,2^\circ$. On circule dans le sens **rétrograde par rapport à Vénus** et il nous reste ≈ 62.3 % de Fuel, assez pour revenir sur Terre et rentrer à la base. Sur Galactic 3D Map la rotation n'est pas perceptible car le jour sidéral de Vénus fait 5832h soit 243 J terrestres.



TERRE > VÉNUS - 5



14

Lancement de Vénus Express. (De l'ESA)

Vénus Express : Lancement le 09/11/2005 à 3 h 33 min TU : MJD 53683.147917

Scène **Terre - Vénus** pour **Vénus Express.scn**

Le profil de mission est analogue.

Solution de tir en Two Plane :

ATTENTION : Un test avec Source Plane donne le plus faible Tot d'environ 7.414k, mais le lancement aussi coûteux et les corrections plus pénalisantes. On conserve le mode **Two Plane** : **Tot** $\approx 8.009k$. L'ajustement de **TEj** donne :

dv $\approx 3.719k$, **BT** ≈ 271.9 , **TIn** $\approx 12.54M$, **PeA** $\approx 0.690AU$. Après **AB** il reste 83.1 % de Fuel avec **Tn** $\approx 2.706M$ et **PeA** $\approx 2.462G$.

Correction à mi-course au nœud.

BT entre 125s et 132.8s, **PeA** $\approx 69.65M$.

Après correction il reste 75.9 % de Fuel.

Deuxième correction à PeT » 500k.

PeT sur Orbit passe par un minimum puis augmente avant de diminuer une deuxième fois car on croise la trajectoire, le périastre change.

BT $\approx 13s$, **PeA** entre 2.8M et 0.693AU.

Après correction il reste 75.1 % de Fuel.

Première correction en approche.

Eql $\approx -178.0^\circ$ avec **BT** $\approx 0.4s$.

PeA devient négatif.

Deuxième correction en approche.

(Avant correction l'orbite percute Vénus)

BT $\approx 38.83s$. (Mais effectuée à **PeT** 27.6k)

Il reste 72.7 % de Fuel.

Freinage de capture.

BT $\approx 215.5s$. Il reste 59.3 % de Fuel.

TERRE > VÉNUS - 6



15

Quelques fenêtres de tir favorables.

Mariner 10 : 03/11/1973 : MJD 41989.438

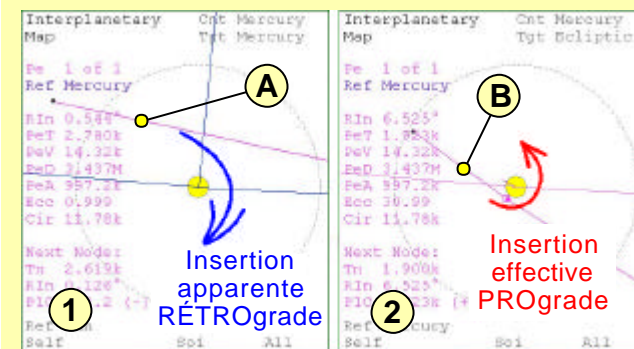
Messenger : 03/08/2004 : MJD 53220.261065

BepiColombo : 01/01/2012 : MJD 55927.438148

Difficulté des vols vers Mercure.

Mercury est la plus petite planète du système solaire. Sa Soi est inférieure à celle de la Lune bien que presque cinq fois plus massive. (Présence du Soleil) La mise en orbite s'avère délicate car elle se déplace rapidement sur son orbite. (Moyenne de 47Km/s). L'influence du Soleil décale en permanence notre trajectoire par rapport à celle calculée lors des corrections. **Orbit-Insert** n'est opérationnel que dans la Soi de l'astre visé, de plus nous arrivons avec une grande vitesse, pour freiner il faut environ 500s.

NOTE : Quelle que soit le type d'insertion demandée à **Planet Approach** on arrive en orbite réciproque avant la pénétration en Soi. Exemple ou **Eql** demandé = 0. En **1**, étant hors Soi "on arrive du mauvais coté", comme pour une insertion en **RÉTROgrade**. Mais dès que l'on pénètre dans la Soi en **2** la trajectoire bascule de **A** en **B** et l'on réalise l'insertion prévue.



TERRE > MERCURE - 1

3: T → M



16

Le DG pour la scène Terre - Mercure pour Mariner.scn est calé sur une orbite équatoriale assez favorable à un lancement vers Mercure.

Recherche d'une solution de tir.

- Écoulement temporel conseillé : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >
 - Target Intercept > Set > TGT > mercury ↗.
- (On vérifie Ref Sun et Src Earth)

Mariner a été lancé le 3 août 2004. Il est arrivé le 29 mars 1974 soit 146 jours de voyage.

On va imposer cette durée de croisière :

- Tn > Set > 12.61M ↗. (12.61M = 146J)

On choisit l'option la plus économique :

- Choisir Target Plane de ———— Two Plane
 Source Plane
 Target Plane
 Manual Tgt
 Off Plane
- Ⓜ montre que les plans ne sont pas alignés.

On note que Tot ≈ 22.90k,

Tn ≈ 8.53M et PeA ≈ 64.86G.

Préparation de IMFD 1 :

- MNU > PG > 0 ↗ pour coupler avec IMFD 0.
- Orbit-Eject > ———— Lower Orbit
Higher Orbit
Course
Sling-Shot
BaseApproach
- Choisir Course de ————
- Pour définir la source des données de tir.
- PRJ pour Self > Next > Off-Axis > 3x Prv >
- TEj > Adj-10x > bouton - pour diminuer au maximum dV à ≈ 6.813k. (TEj ≈ 5.176k)
- PG > BV (BT ≈ 479.6s) > AB > BV >
- Passer en 10000 x. (Il reste 70.3 % de Fuel)
- Attendre l'affichage de Have a nice voyage.

TERRE > MERCURE - 2



17

Correction à mi-course. (MCC)

Elle va s'opérer automatiquement quand on va parvenir au nœud des deux orbites.

IMFD de droite :

- Rester en 100000 x durant cette phase.
- MNU > Map > TGT > mercury ↗ > Dsp > Cnt > x ↗ > Sel pour Ref Mercury (weak) > PG > Soi > PRJ pour Self > PG > Z+ >
- Ajuster l'étendue de la route tracée : MOD 3 fois > Time limit > Set > 8M ↗ > MOD >

IMFD de gauche :

- PG > Src > x ↗ > (Noter Tn d'environ 7.9M)
- PG > Nxt pour indexer Prep.PIC > Valider le mode avec + > PG > BV > (Noter TtB ≈ 7.6M)
- AB (BT ≈ 30.35s) > "T" pour passer en 100000 x. Il reste 68.3 % de Fuel > BV >

Corrections en approche.

Sachant les difficultés à intercepter Mercure, nous allons effectuer plusieurs corrections.

Première correction en approche.

IMFD de gauche :

- PG > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >
 - REF > mercury ↗ > PRJ pour HTO >
- On désire se placer en orbite équatoriale PROGRADE pour tourner dans le sens de la station de ravitaillement. Une telle orbite favorisera le départ pour un retour vers la terre. On va imposer la valeur 0° qui insèrera à la fois en équatorial et en PROgrade.
- Indexer EqI > Set > 0 ↗ >
 - Course retient ≈ 0.200°.

TERRE > MERCURE - 3



18

- Nxt : Indexer PeA > Set > 1M ↗ > PG > BV >
 - Attendre BT ≈ 4s à PeT ≈ 1.232M > AB > BV.
- La courbe verte se superpose à la trajectoire de prédiction tracée en bleu située du bon coté pour une arrivée en "Prograde" par l'EST. Mais rapidement elle commence à s'écarter. Chaque expérience donne des valeurs très variables à chaque phase. Ci dessous les valeurs les moins bonnes car (1) non utilisé. Il reste 67.7 % de Fuel.

- Attendre PeT ≈ 100k (BT ≈ 128.6s) > AB >
- Il reste 59.7 % de Fuel. PeA annoncé négatif.

- Attendre PeT ≈ 50k (BT ≈ 2.1s) > AB >

Il reste 59.6 % de Fuel. PeA annoncé ≈ 759k.

- Attendre PeT ≈ 10k (BT ≈ 1.4s) > AB >

Il reste 59.5 % de Fuel. PeA annoncé ≈ 996k.

- Attendre PeT ≈ 5k (BT ≈ 0.02s) > AB >

Freinage de capture.

IMFD de gauche :

- PG > Prv pour indexer Planet Approach >
- + pour obtenir le menu > Nxt pour indexer Orbit Insert > Set pour valider le mode >
- ☞ Vérifier REF > mercury ↗ >
- Attendre PeT ≈ 1k. ATTENTION : 100 x Max.
- PG > AB > BV >

☞ Si déclanché trop tard : "n'accroche pas". La trajectoire bleue ne se trace pas, BT est dérisoire ou TtB trop grand passer immédiatement au freinage manuel. (Voir p19)

(1) NOTE. On peut tenter des calculs plus fins avec sur Map : MOD 3 fois > Accuracy > Set > 1 ↗ (Pour MAX avec 240 legs calculés) > MOD >

TERRE > MERCURE - 4



19

Freinage en procédure manuelle.

IMFD de gauche :

- **MNU** > **Orbital** > **Cir** >
- Vérifier **Ref Mercury** > (Ou **REF** > *mercury*)

IMFD de droite :

- **SEL** > **Orbit** > **FRM** pour **Equ** >
 - **PRJ** pour **SHP** > **DST** pour **PeA** >
 - Vérifier **Orbit : Mercury** > (Ou **REF**...)
 - Attendre **PeT** ≈ 300 > **AB**. Il reste 20.5 %.
- La circularisation impose $dV \approx 13.22k$. On termine sur une orbite prograde d'altitude $\approx 1.5M$ avec une inclinaison du plan **Inc** $\approx 0.52^\circ$.

Rejoindre la station orbitale.

Effectuer le rendez-vous par les méthodes standard s'avère assez délicat. Il importe :

- De soigner l'alignement des plans orbitaux.
- De négocier une synchronisation avec une orbite presque circulaire.
- Synchroniser à partir d'une orbite optimale correspondant à un **LEN** entre 7 et 8.

*Quand on est à plusieurs orbites du rapprochement **DTmin** est important, mais durant l'approche de la jonction il diminue.*

- Dernière orbite de rapprochement passer les RCS en **LIN** et à $0.1x$ annuler **DTmin**.

IMFD de gauche :

- **MNU** > **Orbital** > **VeM** > (Voir aussi p23)
 - **TGT** > **et station-1** >. Vérifier **Ref Mercury** >
- Quand on est proche ($\approx 1k$) **AB** pour annuler la vitesse relative. Terminer avec **Docking** mais laisser **VeM** en attente pour nous aider car l'accouplement n'est pas aisé. Il reste 13.7 % de Fuel.



20

Quelques fenêtres de tir favorables.

Pioneer 10 : 02/03/1972 : MJD 41378.423727
 Voyager 1 : 05/09/1977 : MJD 43391.423727
JUNO : 15/08/2011 : MJD 55788.423727

Difficulté des vols vers Jupiter.

Par sa masse, Jupiter présente une Soie de grande dimension et nous attire fortement. On arrive rapidement à $\approx 16.11k$ et il faut ralentir à $\approx 1.6k$ ce qui impose un BT d'environ 745s soit 48 % de nos réserves. Il faut donc impérativement soigner le profil de mission pour économiser le Fuel à chaque étape si on veut avoir suffisamment de carburant pour rejoindre la station Fuel qui nous attend en orbite.

Le DG pour la scène Terre - Jupiter.scn est placé sur une orbite équatoriale favorable à un lancement vers la planète Jupiter.

Recherche d'une solution de tir.

- **Écoulement temporel conseillé** : $0.1x$.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
 - **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > *jupiter* >.
- (On vérifie **Ref Sun** et **Src Earth**)

On choisit l'option Off Plane qui en bilan global s'avère plus économe que Tangential Transfer :

- Choisir **Off Plane** de ————
- **@** montre que les plans sont alignés. **Off Plane** convient.

Two Plane
Source Plane
Target Plane
Manual Tgt
Off Plane

On note que **Tot** $\approx 17.37k$,

TIn $\approx 81.33M$, **InA** $\approx 1.67^\circ$ et **PeA** $\approx 0.937AU$.

Préparation de IMFD 1 :

- **MNU** > **PG** > **0** > pour coupler avec IMFD 0.
- **Orbit-Eject** >



21

- Choisir **Course** de ————
- **Pour définir la source des données de tir.**

Lower Orbit
Higher Orbit
Course
Sling-Shot
BaseApproach

- **PRJ** pour **Self** > **Next** > **Off-Axis** > $3x$ **Prv** >
 - **TEj** > **Adj-10x** > bouton + ou - pour diminuer au maximum **dV** $\approx 8.408k$.
 - **PG** > **BV** (**BT** $\approx 581s$) > **AB** > **BV** >
 - Passer en $10000x$. (Il reste 64.0 % de Fuel)
 - Attendre l'affichage de **Have a nice voyage**.
- Sachant les difficultés à intercepter Jupiter, nous allons effectuer plusieurs corrections.*

Première correction en route.

IMFD de droite :

- Rester en $100000x$ durant cette phase.
 - **MNU** > **Map** > **TGT** > *jupiter* > **Dsp** >
 - **Cnt** > x > **Sel** pour **Ref Jupiter** ("weak" n'est pas affiché) > **PG** > **Soi** > **PRJ** pour **Self** >
 - **PG** > **Z+** pour ajuster le ZOOM à convenance >
- NOTE** : Compte tenu de l'étendue de la trajectoire si on fait **MOD** 3 fois > **Accuracy** > **Set** > \uparrow pour 1.000 (Max) on observe que les 1000 legs possibles sont utilisés ce qui limite la longueur de trajectoire tracée. **MOD** >

IMFD de gauche :

- **PG** > **Src** > x >
 - **PG** > **Prv** pour **Indexer Target Intercept** > + pour avoir le menu > **Planet Approach** > **Set** >
 - **REF** > *jupiter* > **PRJ** pour **HTO** >
- On désire se placer en orbite équatoriale PROGRADE pour tourner dans le sens de la station de ravitaillement :*

TERRE > MERCURE - 5

TERRE > JUPITER - 1

TERRE > JUPITER - 2

4: T → J



22

- Indexer **EqI** > **Set** > **0** ↩ (EqI $\approx 3.998^\circ$) >
- **Nxt** : Indexer **PeA** > **Set** > **40M** ↩ > **PG** > **BV** >
- Attendre que **BT** passe à sa valeur minimale. Il commence à ≈ 289 pour diminuer régulièrement.
- Vers **PeT** $\approx 16M$ **BT** $\approx 62.2\%$ > **AB** > **BV**.

Il reste 62.2 % de Fuel. (PeA $\approx 422G$)

Autres corrections en route.

- Attendre **PeT** $\approx 10M$ (**BT** $\approx 5.86s$) > **AB** > Il reste 61.9 % de Fuel. **PeA** annoncé 65.74M.
- Attendre **PeT** $\approx 5M$ (**BT** $\approx 2s$) > **AB** > Il reste 61.8 % de Fuel. **PeA** annoncé 49.2M.
- Attendre **PeT** $\approx 1M$ (**BT** $\approx 1s$) > **AB** > Il reste 61.8 % de Fuel. **PeA** annoncé 39.95M.

On se trouve dans la Soi, Orbit Insert est effective.

Freinage de capture.

IMFD de gauche :

- **PG** > **Prv** pour indexer **Planet Approach** >
- + pour obtenir le menu > **Nxt** pour indexer **Orbit Insert** > **Set** pour valider le mode >

- Vérifier **REF** > **jupiter** ↩ >

- **PG** > **BV** > **AB** >

Annonce **BT** ≈ 740.5 pour **V** $\approx 20.59k$ mais à la mise à feu **BT** ≈ 739.3 et **V** $\approx 16.11k$ avec en bilan une orbite circulaire de 40.3M et **Inc** $\approx 4.14^\circ$.

Il reste 15.9 % de Fuel.

Jupiter malgré sa taille colossale tourne en PROgrade à seulement 3h 45min de journée sidérale soit 13.5k de durée. L'orbite prévue de 50M d'altitude présente une période T de 23.18k soit presque le double. Donc une insertion PROgrade donnera sur Map l'impression de tourner en rétrograde.

TERRE > JUPITER - 3

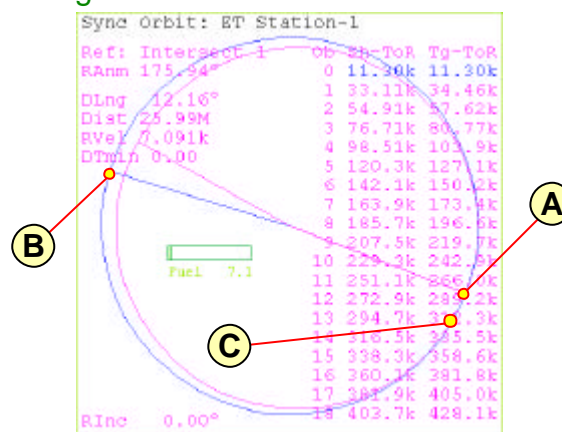


23

Rejoindre la station orbitale.

Optimiser le rendez-vous est impératif car on ne dispose que d'une réserve critique de Fuel.

- En optimisant l'alignement des plans orbitaux il nous reste environ 8.7 % de Fuel. (Voir p33)
 - Augmenter **ApA** pour intercepter à peine en un point tel que **A**. Il nous reste $\approx 7.1\%$ de Fuel.
 - Attendre de se trouver en **B**. Avec **LEN** maximum de 20 annuler **DTmin**.
 - Ramener **RInc** à 0.00 à l'aide des RCS.
 - **MNU** > **Orbital** > **VeM** > **TGT** > **et station-1** ↩.
 - Dernière orbite en **B** annuler **DTmin** aux RCS.
 - **NAV** > **NAV1** : 138.10 > **NAV2** : 138.20 > **NAV3** : 138.00 car **XPDR** se capte de loin.
 - **HUD** : **DOCK** > à droite : **Docking** sur **NAV3**.
 - Arrivé en **C** annuler **DTmin** avec les RCS.
 - Distance $\approx 1k$ **AB** pour annuler la vitesse relative.
- On arrive à $\approx 700m$. Terminer avec le **MFD** **Docking**. Arrimé il reste $\approx 5.2\%$ de Fuel.



Penser à la commande **[Ctrl] ESPACE** sur le **DG** bien utile pour le configurer en approche.

TERRE > JUPITER - 4



24

Quelques fenêtres de tir favorables.

Pioneer : 05/04/197 : MJD 41046.423727
Voyager 2 : 20/08/1977 : MJD 43375.590394
CASSINI : 15/10/1997 : MJD 43431.590394

Recherche d'une solution de tir.

Bien que les planètes soient en configuration favorable, en bilan global une HTO est plus couteuse que Target Plane, solution qui sera adoptée pour lancer vers Saturne.

- Écoulement temporel conseillé : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
 - **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **saturn** ↩.
- (On vérifie **Ref Sun** et **Src Earth**)

- Choisir **Target Plane** de
 - Two Plane
 - Source Plane
 - Target Plane
 - Manual Tgt
 - Off Plane
- @ montre que les plans sont presque alignés.

On note que **Tot** $\approx 16.57k$,

TIn $\approx 181.4M$, **Tn** $\approx 9.235M$, et **PeA** $\approx 0.972AU$.

Préparation de IMFD 1 :

- **MNU** > **PG** > **0** ↩ pour coupler avec IMFD 0.
 - **Orbit-Eject** >
 - Choisir **Course** de
 - Lower Orbit
 - Higher Orbit
 - Course
 - Sling-Shot
 - BaseApproach
- Pour définir la source des données de tir.

- **PRJ** pour **Self** > **Next** > **Off-Axis** > **3x** **Prv** >
- **TEj** > **Adj-10x** > Minimiser **dV** à $\approx 8.507k$ >
- **PG** > **BV** (**BT** $\approx 586.7s$) > **AB** > **BV** >

Il reste 63.6 % de Fuel (Sur **HUD** **V** $\approx 13.98k$)

- Passer en 10000 x.
- Attendre l'affichage de **Have a nice voyage**.

TERRE > SATURNE - 1

5: T → S



25

Correction au nœud.

- Repasser provisoirement en 1x temporel.

IMFD de droite :

- **MNU** > **Map** > **TGT** > saturne ↵ > **Dsp** > **Cnt** > x ↵ > **PG** > **Soi** > **PRJ** pour **Self** > **PG** > **Z+** > (**Sel** ne fonctionne pas à ce stade)

IMFD de gauche :

- **PG** > **Src** > x ↵ >
- **PG** > **Nxt** pour indexer **Prep.PIC** > Valider avec **+** > **PG** > **BV** > **AB** (BT ≈ 59.44s) >
- **AB** > Passer en 100000 x. (TtB ≈ 9.2M)

Il reste 60.1 % de Fuel.

Corrections en route.

Plusieurs corrections sont nécessaires.

IMFD de gauche :

- **PG** > **Prv** pour **Indexer Target Intercept** > **+** pour avoir le menu > **Planet Approach** > **Set** >

- **REF** > saturne ↵ >

On désire se placer en orbite équatoriale PROGRADE pour tourner dans le sens de la station de ravitaillement :

- Indexer **Eql** > **Set** > 0 ↵ (Retenu ≈ 9.5°) >
 - Indexer **PeA** > **Set** > 100M ↵ > **PG** > **BV** > BT augmente à plus de 300 puis diminue.
 - Attendre BT min ≈ 0.5s à **PeT** ≈ 31.2M > **AB**.
- Il reste 60.1 % de Fuel pour **PeA** ≈ 1.251G.
(Vers **PeT** ≈ 97.13M **Sel** devient utilisable)

PeT	BT	Fuel	PeA
15M	5.7s	59.7%	169.3M
10M	0.7s	59.7%	109.4M
4M	Pénétration en Soi. (R 0.163AU)		

TERRE > SATURNE - 2

26

PeT	BT	Fuel	PeA
2M	1.4s	59.6%	101.1M
100k	0.36s	59.6%	99.92M
10k	Dérisoire	59.6%	100M
Passer immédiatement sur Orbit Insert.			

Freinage de capture.**IMFD de gauche :**

- **PG** > **Prv** pour **indexer Planet Approach** >
 - **+** pour obtenir le menu > **Nxt** pour indexer **Orbit Insert** > **Set** pour valider le mode >
 - **REF** > saturne ↵ >
 - **PG** > **BV** (BT ≈ 389.2s) > **AB** > **BV** > (100 x **Max**) Bilan : Une orbite prograde circulaire de 100.6M d'altitude à Inc ≈ 17.74°.
- Il reste 35.4 % de Fuel.

Après alignement des plans avec la station Fuel en orbite équatoriale il reste 21.2% de Fuel.

Rejoindre la station Fuel orbitale.

- **MNU** > **Orbital** > **VeM** > **TGT** > et station-1 ↵.
- **NAV** > NAV1 : 138.10 > NAV2 : 138.20 > NAV3 : 138.00 car XPDR se capte de loin.
- HUD : **DOCK** > à droite : **Docking** sur NAV3.
- Distance ≈ 20k **AB** pour annuler la vitesse relative. Arrimé il reste ≈ 20 % de Fuel.

Saturne malgré sa taille colossale tourne en PROgrade à seulement 10h 39min 22s de journée sidérale. (Durée 38.362k)L'orbite prévue de 100M d'altitude présente une période T de 64.23k soit presque le double. Donc une insertion PROgrade donnera sur Map l'impression de tourner en rétrograde.

TERRE > SATURNE - 3

27

L'effet de fronde gravitationnelle n'est utilisable que pour un alignement particulier et favorable des planètes visitées. Nous allons simuler en partie le vol historique de Voyager 2 qui a utilisé l'effet de fronde à son rapprochement de Jupiter.

Départ : 20/08/1977 : MJD 43375.590394

Visite Jupiter : 15/04/1979 : MJD 43978.5

Visite Saturne : 27/08/1981 : MJD 44843.5

Recherche d'une solution de tir.**Préparation de IMFD 0 :**

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
- **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > jupiter ↵.
- Choisir **Two Plane** car @ confirme que pour cette éjection les plans sont alignés.

Pour respecter la date d'arrivée la logique consiste à agir directement sur le MJD d'arrivée. Mais pour "varier" on va la traiter en imposant la durée du voyage réel : 603 jours soit 52.099M.

- **Tln** > **Set** > 52.099M ↵.

On note que Tot ≈ 20.29k et **PeA** ≈ 0.98AU.

Préparation de IMFD 1 :

- **MNU** > **PG** > 0 ↵ pour coupler avec IMFD 0.
 - **Orbit-Eject** > **Course** > **PRJ** pour **Self** >
 - **Next** > **Off-Axis** >
 - Trois fois **Prv** > **TEj** > Adj-10x >
 - Minimiser dV à ≈ 7.370k pour **TEj** ≈ 4.846k.
 - **PG** > **BV** (BT ≈ 515.3s) > **AB** > **BV** > (71 secondes de moins que pour le lancement vers Jupiter décrit p21 mais ici les plans sont alignés)
- Il reste 68.0 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 14.18k)
- Passer en 100000 x.
 - Attendre l'affichage de **Have a nice voyage**.

Terre > Jupiter > Saturne - 1

6: T > J > S



28

1^{ière} correction en approche de Jupiter. IMFD de droite :

- **MNU** > Map > **TGT** > jupiter ↗ > Dsp > Cnt > x ↗ > **PG** > SoI > **PRJ** pour Self > **PG** > Z+.

IMFD de gauche :

- **PG** > Src > x ↗ >
- **PG** > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >

- **REF** > jupiter ↗ >

On désire respecter le vol de Voyager 2 :

- Indexer **Eql** > Set > 6.17 ↗ >
- (Valeur acceptée puisque $\text{Min} \pm 0.189$)
- Indexer **PeA** > Set > 100M ↗ > **PG** > **BV** >
- Pour **BT** min $\approx 16.4\text{s}$ à **PeT** $\approx 36.96\text{M}$: **AB**.
(Il reste 67.0 % de Fuel)

Deuxième correction en route.

MFD de droite :

- **SEL** > Orbit > **REF** > jupiter ↗ >
- Attendre l'influence de jupiter à **G 0.20** >
- **SEL** > Interplanetary > revenir à Map >
- **TGT** > saturn ↗ > Z+ à la demande > Vérifier Ref Saturn (weak) >

On note un PeA » 3.9AU bien éloigné.

- **PG** > Plan pour afficher la route calculée >
- #### IMFD de gauche :
- Toujours avec Eql 6.17° et Ref Jupiter.*
- On va ajuster **PeA** sur Jupiter dans **Course** pour minimiser **PeA** calculé pour Saturne à droite. Si la route calculée est instable : **MOD** 3 fois > **Accuracy** > Set > 1 ↗ (Pour MAX) > **MOD** >
- Ajuster finement, on arrive à un **PeA** calculé pour Saturne $\approx 0.731\text{AU}$ > (Convenable si $< 1\text{AU}$)

Terre > Jupiter > Saturne - 2



29

- **PG** > **BV** (BT $\approx 43.98\text{s}$) >
- Plan à droite pour afficher la trajectoire courante.
- **AB** > **BV**. Il reste 64.3 % de Fuel.

Augmentation de 0V avec Sling-Shot.

MFD de droite :

- **SEL** > Orbit > Attendre **G 0.50** en SoI >

IMFD de gauche :

- Indexer Planet Approach > + pour le menu >
- Target Intercept > Set > **TGT** > saturn ↗ >
- Vérifier Src Jupiter et Ref Sun >
- Sélectionner Off plane.

MFD de droite : • **SEL** > Interplanetary >

- **MNU** > Sling-shot > Course est imposé.
- Choisir Pro-grade.

Tin actuel fait 312M. On observe aussi que oV » 2.512k à gauche est répercuté à droite et nécessite actuellement un BT » 374.9 secondes.

On va modifier Tin à gauche pour minimiser BT. L'arrivée réelle du 27/08/1981 correspond à un MJD 44843.5 que l'on va donner en préambule :

- **MNU** > **MOD** > + pour MJD > **MNU** > Course >
- Indexer MJD > Set > 44843.5 ↗ >

BT diminue à » 168.7 et Tin baisse à » 77.59M.

Il serait possible de s'en tenir à la date d'arrivée historique. Mais en affinant MJD en Adj-100x, 10x et 1x avec le bouton - on peut encore réduire BT. (Et diminuer le temps du voyage) On arrive à BT $\approx 6.707\text{s}$ pour un dV $\approx 6.718\text{k}$ avec un Tin réduit à $\approx 58.79\text{M}$ pour un **PeA** $\approx 400.2\text{M}$ bien meilleur que les 0.731AU sans cette correction.

- **AB** > **BV**. Il reste 63.9 % de Fuel.

Fin de la mission donnée p30 est banale.

Terre > Jupiter > Saturne - 3



30

Corrections en approche.

IMFD de droite :

- Revenir sur le module Map >
- Configurations diverses > Éventuellement Int pour visualiser les rayons d'interception >
- Attendre de sortir de la SoI du Jupiter.

IMFD de gauche :

- **PG** > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >
- **REF** > saturn ↗ > **PRJ** pour HTO >
- Si nécessaire **PG** > Src > x ↗ >

On désire se placer en orbite équatoriale PROGRADE pour tourner dans le sens de la station de ravitaillement :

- Indexer **Eql** > Set > 0 ↗ (Retenu $\approx 8.95^\circ$) >
- Indexer **PeA** > Set > 100M ↗ > **PG** > **BV** >
- Attendre BT min $\approx 3.34\text{s}$ à **PeT** $\approx 12.8\text{M}$ > **AB**.
Il reste 63.7 % de Fuel. (PeA instable)

- Attendre **PeT** $\approx 5\text{M}$ (BT $\approx 4.689\text{s}$) > **AB** >
- Il reste 63.4 % de Fuel. **PeA** annoncé $\approx 87.11\text{M}$.
- Attendre **PeT** $\approx 1\text{M}$ (BT $\approx 0.724\text{s}$) > **AB** >
- Il reste 63.4 % de Fuel. **PeA** annoncé $\approx 100.9\text{M}$.
- À **PeT** 100k passer en mode Orbit Insert >
- **PG** > **BV** (BT $\approx 561\text{s}$) > **AB** > **BV** >

Orbite prograde circulaire de 101M d'altitude avec un Inc $\approx 9.4^\circ$. Il reste 28.6 % de Fuel.

BILAN : La consommation en carburant est plus importante que pour le tir direct. Toutes les phases du vol sont plus économiques, mais on arrive plus rapidement. Il faut 171 secondes de plus pour le freinage de capture. Par contre, on a visité Jupiter et le temps de voyage est inférieur de 70 M soit 810 jours.

Terre > Jupiter > Saturne - 4



31

Fenêtres de tir favorable.

Nous allons lancer le 01/02/1979 qui favorise une HTO. (MJD 43391.423727)

PARTICULARITÉS D'URANUS : Comme c'est le cas pour Vénus, (Cas particulier dans le système solaire) Uranus présente la spécificité de tourner en sens rétrograde.

Autre singularité, son plan équatorial est fortement incliné sur l'écliptique. La correction de plan pour synchroniser la station orbitale va consommer ≈ 19% de Fuel.

Procéder au lancement.**Préparation de IMFD 0 :**

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > Course >
 - Target Intercept > Set > TGT > uranus ↵.
- (On vérifie Ref Sun et Src Earth)

- Choisir Off Plane de ————
- ② montre que les plans sont pratiquement alignés.

Two Plane
Source Plane
Target Plane
Manual Tgt
Off Plane

On note que Tot ≈ 16.67k,

TIn ≈ 486.1M et PeA ≈ 0.946AU.

Préparation de IMFD 1 :

- MNU** > **PG** > 0 ↵ pour coupler avec IMFD 0.
- Orbit-Eject >
- Choisir Course de ————
- Pour définir la source des données de tir.

Lower Orbit
Higher Orbit
Course
Sling-Shot
BaseApproach

- PRJ** pour Self > Next > Off-Axis > 3x Prv >
 - TEj** > Adj-10x > Minimiser dV à ≈ 8.976k >
 - PG** > **BV** (BT ≈ 615.6s) > **AB** > **BV** >
- Il reste 61.8 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 15.19k)

TERRE > URANUS - 1

7: T → U



32

- Passer en 10000 x.
 - Attendre l'affichage de Have a nice voyage.
- Corrections en route.**

Plusieurs corrections sont nécessaires.

IMFD de droite :

- MNU** > Map > TGT > Uranus ↵ > Dsp > Cnt > x ↵ > **PG** > Soi > PRJ pour Self > **PG** > Z+ > (Sel ne fonctionne pas à ce stade)

IMFD de gauche :

- PG** > Src > x ↵ >
- PG** > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >

- ☞ REF > uranus ↵ >

On désire se placer en orbite équatoriale PROGRADE pour tourner dans le sens de la station de ravitaillement et surtout dans les sens de rotation des divers satellites :

- Indexer Eql > Set > 0 ↵ (Retenu ≈ 62.7°) >
 - Indexer PeA > Set > 50M ↵ > **PG** > **BV** >
- BT ne va pas tarder à diminuer régulièrement.
- Attendre que BT soit minimal vers un PeT d'environ 149.5M (BT ≈ 30.46s) > **AB**.

Il reste 59.9 % de Fuel pour PeA ≈ 50.6M.

IMFD de droite :

- Cnt > uranus ↵

Autres corrections données en page suivante.

Freinage de capture.

☞ Le programmer dès que PeT » 20k :

IMFD de gauche :

- PG** > Prv pour indexer Planet Approach >
- + pour obtenir le menu > Nxt pour indexer Orbit Insert > Set pour valider le mode >
- ☞ Vérifier REF > uranus ↵ >

TERRE > URANUS - 2

33

PeT	BT	Fuel	PeA
100M	8s	59.4%	3.763G
50M	4.677s	59.1%	146.7M
10M	1.815s	59.0%	49.78M
5.1M	Pénétration en Soi. (Rad 0.128AU)		
5M	Dérisoire	59.0%	49.94M
500k	Dérisoire	59.0%	49.86M
100k	Dérisoire	59.0%	49.96M

- PG** > **BV** (BT ≈ 253.9s) > **AB** > **BV** > (100 x Max) Bilan : Une orbite prograde circulaire parfaite de 50M d'altitude.
- Inc ≈ 141.14°. Il reste 43.3 % de Fuel.

Passer en plan équatorial :

- Sur Orbit MFD imposer Frm EQU.

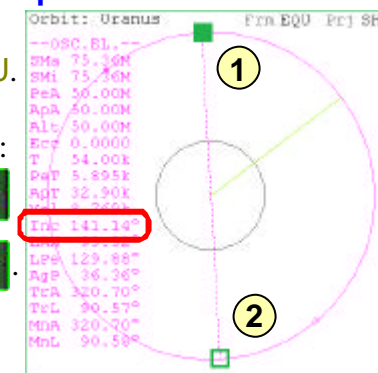
- Pour obtenir Inc = 180° il faut :

En 1 agir en NML -

ou

En 2 agir en NML +

Fuel : 24.6 %.

**Rejoindre la station Fuel orbitale.**

- MNU** > Orbital > VeM > Vérifier Ref Uranus >
- NAV** > NAV1 : 138.10 > NAV2 : 138.20 > NAV3 : 138.00 car XPDR se capte de loin.
- HUD** : DOCK > à droite : Docking sur NAV3.
- Distance ≈ 1k AB pour annuler la vitesse relative. Arrivé il reste ≈ 24.5 % de Fuel.

TERRE > URANUS - 3



34

Nous allons lancer le 12/02/1978 qui favorise un lancement de type HTO. (MJD 43551.718)

Procéder au lancement.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >
- Target Intercept > Set > TGT > neptune ↩.
- (On vérifie Ref Sun et Src Earth)
- Choisir Off Plane de Two Plane ...

Ⓢ montre des plans sont pratiquement alignés.

Tot ≈ 15.74k, Tln ≈ 888M et PeA ≈ 0.965AU.

Préparation de IMFD 1 :

- MNU > PG > 0 ↩ pour coupler avec IMFD 0.
- Orbit-Eject >
- Choisir Course de Lower Orbit ... Pour définir la source des données de tir.
- PRJ pour Self > Next > Off-Axis > 3x Prv >
- TEj > Adj-10x > Minimiser dV à ≈ 9.426k >
- PG > BV (BT ≈ 643s) > AB > BV >

Il reste 60.1 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 14.79k)

- Passer en 10000 x.
- Attendre l'affichage de Have a nice voyage.

Corrections en route.

Plusieurs corrections sont nécessaires.

IMFD de droite :

- MNU > Map > REF > neptune ↩ > Dsp > Cnt > x ↩ > PG > Soi > PRJ pour Self > PG > Z+ > (À ce stade Sel inutilisable si TGT > Neptune)

IMFD de gauche :

- PG > Src > x ↩ >
- PG > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >
- REF > neptune ↩ >

On désire se placer en orbite équatoriale.

TERRE > NEPTUNE - 1

8: T → N



35

- Indexer Eql > Set > 0 ↩ (Retenu ≈ -18.84°) >
- Indexer PeA > Set > 10M ↩ > PG > BV > BT ne va pas tarder à diminuer régulièrement.
- Attendre que BT soit minimal vers un PeT d'environ 293.5M (BT ≈ 36.24s) > AB.

Il reste 57.9 % de Fuel pour PeA ≈ 8.994M.

IMFD de gauche :

- PRJ pour Equator > Cnt > neptune ↩

PeT	BT	Fuel	PeA
60M	35s	55.7%	213M
20M	1s	55.6%	14.07M
7.35M	Pénétration en Soi. (Rad 0.213AU)		
5M	Dérisoire	55.6%	75.3M
1M	Dérisoire	55.6%	7.5M
500k	Dérisoire	55.6%	9.391M
100k	3s	55.5%	9.995M
50k	0.6s	55.4%	9.973M
15k	28.5s	53.6%	9.974M

👉 Orbit Insert dès que PeT » 5k :

IMFD de gauche :

- PG > Prv pour indexer Planet Approach >
- + pour obtenir le menu > Nxt pour indexer Orbit Insert > Set pour valider le mode >
- Vérifier REF > neptune ↩ >
- PG > BV (BT ≈ 335s) > AB > BV > (100 x Max) Bilan : Une orbite prograde circulaire parfaite de 10M d'altitude.
- Inc ≈ 11.11°. Il reste 32.9% de Fuel.
- Rejoindre la station Fuel orbitale.
- MNU > Orbital > VeM > Vérif. Ref Neptune >
- À ≈ 15k AB. Arrimé il reste ≈ 23.5 % de Fuel.

TERRE > NEPTUNE - 2



36

PARTICULARITÉS : Pluton tourne autour d'un axe très incliné (57,5 °) par rapport au plan orbital. Le couple Pluton/Charon forme un système binaire de planètes naines dont le C.d.G se situe à l'extérieur de Pluton.

Nous allons lancer le 12/12/1953 qui favorise un lancement de type HTO. (MJD 34723.263)

Notre orbite est coplanaire avec celle de Pluton.

Procéder au lancement.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >
- Target Intercept > Set > TGT > pluton ↩.
- (On vérifie Ref Sun et Src Earth)
- Choisir Target Plane de Two Plane ...
- Minimiser Tot avec MJD départ ≈ 34723.3 et Tln ≈ 1.067G. Tot ≈ 25.87k et PeA ≈ 0.828AU.

Préparation de IMFD 1 :

- MNU > PG > 0 ↩ pour coupler avec IMFD 0.
- Orbit-Eject >
- Choisir Course de Lower Orbit ...
- PRJ pour Self > Next > Off-Axis > 3x Prv >
- TEj > Adj-10x > Minimiser dV à ≈ 17.70k >
- PG > BV (BT ≈ 1.095k) > AB > BV >
- Il reste 31.7 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 20.7k)
- Attendre l'affichage de Have a nice voyage.

Corrections en route.

IMFD de droite :

- MNU > Map > TGT > pluto ↩ > Dsp > Cnt > x ↩ > PG > Soi > PRJ pour Self > PG > Z+ > (Sel ne fonctionne pas à ce stade)

IMFD de gauche :

- PG > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >

TERRE > PLUTON - 1

↖ Avec Sling-Shot

9: T → P



37

- **REF** > **pluto** > **PRJ** pour **HTO** > *On désire se placer en orbite équatoriale.*
- Indexer **Eql** > **Set** > **0** > (Retenu $\approx 70^\circ$) >
- Indexer **PeA** > **Set** > **10M** > **PG** > **BV** >
- Attendre que **BT** soit minimal vers un **PeT** d'environ 505.9M (**BT** $\approx 77.93s$) > **AB**.

Il reste 26.9 % de Fuel pour **PeA** $\approx 12.11M$.

IMFD de droite :

- **PRJ** pour **Equator** > **Cnt** > **pluto**

PeT	BT	Fuel	PeA
300M	25.49s	25.3%	4.425M
80M	11s	24.6%	63.51M
50M	0.2s	24.6%	38.89M
20M	Dérisoire	24.6%	13.03M
5M	Dérisoire	24.6%	10.10M
100k	2.2s	24.4%	10.00M
76.03k	Pénétration en Soi. (Rad 0.213AU)		
40k	0.8s	24.4%	9.992M

Orbit Insert dès que **PeT** » **30k** :

- IMFD de gauche :** • **PG** > **Src** > **x** >
- **PG** > **Prv** pour indexer **Planet Approach** >
 - + pour obtenir le menu > **Nxt** pour indexer **Orbit Insert** > **Set** pour valider le mode >
 - Vérifier **REF** > **pluto** >
 - **PG** > **BV** (**BT** $\approx 198.3s$) > **AB** > **BV** > (100 x **Max**) Bilan : Une orbite prograde circulaire parfaite de 10M d'altitude. **Inc** $\approx 68.5^\circ$. Il reste 12.1 % de Fuel. *Rejoindre la station Fuel orbitale.* 12.1 % de Fuel disponible sont insuffisants pour aligner les plans orbitaux. Il faut "tricher".

TERRE > PLUTON - 2



38

Sonde News Horizons.

Départ le 19/01/2006 : MJD 53754.79

Survol Jupiter le 21/02/2007 : MJD 54152

Arrivée à Pluton le 14/07/2015 : MJD 57217

Recherche d'une solution de tir.

- Écoulement temporel conseillé : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
 - **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **jupiter** >
 - Sélectionner l'option **Off Plane**.
- Tot $\approx 31.81k$, **TIn** $\approx 34.32M$, et **PeA** $\approx 0.963AU$.

Préparation de IMFD 1 :

- **MNU** > **PG** > **0** > **Orbit-Eject** > **Course** >
 - **Next** > **Off-Axis** > **PRJ** pour **Self** > **3x Prv** >
 - **TEj** > **Adj-10x** > Vers **6k** : **dV** à $\approx 9.309k$ >
 - **PG** > **BV** (**BT** ≈ 635.9) > **AB** > **BV** >
- Il reste 60.6 % de Fuel (Sur HUD **V** $\approx 15.76k$)

- 10000 x puis attendre **Have a nice voyage**.

IMFD de gauche : • **PG** > **Src** > **x** >

Corrections MCC. (Vers un **TIn** de 6M)

- **AB** (**BT** ≈ 8.27) > **BV** > Il reste 60.0 % de Fuel pour un **PeA** $\approx 0.974 AU$.

À droite : • **SEL** > **Orbit** > **REF** > **jupiter** > **Corrections en approche de Jupiter**.

- Attendre **G 0.01** >

IMFD de droite : • **MNU** > **Map** > **REF** > **jupiter** > **Dsp** > **Cnt** > **x** > **PG** > **Soi** > **Z+**.

IMFD de gauche :

- Sélectionner **Planet Approach** > **Set** >
- **REF** > **jupiter** > **TGT** > **e** >
- **Eql** > **Set** > **0** > (3.338° au lieu de 2.5° historique)
- Indexer **PeA** > **Set** > **500M** > **PG** > **BV** >
- **BT** ≈ 11.47 à **PeT** $\approx 1.2M$: **AB**. (59.3 %)

Terre > Jupiter > Pluton - 1



39

- Attendre **G 0.2** > (Vers **PeT** $\approx 2.43M$)
 - **PG** > **Plan** pour afficher la route calculée >
- À droite : • **TGT** > **pluto** >
- Ref Pluto (weak)** ne s'affichera que lorsque les ajustement à gauche le rendront possible.

IMFD de gauche : (Toujours sur **Ref Jupiter**)

Ajuster **PeA** ($\approx 114.9M$) dans **Course** pour minimiser **PeA** de Pluton à droite. ($\approx 24.06AU$)

- **BV** (**BT** ≈ 44.8) > **AB** > **BV** > (Fuel : 56.5 %)

Augmentation de OV avec **Sling-Shot**.

- Attendre **G 0.5** sur **Orbit MFD** >

IMFD de gauche : • **Target Intercept** >

- **Set** > **TGT** > **pluto** > **Src** > **Jupiter** >

- **MJD** > **Set** > **57217** >

MFD de droite : • **MNU** > **Sling-shot** >

- **REF** > **jupiter** > Choisir **Pro-grade**.

- (**BT** ≈ 99.93) **AB** > **BV**. (Fuel ≈ 50.3 %)

À MJD 54151.87 on passe au périégée de Jupiter.

Corrections en approche.

À gauche : • **Planet Approach** > **Set** >

- **REF** > **pluto** > **Src** > **x** > **Eql** > **0** > ($\approx 47.72^\circ$) > **PeA** > **10M** > **PeT Optim.** > **MJD** > **57217** > **PG** > **BV** > 3 corrections :

PeT	BT	PeA	Fuel
95M	$\approx 47.2s$	$\approx 4.138G$	47.4%
30M	$\approx 23.4s$	$\approx 98.38M$	45.9%
1.7M	$\approx 7.5s$	$\approx 9.989M$	45.5%

- En Soi à **PeT** $\approx 27k$: mode **Orbit Insert** >

- **PG** > **BV** (**BT** $\approx 662.9s$) > **AB** > **BV** >

Orbite prograde parfaitement circulaire de 10M d'altitude avec un **Inc** $\approx 48^\circ$. Il reste 4.4 % de Fuel. Mise en orbite réalisée à MJD 57217.00

Terre > Jupiter > Pluton - 2



40

Le DG pour la scène *Vénus vers Mercure.scn* est placé sur une orbite équatoriale favorable à un lancement vers Mercure. La fenêtre de tir est choisi pour un transfert économique en Fuel.

Recherche d'une solution de tir.

À gauche : (Les plans sont alignés)

- Interplanetary > MNU > Course >
- Target Intercept > Set > TGT > mercury > Off Plane > RealTime (Imposé) > PRJ pour Self > Vérifier Ref sun et Src Earth. TIn ≈ 7.248M, PeA ≈ 61.21G et Tot ≈ 15.25k.

À droite :

- Interplanetary > MNU >
- PG (OpMode) > 0 > Orbit-Eject >
- Choisir Course et Off-Axis > PRJ pour Self >
- Pour TEj ≈ 2.13k on minimise dV ≈ 5.914k.
- BV (BT ≈ 420.9) > AB > BV.
- (V ≈ 10.87k et il reste 73.9%)
- Attendre Have a nice voyage ! >

À gauche : • PG > Src > x >

- À droite : • MNU > Map > Azo (Désactiver) >
- TGT > mercury > Sel pour Mercury (weak) > Cnt > x > PG > Soi > Int > PG pour Z >
- MOD 3 fois > Accuracy > Set > 1 > MOD >

Correction à mi-course. (MCC)

Effectuée à TIn ≈ 3.5M avec un BT ≈ 6.377 pour un PeA ≈ -1.834M. Il reste 73.5 % de Fuel.

Corrections en approche.

À gauche :

- indexer Planet Approach > Set >
- REF > mercury > PRJ pour HTO >



41

- Eql > Set > 0 (0.591°) >
- PeA > Set > 1M > AB > BV.

PeT	BT	PeA	Fuel
500k	18.6	≈ 143.1M	72.3 %
100k	93.58	≈ -931.1k	66.5 %
10k	12.04	≈ 997.8k	65.7 %

À PeT ≈ 2.34k on pénètre en Soi de Mercure et la "bascule" de trajectoire se produit. (@)

Orbit Insert sans attendre :

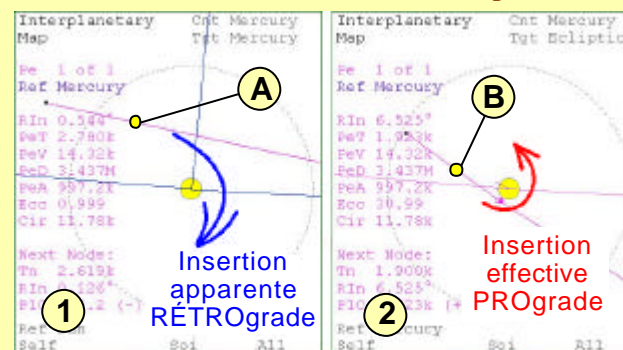
Freinage de capture.

À gauche : • Orbit Insert > Set >

- PG > BV (BT ≈ 430.1) > AB > BV >

Obtient une orbite circulaire de 970 km d'altitude inclinée de 0.6°. Il reste 39.1 % de Fuel.

@ : Quelle que soit le type d'insertion demandée à Planet Approach on arrive en orbite réciproque avant la pénétration en Soi. Exemple ou Eql demandé = 0. En 1, étant hors Soi "on arrive du mauvais coté", comme pour une insertion en RÉTROgrade. Mais dès que l'on pénètre dans la Soi en 2 la trajectoire bascule de A en B et l'on réalise l'insertion prévue.



31

On passe à PeA ≈ 100.2M à MJD 46455.1920 soit à peine J+1 pour une croisière de 9 années.

Corrections en route pour Neptune.

MFD de droite : • MNU > Map >

- Attendre la sortie de la Soi d'Uranus >
- TGT > neptune > Cnt > neptune > REF > neptune > Vérifier Ref Neptune > Z+.

IMFD de gauche :

- PG > Src > x > PG > Indexer Target Intercept > + > Planet Approach > Set >
- REF > neptune > PRJ pour HTO >
- Passer au pôle Nord : Vérifier Tgt Equator >
- Indexer Eql > Set > 90 (Accepté) >
- Indexer PeA > Set > 4.8M > PG > BV >
- Pet Optim > MJD > Set > 47762 >
- Attendre BT ≈ 6.1s à PeT ≈ 89.38M > AB. PeA annoncé ≈ 9.0956G (Il reste 49.0%)

Trois autres corrections en route :

PeT	BT	PeA	Fuel
45M	≈ 17.82s	≈ 728.4M	47.9%
15M	≈ 5.89s	≈ 14.07M	47.6%
5M	≈ 1.57	≈ 4.806M	47.5%

- Arrivée en Soi > PeT ≈ 1.5M : AB. Pour un BT dérisoire PeA annoncé 6.863M (Fuel : 47.5%)
- Le passage au périgée exactement au pôle Nord se produit à MJD 47762.0001 exactement à la date du vol réel après 12 années de croisière. L'altitude est axactment de 4.803M conforme à celle du vol historique. Il nous reste 47.5% de Fuel. Le vol direct avec un lancement de type HTO n'avait laissé 53.6%, légèrement plus, mais ici on a visité trois autres planètes.

VENUS > MERCURE - 1

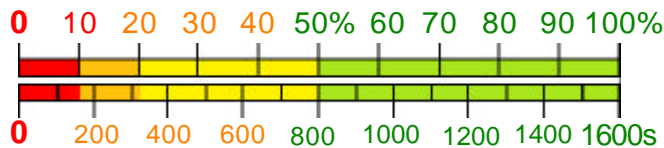
VENUS > MERCURE - 2

LE GRAND TOUR - 6

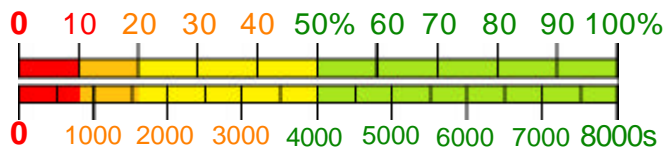
A: V → M

Utilisation de IMFD 5.5

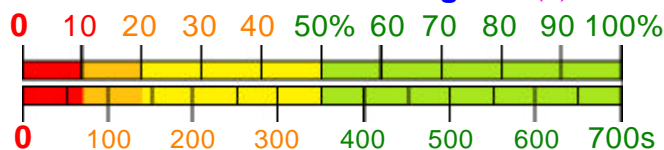
Autonomie du DG de base et du DG IV.



Autonomie du Arrow.

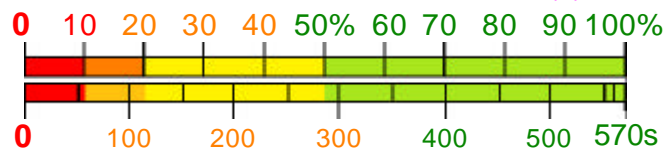


Autonomie du XR5 Vanguard. (1)

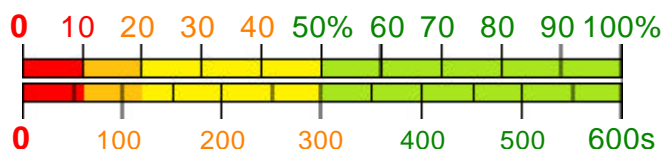


(1) Autonomie sans Payload de type carburant.

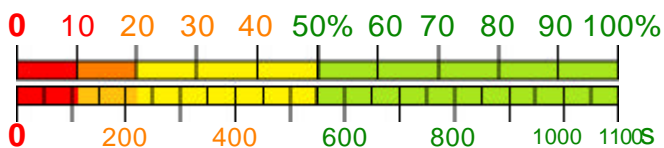
Autonomie du XR2 Ravenstar. (1)



Autonomie du SGU Shuttle.



Autonomie du Shuttle SH.



Autonomie en Fuel.



2

Réalisant le retour direct vers la Terre suite au vol **Terre** → **Mars** de p2, inutile de rechercher une fenêtre de tir de type HTO. Notre orbite est très inclinée sur l'écliptique car en arrivant nous voulions survoler Olympus. Inutile de chercher à aligner le plan orbital, la manœuvre est plus pénalisante en bilan final qu'un "tir direct".

Si **GET** (Temps écoulé depuis le départ) est affiché à la place de **MJD** mieux adapté :
MNU > **MOD** > Next > + > **MNU** > Course

Recherche d'une solution de tir.

- Passer en temporel : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > Course >
 - Target Intercept > Set > TGT > earth ↙.
- (On vérifie Ref Sun et Src Mars)

- Choisir Off Plane de ————
- @ montre que les plans sont alignés. Off Plane convient.

Two Plane
Source Plane
Target Plane
Manual Tgt
Off Plane

Préparation de IMFD 1 :

Voyage entre deux planètes orbitant autour d'une même référence Sun il faut faire l'allumage avec **Orbit-Eject** couplé à Target Intercept.

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > **PG** > 0 ↙ pour coupler avec IMFD 0 > Orbit-Eject >
- Choisir Course de ————
- Pour définir la source des données de tir.
- Next > Off-Axis.
- **PRJ** pour projection Self.
- **PG** > **BV** : pouvoir surveiller la valeur de BT.

Lower Orbit
Higher Orbit
Course
Sling-Shot
BaseApproach

MARS > TERRE - 1

1: M → T



3

Solution actuelle : TIn ≈ 21.45M ≈ 248 jours. PeA ≈ 83.38G avec Tot 20.83k et BT ≈ 356.4s. Cette solution fonctionne mais consomme trop.

Optimisation de la solution.

IMFD de gauche :

- Diminuer TIn, en Adj-100x, 10x et 1x avec le bouton - pour minimiser BT à droite.
- Nouvelles valeurs : TIn ≈ 22.41M ≈ 259 jours. PeA ≈ 77.58G avec Tot 21.65k et BT ≈ 328.4s.

IMFD de droite :

- Faire varier TEj sur Orbit-Eject pour minimiser la valeur de dV à ≈ 5.191k pour un TEj de 5.568k et BT ≈ 321s.
 - Modifier TEj sur Orbit-Eject pour minimiser dV ≈ 5.191k, TEj ≈ 5.568k et BT ≈ 321s.
 - **PG** > **BV** > **AB** pour activer l'auto burn > **BV**.
- Accélération temporelle. Éjection à V ≈ 8.57k sur le HUD. Il reste ≈ 53.8% de Fuel.
- Attendre de quitter la Soie terrestre, Orbit-Eject affiche Have a nice voyage et devient inutile.
- C'est la fin de l'éjection, on passe en croisière.** (Nous sommes sur une orbite héliocentrique)

REMARQUE sur cette solution :

On a décidé de repartir immédiatement sans attendre une période favorable. Du coup, la consommation en Fuel est importante. En fenêtre de tir favorable on réduirait BT à ≈ 255s et un TIn de 16.77M soit 196 jours. Enfin notre trajectoire va "voisiner" longuement avec le Soleil, il va falloir refroidir le vaisseau. D'où l'importance de toujours élaborer un plan de vol avec en préalable **UNE BONNE FENÊTRE DE LANCEMENT**.

MARS > TERRE - 2



4

IMFD de droite :

- **MNU** > **Map** > **TGT** > **earth** > **PRJ** pour **Self**.
- **Dsp** > **Cnt** > **Z** au choix > **x** > **PG** > **Soi** >
- **PG** > **Sel** pour **Ref Earth (weak)**.
- **MOD** 3 fois > **Accuracy** > **Set** > **1** >
- **Time limit** > **Set** > **22M** > **MOD** >

IMFD de gauche :

- **PG** > **Src** > **x** > **BV**.

Correction à mi-course. (MCC)

Le temps du voyage Tin avoisine 22.41M on va donc situer la mi-course à environ 12M.

IMFD de gauche :

- Attendre que **PeT** \approx 12M à droite sur **Map**.
 - **Passer l'écoulement temporel à 1x**.
 - (*BT faible, » 3.3s*) > **AB** pour activer l'auto burn > **BV** pour visualiser à nouveau le graphe.
- PeA** fait \approx 628.3M. Il reste 53.6 % de Fuel.
- Autre correction à **PeT** \approx 6M. pour **BT** \approx 2s il reste 53.5 % de Fuel. **PeA** \approx -2M soit une **trajectoire de collision !** (1 pour local)

Corrections en approche.**MFD de droite :**

- **SEL** > **Orbit** > **REF** > **Earth** >
- **Attendre G 0.1** > Revenir à **Map** >

IMFD de gauche :

- **PG** > **Indexer** **Target Intercept** > **+** > **Planet Approach** > **Set** >
- **REF** > **earth** > **PRJ** pour **HTO** >
- Vérifier **Tgt Equator** ou **TGT** > **1** >
- **EqI** > **Set** > **0** (\approx 6.4°) >

On désire s'insérer sur une orbite de sécurité

MARS > TERRE - 3

5

circulaire avec une altitude de l'ordre de 300 kilomètres. Mais le freinage de capture exigeant plus de 500s et commence loin du périégée car on arrive rapidement. (\approx 17.18k) En fin de freinage de capture on perd environ 150k au moment de la circularisation orbitale. On va donc imposer 300k + 150k \approx 450k.

- **PeA** > **Set** > **450k** >
- **PG** > **BV** (**BT** \approx 65.6) > **AB** > **BV**.

Il reste environ 49.4 % de Fuel.

Effectuer deux autres corrections en approche :

PeT	BT	PeA	Fuel
15k	\approx 1.3s	\approx 448.8k	49.3%
1.5k	\approx 18s	\approx 449.3k	48.1%

Freinage de capture.

Inutile d'attendre de pénétrer dans la Soi de la Terre, **G 0.99** nous y sommes largement.

IMFD de gauche :

- **PG** > **Prv** pour **indexer** **Planet Approach** >
- **+** pour obtenir le menu > **Nxt** pour **indexer** **Orbit Insert** > **Set** pour valider le mode >
- **Vérifier REF** > **earth** >
- **PRJ** pour **Self**.
- **PG** > **BV** (**BT** \approx 518.5s) > **AB** > **BV** >
- Passer en 100x est suffisant.

Mise en orbite effectuée, on se trouve sur une orbite presque équatoriale de 309k x 312k avec Inc \approx 6.49°. On circule dans le sens **prograde** et il nous reste \approx 16 % de Fuel. C'est largement suffisant pour effectuer une rentrée atmosphérique mais pas pour réaliser un RDV avec ISS les plans étant trop différents.

MARS > TERRE - 4

6

Réalisant le retour direct vers la Terre suite au vol **Terre** \rightarrow **Vénus** de p9, inutile de rechercher une fenêtre de tir favorable.

Recherche d'une solution de tir.

- **Passer en temporel : 0.1x**.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
 - **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **earth**.
- (On vérifie **Ref Sun** et **Src Vénus**)
- Choisir **Two Plane** car plans inclinés.

Préparation de IMFD 1 :

- **Interplanetary** > **MNU** > **PG** > **0** >
- **Orbit-Eject** > **Course** > **Next** > **Off-Axis**.
- **PRJ** pour **Self** > **PG** > **BV** : pouvoir surveiller la valeur de **BT**. On note : **TIn** \approx 23.52M \approx 772 jours. **PeA** \approx 0.687AU avec Tot 15.66k et **BT** \approx 292.5s.

Optimisation de la solution.**IMFD de gauche :**

- Diminuer **TIn** pour minimiser **BT** à droite.
- Nouvelles valeurs : **TIn** \approx 23.57M \approx 273 jours. **PeA** \approx 0.687AU avec Tot 21.65k et **BT** \approx 277s.

IMFD de droite :

- Modifier **TEj** sur **Orbit-Eject** pour minimiser **dV** \approx 4.32k, **TEj** \approx 1.566k et **BT** \approx 248.5s.
- On note que **Tn** \approx 23.08M pour la correction.
- **PG** > **BV** > **AB** pour activer l'auto burn > **BV**.
- Accélération temporelle. Éjection à **V** \approx 10.96k sur le HUD. Il reste \approx 46.6% de Fuel.
- Attendre de quitter la Soi de vénus, IMFD affiche **Have a nice voyage** et devient inutile.
- C'est la fin de l'éjection, on passe en croisière.**

VÉNUS > TERRE - 12: V \rightarrow T



7

Correction au nœud.

IMFD de droite :

- **MNU** > Map > **TGT** > earth ↵ > Dsp > Sel pour Ref Earth (weak) > **PG** > Soi >

IMFD de gauche :

- **PG** > Src > x ↵ > **PG** > Nxt pour indexer Prep.PIC > Valider le mode avec + > **PG** > **BV** (BT ≈ 138.2) > **AB** > **BV**.

(On peut noter que TtB équivalent à Tn)

- 100000 x. Manœuvre automatique.

Il reste 38.1 % de Fuel. Sur Map (weak) s'efface et PeA ≈ -5.110M : **Trajectoire de collision !**

Corrections en approche.

À droite : **SEL** > Orbit > **REF** > Earth >

IMFD de gauche :

- **PG** > Indexer Target Intercept > + > Planet Approach > Set > REF > earth ↵ >
- Vérifier Tgt Equator ou **TGT** > l ↵ >
- Eql > Set > 0 ↵ (≈ 22°) >

On désire s'insérer sur une orbite de sécurité circulaire avec une altitude de l'ordre de 350 k.

- PeA > Set > 400k ↵ > **PG** > **BV** >
- Attendre de se trouver en Soi **G 0.6** > **AB** > **BV**. (BT ≈ 31.74) Il reste ≈ 31.6 % de Fuel.

Freinage de capture.

IMFD de gauche :

- Orbit Insert > Set pour valider le mode >
- Vérifier REF > earth ↵ > **PRJ** pour Self.
- **PG** > **BV** (BT ≈ 315.3) > **AB** > **BV** >

Orbite **prograde** de 353k x 357k avec Inc ≈ 22.02° et il nous reste ≈ 16.6 % de Fuel.

VÉNUS > TERRE - 2



8

Lancement sans recherche de fenêtre de tir favorable car suite à Vénus vers Mercure.

Procéder au lancement.

À gauche :

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > Course >
- Target Intercept > Set > **TGT** > earth ↵ >
- Vérifier Ref Sun, Src Mercury et Off Plane >
- **MNU** > Passer en **MJD** > **MNU** > Course >

À droite :

- Ouvrir Interplanetary >
- **MNU** > **PG** > 0 ↵ > Orbit-Eject >
- Choisir Course et Off-Axis > **PRJ** pour Self >
- **PG** > **BV** pour surveiller BT >

À gauche :

- Ajuster Tln à gauche pour minimiser BT à droite > Tot ≈ 23.63k, PeA ≈ 57.48G et Tln ≈ 13.96M.

À droite :

- Indexer TEj > Adj-10x > Minimiser dV > dV ≈ 11.03k pour TEj ≈ 7.963k >
 - **PG** > **BV** (BT ≈ 738.4) > **AB** > **BV** >
- Il reste 54.3 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 12.95k)
- Passer en 100000 x et attendre la sortie de Soi signalée par Have a nice voyage >

À gauche :

À droite :

- **MNU** > Map > Azo > Dsp > **TGT** > earth ↵ >
- Sel pour Ref Earth (weak) > Cnt > x ↵ >
- **PG** > Soi > **PRJ** pour Self >
- **MOD** 3 fois > Accuracy > Set > 1 ↵ > **MOD** >

Correction à mi-course. (MCC)

À gauche :

- Vers Tln ≈ 7M > **AB** > **BV** > BT ≈ 20.75, PeA ≈ 1.05AU et Fuel : 53.0 %.

MERCURE > TERRE - 1

3: M → T



9

Corrections en croisière.

Toutes effectuées avec Target Intercept.

Tln	BT	PeA	Fuel
1M	2.203	≈ 7.504M	52.7 %
100k	---	≈ -6.36M	52.2 %

Puis, sans attendre :

À gauche :

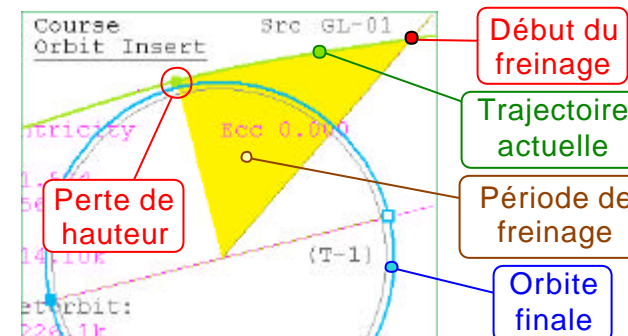
- REF > earth ↵ > **PRJ** pour Self >
- Eql > Set > 0 ↵ (1.86°) > PeA > Set > 200k ↵ (@) > **PG** > **BV** (BT ≈ 5.241) > **AB** > **BV**. (Il reste 51.9 % de Fuel et PeA ≈ 67.85k)
- **AB** à PeT ≈ 20k avec BT ≈ 0.417 > (Il reste 51.8 % de Fuel et PeA ≈ 198.8k)

Freinage de capture.

Sans attendre : Orbit Insert > Set >

- **PG** > **BV** (BT ≈ 398.7) > **AB** > **BV** >
- Obtient une orbite circulaire de 221.5km d'altitude, inclinée de 1.86°. Fuel : 27.1 %.

(@) **ATTENTION** : La durée de freinage est importante. Elle commence loin et fait diminuer progressivement la valeur du périégée. Il faut imposer un PeA plus important que celui désiré pour éviter une plongée atmosphérique intempestive.



MERCURE > TERRE - 2



10

Recherche d'une solution de tir.

- Ravitailler durant la programmation d'IMFD.

À gauche : (Les plans sont alignés)

- Interplanetary > **MNU** > Course >
- Target Intercept > Set > **TGT** > earth ↵ >
- Off Plane > RealTime (Est imposé) >
- **PRJ** pour Self > Vérifier Ref sun et Src Earth.

Tln ≈ 205.1M, PeA ≈ 0.75AU et Tot ≈ 24.18k.

(Affichera PeA » 0.75AU jusqu'à l'arrivée)

- À droite :**
- Interplanetary > **MNU** >
 - **PG** (OpMode) > 0 ↵ > Orbit-Eject >
 - Choisir Course et Off-Axis > **PRJ** pour Self >
 - Pour TEj ≈ 18.26k on minimise dV ≈ 7.118k.
 - **BV** (BT ≈ 499.2) > **AB** > **BV**.

(V ≈ 13.1k et il reste 69.0%)

- Attendre Have a nice voyage ! >

- À droite :**
- **MNU** > Map > Azo (Désactiver) >
 - **PG** > Soi > **TGT** > earth ↵ > Selpour Ref Charon (weak) > **PRJ** pour Self > Cnt > x ↵.
 - **MOD** 3 fois > Accuracy > Set > 1 ↵ > **MOD** >

Corrections en croisière.

Toutes effectuées avec Target Intercept.

- À gauche :**
- **PG** > Src > x ↵ >

PeT est lu à gauche, PeA est lu à droite :

PeT	BT	PeA	Fuel
85M	15.8	≈ 1.817G	68.0 %
50M	4.257	≈ 259.8M	67.8 %
15M	8.457	≈ 22.95M	67.2 %
10M	1.12	≈ 0.755AU	67.2 %
5M	1.02	≈ 0.754AU	67.1 %
2M	2.08	≈ 8.167M	67.0 %
1M	2.49	≈ -1.922M	66.8 %



11

Passer tout de suite aux corrections en approche.

Corrections en approche.

À gauche :

- indexer Planet Approach > Set >
- **REF** > earth ↵ > **PRJ** pour HTO >
- Eql > Set > 0 ↵ (5.524°) >
- **PeA** > Set > 500k ↵ (@) > **AB** > **BV**.

PeT	BT	PeA	Fuel
100k	8.3	≈ 833.7k	66.3 %
50k	0.39	≈ 551.7k	66.3 %
10k	0.35	≈ 502.1k	66.2 %
5k	0.032	≈ 500.4k	66.2 %

- **Orbit Insert sans attendre :**

Freinage de capture.

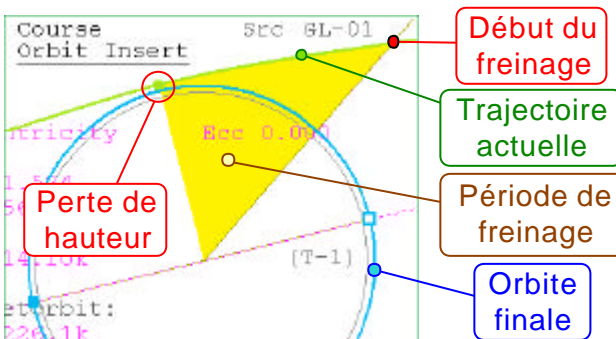
IMFD de gauche :

- Orbit Insert > Set >

- **PG** > **BV** (BT ≈ 747.7) > **AB** > **BV** >

Obtient une orbite de 221.5km x 223km inclinée de 5.53° d'altitude. Il reste 19.9 % de Fuel.

(@) **ATTENTION :** La durée de freinage est importante. Elle commence loin et fait diminuer progressivement la valeur du périégée. Il faut imposer un **PeA** plus important que celui désiré pour éviter une plongée atmosphérique intempestive.



12

Procéder au lancement.

À gauche :

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > Course >
- Target Intercept > Set > **TGT** > earth ↵ >
- Vérifier Ref Sun, Src Uranus et Off Plane >
- **MNU** > Passer en **MJD** > **MNU** > Course >

À droite :

- Ouvrir Interplanetary >

- **MNU** > **PG** > 0 ↵ > Orbit-Eject >
- Choisir Course et Off-Axis > **PRJ** pour Self >
- **PG** > **BV** pour surveiller BT >

À gauche :

- Ajuster Tln à gauche pour minimiser BT à droite >
- Tot ≈ 16.32k, PeA ≈ 0.962AU et Tln ≈ 521.6M.

À droite :

- Indexer TEj > Adj-10x > Minimiser dV >
- dV ≈ 8.624k pour TEj ≈ 51.30k >
- **PG** > **BV** (BT ≈ 593.9s) > **AB** > **BV** >

Il reste 63.1 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 11.28k)

- Passer en 100000 x et attendre la sortie de
- Soit signalée par Have a nice voyage >

À gauche :

- **PG** > Src > x ↵ >

À droite :

- **MNU** > Map > **TGT** > earth ↵ >

- Soi > Int > **PG** > Azo > Dsp > Cnt > x ↵ >
- Vérifier (Ref Earth (weak) > **PRJ** pour Self >
- **MOD** 3 fois > Accuracy > Set > 1 ↵ > **MOD** >

Corrections en croisière.

Toutes effectuées avec Target Intercept.

Tln est lu à gauche, PeA est lu à droite :

Tln	BT	PeA	Fuel
100M	1.983	≈ 4.531AU	63.0 %
50M	1.906	≈ 4.427G	62.9 %
20M	9.515	≈ 476.9M	62.3 %

SATURNE > TERRE - 1

4: S → T

SATURNE > TERRE - 2**URANUS > TERRE - 1**

5: U → T



13

5M	7.635	≈ 33.66M	61.8 %
1M	4.686	≈ 31.36M	61.5 %
50k	24.31	≈ -6.371M	60.0 %

Passer tout de suite aux corrections en approche.

Corrections en approche.

À gauche : • Planet Approach > Set >

- REF > earth > PRJ pour HTO >
 - Eql > Set > 0 > (14.194°) >
 - PeA > Set > 250k > (On désire 150k) (@) >
 - PG > BV (BT ≈ 10.95) > AB > BV >
 - À PeT ≈ 10k > (BT ≈ 0.732) AB >
- PeA ≈ 243.0k et il reste 59.3 % de Fuel

Orbit Insert sans attendre :

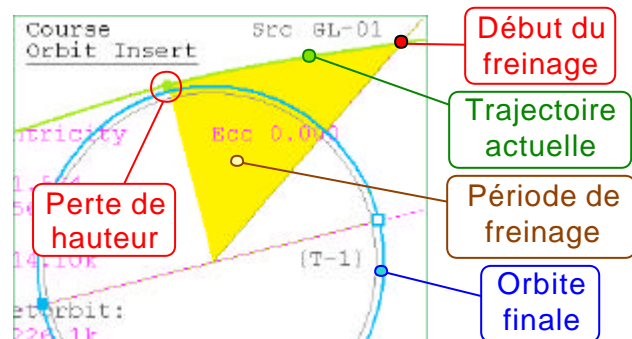
Freinage de capture. (PeA prévu ≈ 151.0k)

À gauche : • Orbit Insert > Set >

- PG > BV (BT ≈ 449) > AB > BV >

Obtient une orbite de 149.2km x 152.7km d'altitude inclinée de 14.6° et Fuel : 31.4%.

(@) ATTENTION : La durée de freinage est importante. Elle commence loin et fait diminuer progressivement la valeur du périégée. Il faut imposer un PeA plus important que celui désiré pour éviter une plongée atmosphérique intempestive.



URANUS > TERRE - 2



14

Lancement sans recherche de fenêtre de tir favorable car suite à Terre vers Neptune.

Procéder au lancement.

À gauche :

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >
- Target Intercept > Set > TGT > earth >
- Vérifier Ref Sun, Src Neptune et Off Plane >
- MNU > Passer en MJD > MNU > Course >

À droite : • Ouvrir Interplanetary >

- MNU > PG > 0 > Orbit-Eject >
- Choisir Course et Off-Axis > PRJ pour Self >
- PG > BV pour surveiller BT >

À gauche :

- Ajuster Tln à gauche pour minimiser BT à droite >
- Tot ≈ 43.72k, PeA ≈ 31.35G et Tln ≈ 530.2M.

À droite :

- Indexer TEj > Adj-10x > Minimiser dV >
 - dV ≈ 9.962k pour TEj ≈ 14.91k >
 - PG > BV (BT ≈ 657.1) > AB > BV >
- Il reste 58.2 % de Fuel (Sur HUD V ≈ 18.11k)
- Passer en 100000 x et attendre la sortie de
- Soi signalée par Have a nice voyage >

À gauche : • PG > Src > x >

À droite :

- MNU > Map > TGT > earth >
- Soi > Int > PG > Azo > Dsp > Cnt > x >
- Vérifier (Ref Earth (weak) > PRJ pour Self >
- MOD 3 fois > Accuracy > Set > 1 > MOD >

Correction à mi-course. (MCC)

À gauche :

- Vers Tln ≈ 669M > AB > BV >
- BT ≈ 6.750 et il reste 57.7 % de Fuel.

NEPTUNE > TERRE - 1



15

Corrections en croisière.

Toutes effectuées avec Target Intercept.

Tln est lu à gauche, PeA est lu à droite :

Tln	BT	PeA	Fuel
200M	1.554	≈ 11.30AU	57.6 %
150M	2.823	≈ 6.320AU	57.5 %
100M	1.301	≈ 2.686AU	57.4 %
50M	5.894	≈ 6.796G	57.0 %
25M	5.115	≈ 2.376G	56.7 %
10M	3.033	≈ 26.15M	56.5 %
5M	0.308	≈ -5.195M	56.5 %
(On passe à l'intérieur de l'orbite de Mercure)			
1M	3.78	≈ 1.19M	56.3 %
500k	1.368	≈ 28.8M	56.2 %
50k	5.03	≈ -6.36M	55.9 %

À gauche : • Planet Approach > Set >

- REF > earth > PRJ pour HTO >

- Eql > Set > 0 > (19.95°) > PeA > Set > 20M > PG > BV (BT ≈ 15.82) > AB > BV.

Il reste 55.0 % de Fuel.

Freinage de capture.

Attendre la pénétration en Soi >

(Il est trop tard pour engager Orbit Insert)

- Freiner au maximum en RET GRD >
- Carburant épuisé refaire le plein. (Editeur de scène)
- Surveiller PeA et freiner au maximum toujours en RET GRD > Couper à PeA ≈ 1M.

Sans attendre : Orbit Insert > Set >

- PG > BV (BT ≈ 166) > AB > BV >

Obtient une orbite pratiquement circulaire d'altitude 995.5k et il reste 30.0 % de Fuel.

NEPTUNE > TERRE - 2



16

Simulation de la première phase du vol historique de Giotto vers la comète de Halley.

Lancement le 02 juillet 1985 : MJD 46248.

Rapprochement le 13/03/1986 : MJD 46502.

Recherche d'une solution de tir.

- Passer en temporel : 0.1x.

À gauche : (Les plans sont alignés)

- Interplanetary > MNU > MOD > Next > + > MNU > Course > Target Intercept > Set > TGT > halley ↵ > Off Plane >

- RealTime (Imposé) > PRJ pour Self.

- Indexer le MJD d'arrivée > Set > 46502 ↵.

- Vérifier Ref sun et Src Earth.

MNU > MOD > Next > + > MNU > Course

TIn ≈ 21.94M, PeA ≈ 0.75AU et Tot ≈ 66.29k.

À droite : • Ouvrir Interplanetary > MNU >

- PG (OpMode) > 0 ↵ > Orbit-Eject >

- Choisir Course et Off-Axis > PRJ pour Self >

- Pour TEj ≈ 3.07k on minimise dV ≈ 9.858k.

- BV (BT ≈ 668.9) > AB > BV.

(V ≈ 10.41k et il reste 58.5%)

Correction MCC. (À TIn/2 » 11M)

- Src > x ↵ > BV (BT ≈ 6.632) > AB.

Corrections en approche.

Toutes effectuées avec Target Intercept.

PeT	BT	PeA	Fuel
2M	0.063	≈ 39.28k	58.1 %
500k	0.02	≈ 368.1	58.1 %
50k	0.019	≈ -5.044k	58.1 %

Si on ne décale pas avec les HOVERS à partir de PeT ≈ 50s on percute à MJD = 46502.0000.

Giotto vers HALLEY.

7: G → H



17

Recherche d'une solution de tir.

- Ravitailler durant la programmation d'IMFD.

À gauche : (Les plans sont alignés)

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >

- Target Intercept > Set > TGT > ariel ↵ >

- Off Plane > PRJ pour Self.

- Vérifier Ref Uranus et Src GL-01.

- Modifier TEj ≈ 2.87k et TIn ≈ 65.26k.

On obtient PeA ≈ -3.87k et Tot ≈ 11.35k.

- PG > BV (BT ≈ 550) > AB > BV.

On passe de V ≈ 6.2k à 8.48k et il reste 65.7%.

À droite : • Ouvrir Interplanetary >

- MNU > PG > 0 ↵ > Map > TGT > ariel ↵ >

- Azo > Sel pour (Ref Ariel (weak) > Dsp >

- Cnt > x ↵ > PRJ pour Self > PG > Soi > Int >

- MOD 3 fois > Accuracy > Set > 1 ↵ > MOD >

Corrections en approche.

À gauche : • Planet Approach > Set >

- REF > ariel ↵ > PRJ pour HTO >

- EqI > Set > 0 ↵ > PeA > Set > 50k ↵ > PG >

- BV > Corrections données ci-dessous.

PeT	BT	PeA	Fuel
44.7k	Dérisoire	≈ -507k	65.7 %
25k	≈ 22s	≈ 9.1M	64.3 %
10k	≈ 52.4s	≈ 193k	61.1 %
2k	≈ 41.8s	≈ 38.78k	58.4 %

Freinage de capture.

- Immédiatement : Orbit Insert > Set >

On est en Soi d'Uranus qui est prise en référence :

- REF > ariel ↵ >

- PG > BV (BT ≈ 162.7s) > AB > BV >

Orbite d'altitude 33km x 96km. Fuel : 48.3 %.

URANUS > ARIEL > URANUS - 1

URANUS vers ARIEL

8: U > A > U



18

Recherche d'une solution de tir.

À gauche : • Passer en temporel : 0.1x.

- Ouvrir Interplanetary > MNU >

- Orbit-Eject > (On désire quitter une Soi locale)

- Choisir Lower Orbit et Off-Axis >

- PRJ pour Self > Vérifier Ref Ariel >

À droite : • Interplanetary > MNU >

- PG > 0 ↵ > Map > Dsp > Annuler Azo >

- REF > uranus ↵ > PRJ pour Target >

- TGT > 1 ↵ pour Tgt Equator >

- Page Ref Uranus pour montrer PeA et non ~~ApA~~.

- PG > Soi > Plan > 3 x MOD > Accuracy >

- 2 x - pour (Max) > MOD > Zoom au choix >

À gauche : (Au départ on a 48.3% de Fuel)

- Ajuster oV ≈ 1.368k et TEj ≈ 12.27k pour

- PeA ≈ 49.13M sur Map avec dV ≈ 1.096k >

(On cherche PeA ≈ 50M altitude de la station)

- AB > BV (BT ≈ 60.24) > AB > Plan > BV.

V ≈ 1.447k, PeT ≈ 62.7k, Fuel 44.6 %

- Sortir de la Soi d'Ariel et préparer tout de suite

le freinage de capture avec Orbit Insert.

Freinage de capture.

À gauche :

- MNU > Course > Orbit Insert > Set >

- Planet Approach > Set >

- Vérifier Ref Uranus > PG > AB > 1000x >

Au moment de la manœuvre BT ≈ 92.7 secondes

et il reste 38.8 % de Fuel. L'orbite circulaire est

pratiquement équatoriale avec une altitude ≈ 75M.

La circularisation à 50M laisse 32.8% de Fuel,

l'alignement des plans étant effectué aux RCS. Il reste

largement de quoi rejoindre la station Fuel.

URANUS > ARIEL > URANUS - 2

ARIEL vers URANUS



19

Alignement des plans.

Nous sommes sur une orbite très inclinée par rapport au plan équatorial de Pluton dans lequel circule Charon. Il faut donc se placer sur une orbite équatoriale. Ouvrir **Orbit MFD**.

- **FRM** pour Frm **EQU**. ($Inc \approx 48.08^\circ$)
- Aux nœuds ascendants ☐ pousser en **NML+**.
- Aux nœuds descendants ☒ pousser en **NML-**.

Recherche d'une solution de tir.

- Passer en temporel : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
- **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **charon** ↗ >
- **PRJ** pour projection **Self** >
- Vérifier **Ref Pluto** et **Src GL-01**.
- Choisir **Off Plane** : Les plans sont alignés.

Préparation de IMFD 1 :

- **Interplanetary** > **MNU** > **PG** > 0 ↗ >
- **Map** > **Azo** (Désactiver) > **PG** > **Soi** > **Plan** > **TGT** > **charon** ↗ > **Sel** pour **Ref Charon** (weak) > **PRJ** pour **Self** > **Cnt** > x ↗.

À gauche :

(Voir page **PLUTON > CHARON - 2**)

- Modifier la date de mise à feu **GET**, en **Adj-100x, 10x et 1x** pour diminuer **PeA**. Avec **GET** $\approx 138 : 14 : 57$ on obtient **PeA** $\approx -83k$.
- **PG** > **BV** (**BT** ≈ 17.93) > **AB** > **BV**.

Map annonce un **PeA** $\approx 3.34M$ Il nous reste 97.7% de Fuel et l'information (weak) s'efface.

Corrections en approche.

À gauche : • **Planet Approach** > **Set** >

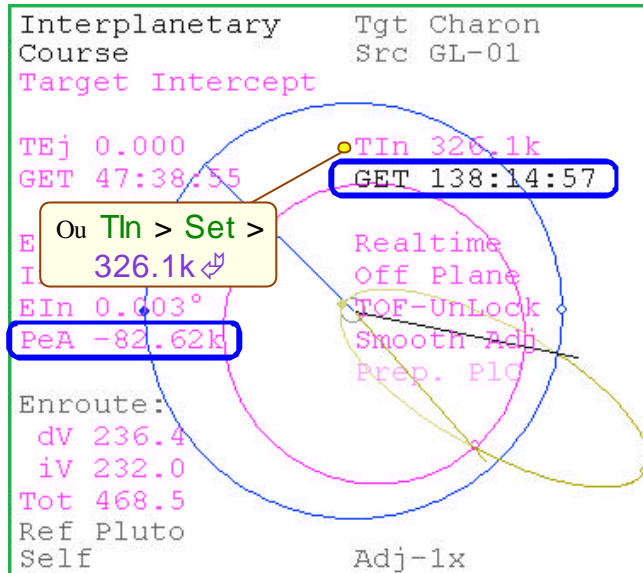
- **REF** > **charon** ↗ > **PRJ** pour **HTO** >

PLUTON > CHARON - 1

9: Petit TR



20



- Conserver **Tgt Equator** > **Eql** > **Set** > 0 ↗ > S'insérer sur une orbite de sécurité assez haute.
- **PeA** > **Set** > 100k ↗ > **PG** > **BV** >
- Attendre **BT** minimal ≈ 5.64 à **PeT** $\approx 42.5k$ > **AB** > **BV**. Il reste ≈ 97.3 % de Fuel.

Effectuer deux autres corrections en approche :

PeT	BT	PeA	Fuel
20k	$\approx 2.676s$	$\approx -21.25k$	97.2 %
5k	$\approx 2.33s$	$\approx 99.49k$	97.0 %

👉 **Orbit Insert sans attendre :**

Freinage de capture.

IMFD de gauche :

- Indexer **Orbit Insert** > **Set** >
 - **PG** > **BV** (**BT** $\approx 16.45s$) > **AB** > **BV** >
- Orbite prograde circulaire parfaite de 96k d'altitude, $Inc \approx 0.02^\circ$. Il reste 96.0 % de Fuel.

PLUTON > CHARON - 2



21

Notre plan orbital est aligné avec celui d'Hydra.

Recherche d'une solution de tir.

- Passer en temporel : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** >
- **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **hydra** ↗ >
- **PRJ** pour projection **Self** >
- Vérifier **Ref Pluto** et **Src Charon**)
- Choisir **Off Plane** : Les plans sont alignés.

PeA $\approx -142.2k$ avec **TIn** $\approx 927k$.

Préparation de IMFD 1 :

- Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** >
 - **PG** (OpMode) > 0 ↗ > **Orbit-Eject** >
 - Choisir **Course** et **Off-Axis** > **PRJ** pour **Self** >
- Rien à modifier. On note **BT** ≈ 17.2 convenable.

- **AB** > **BV**. (**V** ≈ 607.8 et il reste 94.9%)

Correction MCC. (À $TIn/2 \approx 450k$)

- **Src** > x ↗ > **BV** (**BT** ≈ 2.36) > **AB**.
- Enchaîner immédiatement les :

Corrections en approche.

À gauche : • **Planet Approach** > **Set** >

- **REF** > **hydra** ↗ > **PeA** > **Set** > 50k ↗ >

PeT	BT	PeA	Fuel
450k	$\approx 1s$	$\approx 6.342M$	94.7 %
100k	$\approx 2.361s$	$\approx 11.80k$	94.6 %
10k	$\approx 1s$	$\approx 49.66k$	94.5 %
4k	dérisoire	$\approx 50.02k$	94.5 %

👉 **Orbit Insert sans attendre :**

Freinage de capture.

IMFD de gauche : • **Orbit Insert** > **Set** >

- **PG** > **BV** (**BT** ≈ 6) > **AB** > **BV** >
- Orbite circulaire de 50k d'altitude. (94.1 %)

CHARON > HYDRA.



22

Recherche d'une solution de tir.

- Passer en temporel : 0.1x.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > Course >
- Target Intercept > Set > **TGT** > nix ↵ >
- **PRJ** pour projection Self >
- Vérifier Ref Pluto et Src Hydra.
- Choisir Off Plane : Les plans sont alignés.

PeA ≈ -200k avec Tln ≈ 706k.

Préparation de IMFD 1 :

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** >
- **PG** (OpMode) > 0 ↵ > Orbit-Eject >
- Choisir Course et Off-Axis > **PRJ** pour Self >
- Affiner TEJ ≈ 5.45k pour dV mini ≈ 85.05 avec un BT ≈ 6.3 parfaitement convenable.
- **AB** > **BV**. (V ≈ 112.3 et il reste 93.7%)

Correction MCC. (À Tln/2 » 350k)

- Src > x ↵ > **BV** (BT ≈ 1.2) > **AB**. (93.6 %)
- **Enchaîner immédiatement** les :

Corrections en approche.

- À gauche : • Planet Approach > Set >
- REF > nix ↵ > PeA > Set > 30k ↵ >

PeT	BT	PeA	Fuel
350k	≈ 2.372s	≈ 11.18M	93.5 %
100k	≈ 5.739s	≈ 943.1k	93.1 %
50k	≈ 1.4s	≈ -3.35k	93.0 %
1.8k (Soi)	≈ 1.6s	≈ 29.98k	92.9 %

☞ **Orbit Insert sans attendre :****Freinage de capture.**

- IMFD de gauche :** • Orbit Insert > Set >
 - **PG** > **BV** (BT ≈ 8) > **AB** > **BV** > (V ≈ 16.58)
- Orbite circulaire de 30k d'altitude. (92.4 %)

HYDRA > NIX > PLUTON - 1

HYDRA vers NIX



23

Recherche d'une solution de tir.**Préparation de IMFD 0 :**

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** > Course >
 - Target Intercept > Set >
 - **TGT** > et station-1 ↵ > **PRJ** pour Self >
 - Vérifier Ref Pluto et Src Nix)
 - Choisir Off Plane : Les plans sont alignés.
- PeA ≈ -997k avec Tln ≈ 414k.

Préparation de IMFD 1 :

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** >
 - **PG** (OpMode) > 0 ↵ > Orbit-Eject > **PRJ** pour Self > Course et Off-Axis >
 - **PG** > **BV** (BT ≈ 8.664) > **AB** > **BV**.
- PeA ≈ -997k avec Tln ≈ 414.1k il reste 91.9%)

- À droite : • **MNU** > Map > **TGT** > pluto ↵ >
- Cnt > pluto ↵ > Dsp > **PG** > Soi >
- ☞ **REF** > pluto ↵ > **PRJ** pour Periapis.
- À Tln ≈ 200k sur Course > Src > x ↵ >

- À gauche : • Planet Approach > Set >
- Vérifier Ref Pluto et Tgt Equator >
- Eji > Set > 0 ↵ > PeA > Set > 150k ↵ >

PeT à gauche	BT	PeA	Fuel
200k	≈ 1.471s	---	91.8 %
50k	≈ 0.215s	≈ 161k	91.8 %
10k	≈ 0.06s	≈ 148.7k	91.8 %
3k	≈ 0.055s	≈ 149.8k	91.8 %

☞ **Orbit Insert sans attendre :****Freinage de capture.**

- IMFD de gauche :** • Orbit Insert > Set >
 - **PG** > **BV** (BT ≈ 23.54) > **AB** > **BV** >
- Orbite circulaire de 151k d'altitude. (90.3 %)

HYDRA > NIX > PLUTON - 2

NIX vers PLUTON (Solution 1)



24

Recherche d'une solution de tir.**(Méthode classique)**

- À gauche : • Passer en temporel : 0.1x.

- Ouvrir Interplanetary > **MNU** >
 - Orbit-Eject > (On désire quitter une Soi locale)
 - Choisir Lower Orbit de ——— Higher Orbit
Course
Sling-Shot
BaseApproach
Lower Orbit
- Module utilisé pour définir les données du lancement.

- Nxt > + pour Off-Axis > **PRJ** pour Self >
- Vérifier Ref Nix >

- À droite : (Voir page **HYDRA > NIX > PLUTON - 4**)

- Interplanetary > **MNU** > **PG** > 0 ↵ >
- Map > Dsp > Annuler Azo > **TGT** > pluto ↵ >
- Conserver l'options Ref Sun.
- Page Ref Pluto pour montrer PeA et non ~~ApA~~.
- **PG** > Soi > Plan > 3 x MOD > Accuracy > 2 x - pour (Max) > MOD > Zoom sur pluton >
- **PRJ** pour Periapis > Cnt à la demande.

- À gauche : (Au départ on a 92.4% de Fuel)

- Augmenter oV avec + de façon à minimiser PeA ≈ 3.844M sur Map > Nxt >
 - Ajuster TEJ pour diminuer dV ≈ 63.89 >
 - **AB** > **BV** (BT ≈ 4.687) > **AB** > Plan > **BV**.
- V ≈ 80.3, PeA ≈ 3.68M, PeT ≈ 378k, Fuel 92.1%

Corrections en approche.

- À droite : • **SEL** > Orbit > (REF Nix)
- Attendre de sortir de la Soi (**G** ≤ 0.01) >
- Revenir sur Map > Zoom à convenance.

- À gauche : • **MNU** > Course >

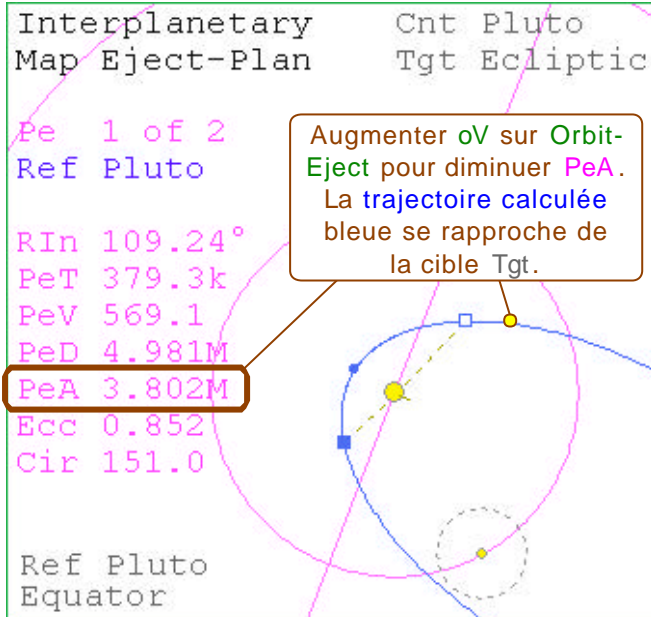
- Planet Approach > Set >
- ☞ **REF** > pluto ↵ > **PRJ** pour HTO >
- PeA > Set > 150k ↵ > **PG** > **BV** >

HYDRA > NIX > PLUTON - 3

NIX vers PLUTON (Solution 2)



25



- Réaliser les deux corrections de trajectoires aux valeurs de **PeT** indiquées ci-dessous :

PeT	BT	PeA	Fuel
100k	≈ 3.946s	≈ 136.9k	91.9 %
5k	≈ 0.63s	≈ 149.4k	91.8 %

Orbit Insert sans attendre :

Freinage de capture.

IMFD de gauche :

- Orbit Insert > Set >
- PG > BV (BT ≈ 23.21) > AB > BV >

Mise en orbite effectuée la vitesse orbitale lue sur HUD fait : $V \approx 795.5$ et l'on se trouve sur une orbite pratiquement circulaire de 152k d'altitude. $Inc \approx 0.06^\circ$ et il reste 90.4% de Fuel.

HYDRA > NIX > PLUTON - 4

NIX vers PLUTON (Solution 2)



26

La configuration particulière des quatre géantes gazeuses qui a rendu leur survol possible ne se reproduit que tous les 176 ans. Nous allons simuler jusqu'à Neptune le vol historique de Voyager 2 en respectant les dates de passage :

Départ : 20/08/1977 : MJD 43375.59

Visite Jupiter : 9/07/1979 : MJD 44063.936

Visite Saturne : 25/08/1981 : MJD 44841.00

Visite Uranus : 24/01/1986 : 46454.67

Visite Neptune : 24/08/1989 : MJD 47762.00

Puis passe à 39790 km de Triton.

Recherche d'une solution de tir.

Préparation de IMFD 0 :

- Ouvrir Interplanetary > MNU > Course >
- Target Intercept > Set > TGT > jupiter >
- Choisir le mode Two Plane.

@ confirme que les plans sont alignés.

Respecter la date d'arrivée :

MNU > MOD > + pour MJD > MNU > Course >

Indexer MJD > Set > 44063.936 >

Tin ≈ 59.47M, Tot ≈ 17.966k & PeA ≈ 0.982AU.

Préparation de IMFD 1 :

- MNU > PG > 0 > pour coupler avec IMFD 0.
- Orbit-Eject > Course > PRJ pour Self >
- Next > Off-Axis >
- Trois fois Prv > TEj > Adj-10x >
- Minimiser dV à ≈ 7.034k pour TEj ≈ 3.8k.
- PG > BV (BT ≈ 493.8s) > AB > BV >

(87 secondes de moins que pour le lancement vers Jupiter décrit p21 mais ici les plans sont alignés) Il reste 69.4 % de Fuel (Sur HUD $V \approx 13.85k$)

- Passer en 100000 x.
- Attendre l'affichage de Have a nice voyage.

LE GRAND TOUR - 1



27

1^{ère} correction en approche de Jupiter. IMFD de droite :

MNU > Map > TGT > jupiter > Dsp > Cnt > x > PG > Soi > Sel pour Ref Jupiter > PG > Z+.

IMFD de gauche : PG > Src > x >

- PG > Prv pour Indexer Target Intercept > + pour avoir le menu > Planet Approach > Set >
 - REF > jupiter > TGT > e > (Pour Ecliptic) >
 - Pet Optim > MJD > Set > 44063.936 >
 - Indexer Eql > Set > 0 > ($\approx 1.599^\circ$) >
 - Indexer PeA > Set > 71.4M > PG > BV >
 - À BT mini ≈ 71.2s > Reprendre Eql > AB.
- (PeT passe à ≈ 18.16M, il reste 64.7 % de Fuel)

2^{ème} correction approche de Jupiter.

MFD de droite :

- SEL > Orbit > REF > jupiter >
 - Attendre l'influence de Jupiter à G 0.20 >
 - SEL > Interplanetary > Revenir à Map >
 - TGT > saturn > Vérifier Ref Saturn (weak) >
- On note un PeA » 3.121AU bien éloigné.

PG > Plan pour afficher la route calculée >

MOD 3 fois > Accuracy > Set > 1 > MOD >

IMFD de gauche :

- Indexer Eql > Set > 0 > ($\approx 0.618^\circ$) >
 - Pet Manual > MJD > Set > 44063.936 >
 - Ajuster PeA sur Jupiter dans Course pour minimiser PeA calculé pour Saturne à droite.
 - Ajustement pointilleux, finir en Adj-1x.
 - On arrive à PeA pour Saturne ≈ 54.68G parfait avec PeA ≈ 890.9M sur le module Course.
 - PG > BV (BT ≈ 89.36) > Plan > AB >
- PeT annoncé ≈ 73.19M (Il reste 59.2 %)

LE GRAND TOUR - 2

A: Grd TR



28

MFD de droite :

- **SEL** > **Orbit** > Attendre **G 0.51** en Soi > **Augmentation de 0V avec Sling-Shot.**

IMFD de gauche :

- **Indexer** **Planet Approach** > + pour le menu >
- **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **saturn** >
- Vérifier **Src jupiter** ainsi que **Ref Sun** >
- Choisir **Off plane** > *Respecter la date :*

- 2 x **PRV** pour indexer **MJD** > **Set** > **44841** >

MFD de droite : • **SEL** > **Interplanetary** >

- **MNU** > **Sling-shot** > **Course** est imposé.

- Choisir **Pro-grade**.

- Attendre que **BT** soit minimal ≈ 28.78 secondes.
Tin annoncé fait 69.511M avec un dV » 481.7 avec comme PeA prévu » 767.5M.

- **AB** > **BV**. (Il reste 57.4 % de Fuel)

Corrections en route pour Saturne.

- **Attendre** d'être sortie de la Soï de Jupiter avec une valeur inférieure à **G 0.2** sur **Orbit** MFD.

IMFD de droite :

- **MNU** > **Map** > **TGT** > **saturn** > **PG** > **Cnt** > **x** > Vérifier **Ref Sun** > **Z+** à convenance.

IMFD de gauche : • **PG** > **Src** > **x** >

- **PG** > **Prv** pour **Indexer** **Target Intercept** > + pour avoir le menu > **Planet Approach** > **Set** >

- Choisir **REF** > **saturn** > **TGT** > **e** >

- Indexer **Eql** > **Set** > **0** ($\approx 9.67^\circ$) >

- Indexer **PeA** > **Set** > **101M** >

- **Pet Optim** > **MJD** > **Set** > **44841** >

- **PG** > **BV** > **Attendre** **BT** min ≈ 35.1 s vers un **PeT** d'environ 20.6 M > **AB**.

- PeA** annoncé ≈ 427.3 M (Il reste 55.2 %)

LE GRAND TOUR - 3

29

Deux autres corrections en route :

PeT	BT	PeA	Fuel
15M	≈ 8.35 s	≈ -28.15 M	54.7%
10M	≈ 5.1 s	≈ 47.91 M	54.4%

MFD de droite :

- **SEL** > **Orbit** > **Attendre G 0.51** en Soi > **Augmentation de 0V avec Sling-Shot.**

IMFD de gauche :

- **Indexer** **Planet Approach** > + pour le menu >
- **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **uranus** >
- Vérifier **Src Saturn**, **Ref Sun** et **Off plane**.

Respecter la date de rapprochement :

- Indexer **MJD** > **Set** > **46454.67** >

MFD de droite :

- **SEL** > **Interplanetary** > **MNU** > **Sling-shot** > Choisir **Pro-grade** > (**Course** est imposé)

Tin respecté fait 141.5M avec un dV » 107.7 et un BT » 6.258 secondes pour un PeA » 106M.

- **AB** > **BV**. Il reste 54.0 % de Fuel.

- **MNU** > **Map** > **Cnt** > **saturn** >

On respecte le **PeA** de 105M et la date **MJD 44841.2237** suite à un vol de 4 années.

Mais on ne va pas assez vite.
Quand on va **Escape Vector** : **interceptor ov 10.62k** l'orbite d'**Uranus iv 14.66k** en **P** elle sera trop loin (≈ 9.575 AU) sur sa trajectoire. Il nous faut donc accélérer avec les moteurs.

LE GRAND TOUR - 4

30

Corrections en route pour Uranus.

- **Attendre la sortie de la Soï de Saturne** >
- **REF** > **uranus** > **PG** > **Cnt** > **uranus** > **TGT** > **e** > Vérifier **Ref Uranus** > **Z+**.

IMFD de gauche : • **PG** > **Src** > **x** >

- **PG** > **Indexer** **Target Intercept** > + > **Planet Approach** > **Set** > **REF** > **uranus** >

- **TGT** > **e** > **Eql** > **Set** > **0** ($\approx 74.8^\circ$) >

- **PeA** > **Set** > **107M** > **Pet Optim** > **MJD** >

- **Set** > **46454.67** > **PG** > **BV** >

- Attendre **BT** min ≈ 4.8 s à **PeT** ≈ 62.5 M > **AB**.
PeA annoncé ≈ 10.74 G (Il reste 53.7 %)

Quatre autres corrections en route :

PeT	BT	PeA	Fuel
40M	≈ 21.49 s	≈ 1.996 G	52.4%
20M	≈ 10.8 s	≈ 264.7 M	51.7%
10M	≈ 2.46 s	≈ 121.2 M	51.6%
2M	≈ 1.70 s	≈ 107.1 M	51.5%

PeT ≈ 1.3 M : Arrivée en Soi à **MJD 46454.3582**.**Augmentation de 0V avec Sling-Shot.****IMFD de gauche :**

- **Indexer** **Planet Approach** > + pour le menu >
- **Target Intercept** > **Set** > **TGT** > **neptune** >
- Vérifier **Src Uranus**, **Ref Sun** et **Off plane**.

Respecter la date de rapprochement :

- Indexer **MJD** > **Set** > **47762** >

MFD de droite :

- **MNU** > **Sling-shot** > Vérifier **Pro-grade** > (Le mode **Course** est imposé)

Tin respecté fait 114.1M avec un dV » 595.1 et un BT » 33.64 secondes pour un PeA » 74.92M.

- **AB** > **BV**. Il reste 49.4 % de Fuel.

LE GRAND TOUR - 5