

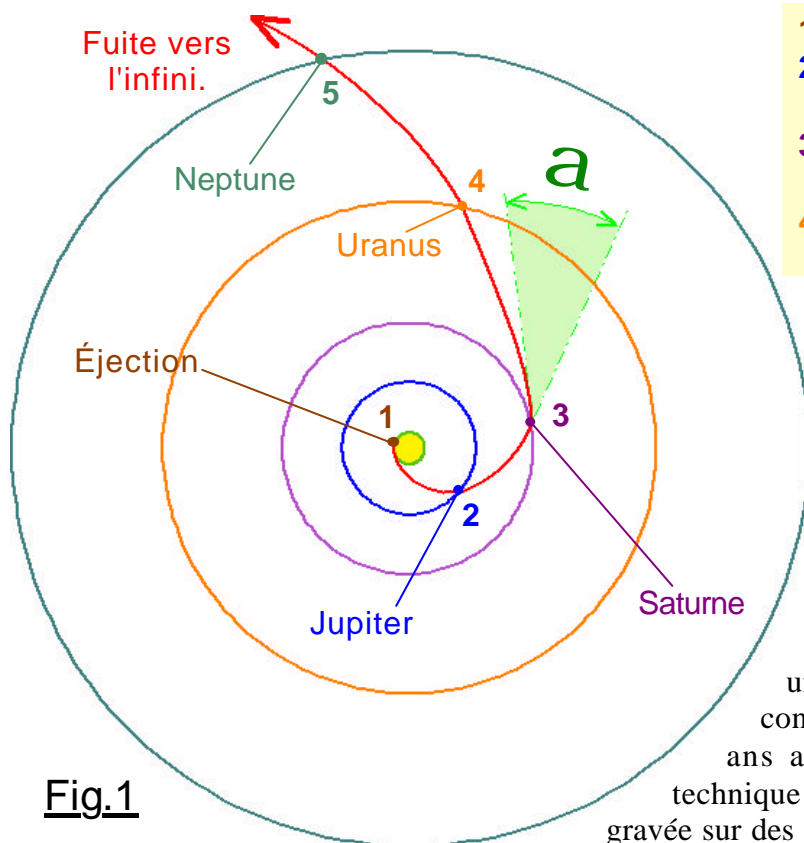
## Cerise sur le gâteau : Le vol historique de Voyager 2.

**P**roposer un manuel de vol interplanétaire sans qu'il y figure cette prouesse de l'astronautique serait à la limite du scandaleux. Un peu comme si Léonard avait peint la Joconde sans ses lunettes !!! Accompagnant ces deux manuels, vous disposez des scènes de départ pour tous les vols détaillés dans le livret d'utilisation d'IMFD. Le GRAND TOUR y figure, vol qui sera pour nous l'occasion d'effectuer de nombreuses frondes gravitationnelles, des **Sling-Shot** comme le disent les initiés. Pour ne pas avoir à installer de complément, c'est toujours avec le Delta Glider de base que je vous embarque pour ce long périple. En outre, ne changeant pas de monture, on pourra effectuer une comparaison avec un tir direct vers Neptune sur une trajectoire économique de type HTO et comprendre à quel point c'est un exploit.

**S**achant que nous allons simuler le vol réel en respectant au mieux les dates de rapprochement ainsi que les distances de survol, cette virée exige 12 années de croisière. Avec une accélération temporelle de 100000-x on va consommer pas mal de temps sur l'ordinateur. Bien naturellement, il importe de sauvegarder souvent, car on risque fortement de "louper" un passage critique. Pour vous faciliter la vie, outre la situation de départ vous trouverez onze autres situations intermédiaires pour ce vol, en particulier quand on approche de la **Soi** des différentes planètes visitées.

### PLAN DE VOL HISTORIQUE :

**N**otez au passage que pour réussir un tel voyage en profitant à chaque planète visitée du phénomène de fronde gravitationnelle, il faut une configuration très particulière des géantes gazeuses. Un alignement si spécial qu'il ne se reproduit que toutes les 176 années. On comprend que lorsque cette conjoncture si favorable s'est présentée en 1977, les scientifiques et les décideurs budgétaires ont fait un effort considérable pour profiter de cette opportunité si rare. Voyager 2 a rempli sa mission au delà de toutes les espérances et a engendré une moisson de découvertes d'une richesse rarissime pour une seule sonde. Pour se rendre compte de l'aspect fabuleux de cette expérience, la Fig.1 montre à l'échelle les trajectoires des divers astres visités. Tout au centre, le petit cercle vert rempli de jaune correspond à l'orbite de la Terre. (On est vraiment peu de chose !) Puis le cercle bleu trace la route de Jupiter. Entre les deux se trouve Mars, mais oubliée car non concernée par notre explorateur. En rouge est représentée la route de notre infatigable voyageur. Ensuite il y a inflation sur les distances. Détaillons un peu le plan de vol :

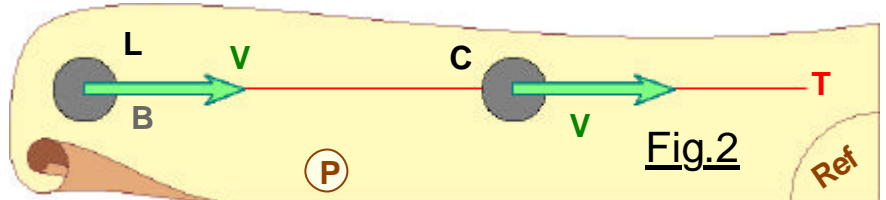


- 1) Départ : 20/08/1977 : MJD 43375.59
- 2) Visite de Jupiter : 9/07/1979 :  
MJD 44063.936 avec effet de fronde.
- 3) Visite de Saturne : 25/08/1981 :  
MJD 44841.00 avec effet de fronde.
- 4) Visite d'Uranus : 24/01/1986 :  
MJD 46454.67 avec effet de fronde.
- 5) Visite de Neptune : 24/08/1989 : MJD  
47762.00 et passage à 39790 km de Triton.

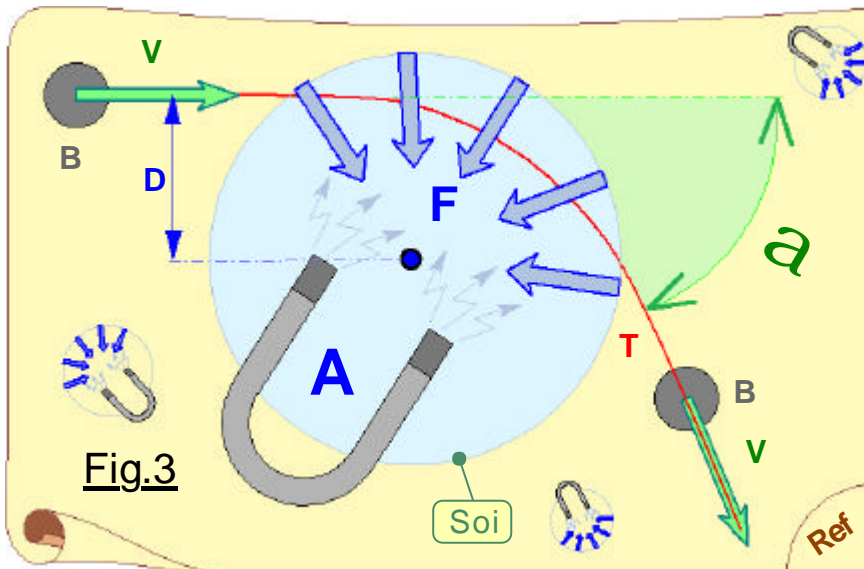
Clone de Voyager 1, Voyager 2 a été lancée sur une trajectoire plus lente et plus courbée, pour la maintenir dans le plan de l'écliptique. Ainsi, elle a pu être dirigée vers Saturne Uranus et Neptune avec une cascade d'utilisations d'assistances gravitationnelle lors de leurs survols. En 2010 cette sonde a couvert depuis la Terre une distance colossale de 21 milliards de km et continue à envoyer des données scientifiques 33 ans après son lancement, admirable exploit technique réalisé à l'époque où la musique était encore gravée sur des disques "microsilons" en vinyle.

## L'ASSISTANCE GRAVITATIONNELLE ... C'EST QUOI AU JUSTE ?

Fondamentalement c'est un phénomène relativement simple à comprendre mais bien utile pour économiser les précieux carburants de nos sondes spatiales, voir un retour gratuit comme l'a démontré le vol Apollo 13 ou utilisé à maintes reprises pour la sonde ROSETTA actuellement en mission vers son dernier objectif en 2014 : la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. (Voir le document [Tuto sur les Belles de nuit](http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=tutorials) téléchargeable sur <http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=tutorials>) Nous allons raisonner sur un exemple simple, celui de la Fig.2 sur laquelle est représentée en jaune une feuille de papier **P** posée à plat. En **L** on lance proprement une petite bille en acier **B** qui n'étant pas perturbée roule tout droit et conserve sa vitesse initiale **V**. Durant sa croisière **C**, sur la feuille de papier **P** on trace en rouge la trajectoire **T**. Cette page devient par convention notre référence **Ref**. Plaçons pour un

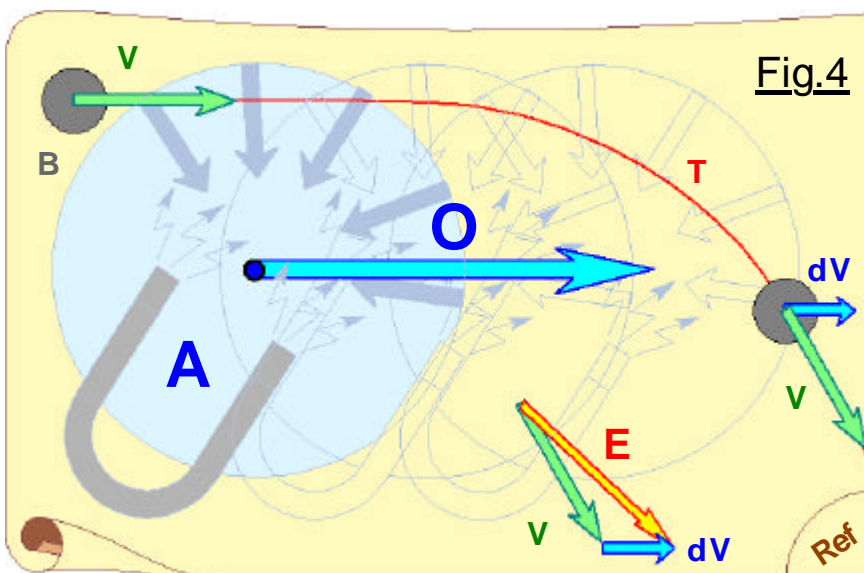


deuxième lancé un élément attracteur pas trop loin de sa trajectoire initiale **T**. Un aimant **A** par exemple. L'attraction vers ce dernier est fonction de sa "force" **F** et de la distance **D**. La Fig.3 montre qu'en pénétrant dans la zone d'influence de l'aimant, la bille étant attirée voit sa trajectoire infléchie. La déviation **a** sera d'autant plus importante que l'aimant présente une grande force **F** et que la bille passe proche de lui. La **sphère d'influence** (Soi pour nos vols balistiques) représente le secteur dans lequel c'est **A** qui domine,



car rien ne nous interdit de placer d'autres aimants plus loin. Mais trop faibles ou bien trop éloignés de **T** ils n'influencent pas la trajectoire de **B**. Il importe de noter que dans ce test, seule la courbure de la trajectoire **T** a été influencée, la bille **B** poursuit avec une vitesse **V** inchangée en grandeur. Mais nous avons tous compris que pour notre sonde spatiale, l'élément attracteur n'est pas un aimant, mais une planète. L'attraction gravifique est universelle, ce qui exprime le fait que la force **F** s'exerce quelle que soit la nature de la bille. Acier, aluminium ou nougat, peu importe. Par contre, dans

l'Univers rien n'est stable, tout bouge, tout se déplace. En particulier l'élément attracteur prépondérant qui domine la zone avec sa **Soi**. La Fig.4 nous montre cet aimant gravitationnel **A** qui se déplace avec sa vitesse orbitale **O** par rapport à la référence **Ref**. Pour notre sonde, **Ref** représente l'astre par rapport



auquel on veut construire la trajectoire. Comme on veut aller de Jupiter à Saturne par exemple, c'est le Soleil. Pendant toute la phase du vol se situant dans la **Soi**, le vecteur vitesse **V** va être infléchi et tourner, courbant la trajectoire. Mais étant simultanément "aspiré" par la planète qui se déplace, elle emprunte alors au pôle attracteur une petite fraction **dV** de sa vitesse orbitale **O** mesurée par rapport à **Ref**. Quand la sonde quitte la **Soi**, elle possède alors par rapport à **Ref** la vitesse déviée **V** à laquelle s'ajoute **dV**. Dans notre exemple, **dV**

a pour effet d'augmenter la grandeur de la vitesse d'éjection **E**. C'est précisément cette **variation de grandeur et le changement d'orientation du vecteur vitesse** qui constitue l'**assistance gravitationnelle**, nommée aussi effet de fronde. L'avantage, c'est que l'on peut modifier ces deux paramètres sans rien consommer en carburant, **il suffit de passer au bon endroit par rapport à la planète visitée**.

Utiliser cette assistance gratuite est d'autant plus souple que l'on peut à convenance utiliser l'attraction de la planète rencontrée aussi bien pour augmenter la grandeur du vecteur vitesse que pour la diminuer. Si on veut fuir vers l'extérieur et **partir "plus loin"**, il faut augmenter la vitesse orbitale par rapport à la référence **Ref**. Au contraire, si on désire **revenir vers notre zone de départ**, il faut diminuer cette célérité orbitale. La Fig.5 montre en **A** que pour augmenter la vitesse, il faut contourner la planète **par l'arrière** en considérant sa vitesse orbitale **O**. En procédant à un passage en mode **PROGRADE**, la vitesse **V** de la sonde est orientée dans le même sens que celui de **O**. En repartant, **dV** s'ajoute à **V** et **E** sera plus importante. C'est précisément le cas quand on veut s'éloigner de plus en plus de la référence **Ref** (Dans notre cas le Soleil) pour visiter les contrées lointaines. Le GRAND TOUR utilise trois fois en cascade cette technique.

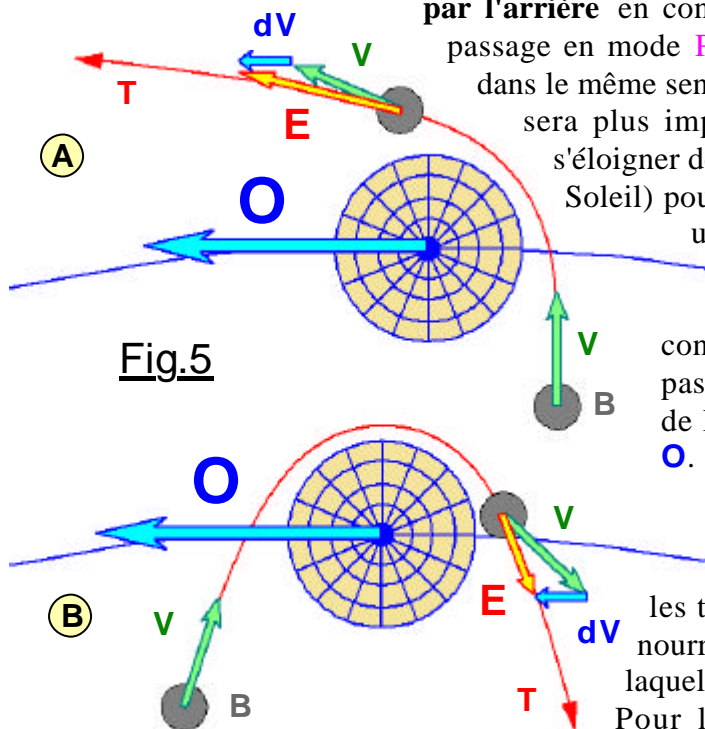


Fig.5

La Fig.5 montre en **B** que pour diminuer la vitesse, il faut contourner la planète **par l'avant** en considérant sa vitesse orbitale **O**. En procédant à un passage en mode **RETROGRADE**, la vitesse initiale **V** de la sonde est orientée dans le sens opposé à celui de **O**. En repartant, **dV** se retranche à **V** et **E** sera plus faible. C'est précisément le cas quand on veut retomber vers la référence **Ref**. L'exemple typique est celui des vols vers la Lune pour lesquels on étudie les trajectoires par rapport à la Terre. C'est notre globe nourricier qui sert alors de référence **Ref** et par rapport à laquelle on prend en compte la vitesse orbitale relative **O**. Pour la mission Apollo 13, c'est cet effet de fronde

gravifique qui a sauvé l'équipage et provoqué le retour sur la lancée sans avoir à remettre en route les moteurs orbitaux devenus douteux suite à l'explosion d'une pile à combustible. Si vous avez simulé cette mission sur AMSO par exemple, vous avez pratiqué le Sling-Shot sans le savoir.

## RÉSUMÉ sur l'assistance gravitationnelle.

- Quand un vaisseau passe à proximité d'une planète, elle courbe sa trajectoire en diminuant le rayon de courbure vers son centre de gravité.
- Quand un vaisseau passe à proximité d'une planète en se rapprochant par l'arrière, la grandeur de sa vitesse orbitale sera augmentée. L'approche est dite **PROGRADE**, le vaisseau aura tendance à **s'éloigner plus de l'astre de référence**.
- Quand un vaisseau passe à proximité d'une planète en se rapprochant par l'avant, la grandeur de sa vitesse orbitale sera diminuée. L'approche est dite **RETROGRADE**, le vaisseau aura tendance à **revenir vers l'astre de référence**.

**APPROCHE PROGRADE** : C'est un rapprochement qui se fait avec une **vitesse propre** qui se trouve dans le **même sens que celle de la planète visitée** en déplacement sur son orbite.

**APPROCHE RETROGRADE** : C'est un rapprochement qui se fait avec une **vitesse propre** qui se trouve dans le **sens opposé à la vitesse orbitale de la planète visitée** en déplacement sur son orbite.

**ASTRE DE RÉFÉRENCE** : C'est l'**objet du système solaire par rapport auquel on désire construire une trajectoire**. Fondamentalement, c'est l'**objet attracteur prépondérant** qui maintient **dans la zone concernée de l'Univers les différents objets qui nous concernent**.

**Influence de l'assistance gravitationnelle** : La courbure de la trajectoire et la variation de la grandeur du vecteur vitesse du vaisseau seront d'**autant plus importantes** que l'**astre visité est MASSIF** et que l'on passe à une **distance D faible**.



## ANNÉE 1977, LE MOMENT DE LANCER EST ARRIVÉ :

L'observation de la Fig.1 montre qu'au survol de chaque planète il y a modification de la trajectoire suivie par la sonde, mais c'est à la rencontre de Saturne que la déviation **a** est maximale. Ce choix est facile à comprendre. On peut constater sur la Fig.6 que l'orbite d'Uranus est bien plus grande, la distance à franchir et par voie de conséquence le temps pour l'arpenter augmente.

De ce fait, Uranus sera interceptée bien plus en "avant" sur son orbite, il faut donc viser avec anticipation. Par ailleurs, elle nous devance un peu sur son orbite, il faut compenser ce déficit temporel en augmentant la vitesse. On procèdera donc à des corrections de trajectoire, mais après que la déviation **a** soit effective. On effectuera des manœuvres une fois éloigné de Saturne. On retrouve également cette configuration quand quittant Uranus on se lancera éperdument vers la lointaine Neptune.

*Hé ... Nul tout ... l'HEURE TOURNE, tu va louper la fenêtre de tir si tu continue à en tartiner des pages et des pages !*

**OUPS !** (OK les copains, on y va sans plus tarder)

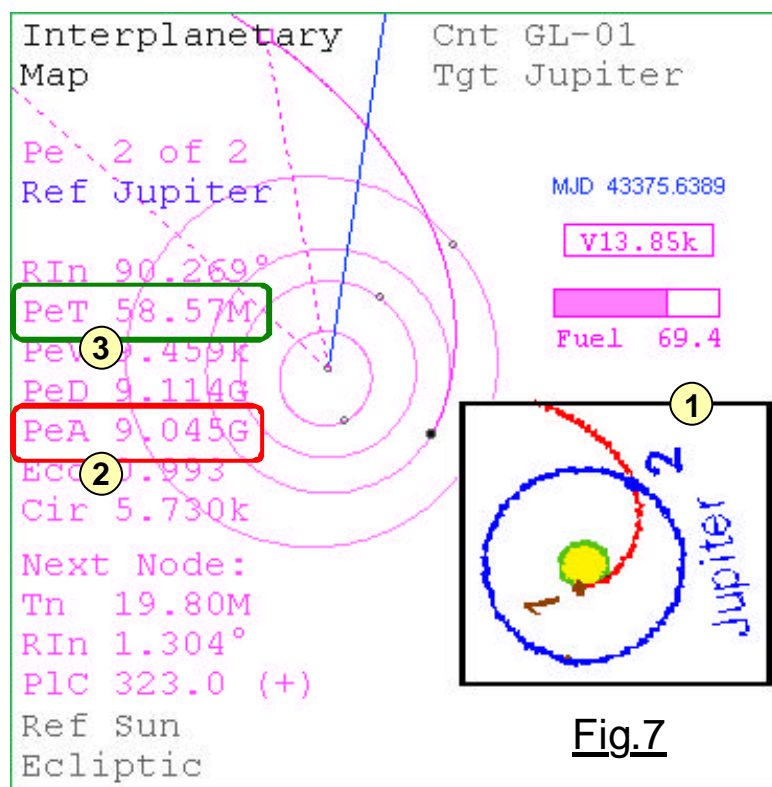
Chargez la situation **Voyager Grand Tour.scn** cachée dans le répertoire **<LE GRAND TOUR>**. Ouvrez le manuel de pilotage

Utilisation de IMFD 5.5 à l'onglet **A : Gr Tr** et c'est parti pour le voyage vertigineux. Par contre, si vous frappez dans l'ordre exact les commandes données dans la check-list et si vous respectez approximativement les valeurs que je vous donne, le succès de la mission est assuré. Pour s'éjecter, on constate qu'il faut une vitesse orbitale de 13.85 Km/s, bien plus que les 11km/s qui correspondent à la vitesse de libération pour notre monde nourricier. La vitesse de libération est pour un astre celle qu'il

faut atteindre ou dépasser pour lui échapper et s'en éloigner définitivement.

La Fig.7 ci-contre correspond à la situation intermédiaire **Save 01.scn** affichée par la fonction **Map** d'IMFD. On vient juste d'effectuer le lancement. Une fois l'éjection réalisée, on s'éloigne du sol, un peu comme un caillou lancé en l'air avec une grande vitesse. Il monte, mais toujours attiré par l'attraction gravifique sa vitesse diminue. Si on n'a pas lancé assez fort, elle finit par s'annuler à l'apogée de sa trajectoire puis il retombe. Mais si au lancement on a dépassé la vitesse de libération, il part pour toujours, de moins en moins rapidement certes, mais de plus en plus loin.

On voit que la trajectoire de notre Delta Glider ressemble étrangement en **1** à l'extrait de la Fig.1 qui pour la circonstance a été "tourné" pour présenter la même orientation que sur **Map**. On observe en **2** que si l'on ne fait rien, on va passer très loin de notre cible Jupiter. (Target **Tgt Jupiter**) La fonction

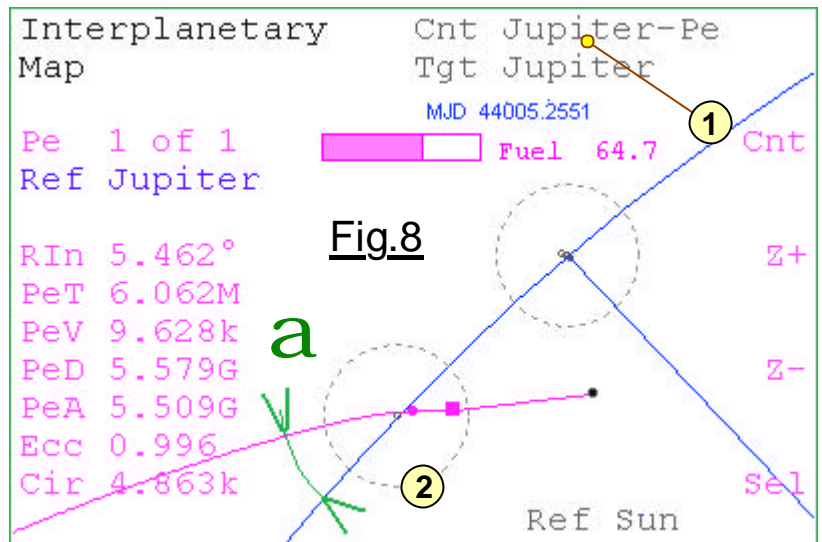


**Map** précise que la valeur de PeA sera de 9.045G que nous n'atteindrons que dans 58.57M (En **3**) soit environ 668 jours. Loin signifie entre autre que nous ne bénéficierons pas de l'effet de fronde tant souhaité. Il faut donc effectuer des corrections de trajectoire une fois en croisière assez loin de la Terre.

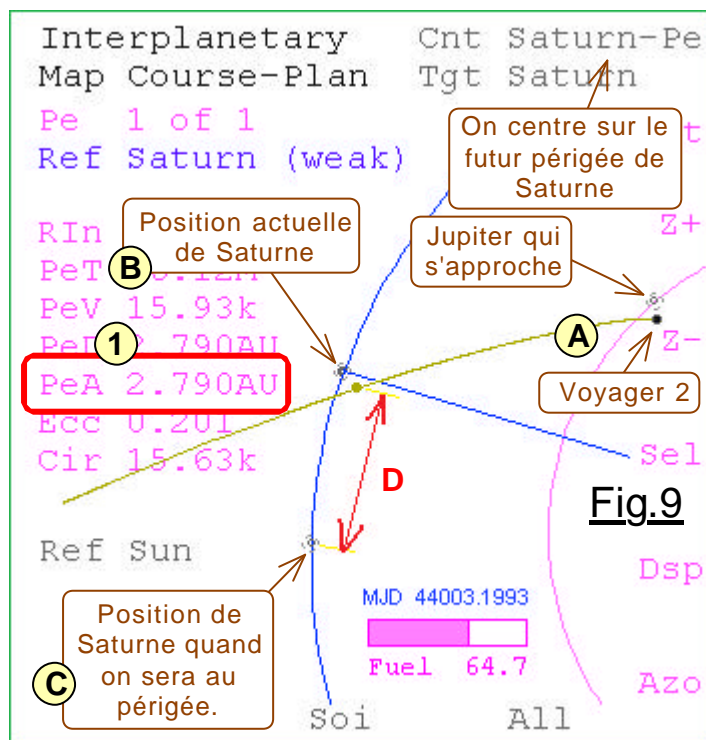
Hors de sa **Soi**, c'est maintenant le Soleil qui maintient dans son environnement les planètes de notre contrée. **Comme il ne s'agit** plus de partir d'une zone d'attraction, mais **de se faire attirer par une autre Soi**, ce n'est plus la fonction **Target Intercept** qui est utile, mais **Planet Approach** qui est **dédiée pour un tel calcul**. ATTENTION, c'est le Soleil qui par son attraction construit maintenant notre trajectoire. On pourrait penser que c'est lui qu'il faut prendre en référence pour effectuer les calculs de trajectoire. Et bien non ! **Lors de l'utilisation du module Planet Approach il faut**

**impérativement indiquer comme REFérence la planète ciblée.** TGT en fait (Pour lequel on peut choisir Ecliptic, Equator, Reference ou GEO) permet de définir le plan par rapport auquel on va imposer une inclinaison orbitale **EqI**.

Pour effectuer notre première correction de trajectoire, on va attendre que la valeur du temps de combustion passe par un minimum de l'ordre de 75 secondes. La situation intermédiaire **Save 02.scn** nous situe juste après cette première correction de trajectoire. Puis on attendra de se rapprocher de Jupiter pour commencer à subir son influence. La Fig.8 est réalisée quand **G** avoisine **0.20**. On voit en **1** que l'on centre **Map** sur le futur périégée calculé de notre orbite. On constate également en **2** que par l'influence de la planète massive et de son passage à proximité, l'attraction



très importante va courber de façon significative (Angle **a**) notre orbite représentée par rapport au soleil. (**Ref Sun**) Conformément aux instructions du petit livret on procède à la deuxième correction en approche



de Jupiter. Cette correction de trajectoire consiste à adopter un angle d'approche de Jupiter qui par effet de fronde gravitationnelle diminuera la valeur du périégée sur Saturne. Considérons la Fig.9 qui résume les données pertinentes. En **1 Course** nous informe que la distance minimale sera de 2.790AU. Le temps que nous passons de notre position actuelle **A** à l'approche de la trajectoire de Saturne, ce dernier sera passé de **B** en **C**. Quand on sera au plus proche de notre cible, Périégée repéré par le cerple plein sur notre orbite, on se trouvera à la distance **D** évaluée à 2.790AU.

L'optimisation consiste à **modifier la valeur du périégée sur Jupiter** de façon à en modifier l'effet de fronde. On regarde alors sur **Map** ce que devient la valeur du **périégée sur Saturne**. Quand on a trouvé le minimum, on ne peut pas faire mieux, il faut alors engager notre pilote automatique avec la commande **AB**. La technique consiste à augmenter ou diminuer **PeA**

sur **Course** et d'observer la trajectoire prédictive tracée en bleu de façon à ce que l'écart **D** soit le plus faible possible. Après avoir finement cherché ce minimum, on arrive à une valeur de 54.68G. (0.37AU) La manœuvre exige 89.36 secondes de fonctionnement des moteurs.

**ATTENTION : Les valeurs numériques** qui sont données dans ce document et surtout **affichées par IMFD** peuvent varier de façon importante en fonction de la précision des calculs. Pour ma part j'ai forcé la précision des calculs au maximum : Sur **Map**, cliquez 3 fois sur **MOD**, indexez **Accuracy** puis donnez la valeur **1** pour forcer la valeur (**Max**). Encore une fois **MOD** pour revenir à la carte.

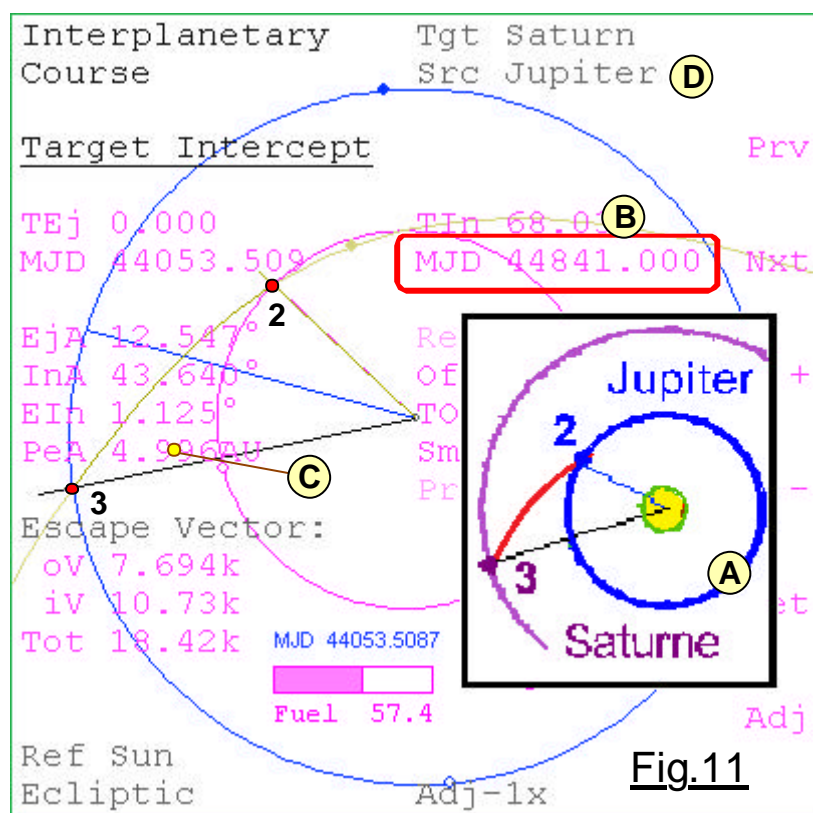
La situation intermédiaire **Save 03.scn** nous place juste après cette correction. La Fig.10 présente l'affichage de **Map** quand on vient de procéder à cette deuxième manœuvre. Notez au passage que pour cette visualisation on a demandé de centrer le graphe sur Jupiter. Comme nous avons saisi Saturne en **1** comme Référence (Pe 1 of 1) les valeurs orbitales données en **2** sont relatives à cette planète.

Avant brûlure dans les ajustements fins sur **Course** reproduits dans l'encadré **3** on obtenait en **4** de **Map** un **PeA** pour Saturne  $\approx 54.65G$  très convenable, pour un effet de fronde obtenu à

un **PeA**  $\approx 890.9M$  pour Jupiter. Notez au passage qu'en imposant **EqI** > **Set** > 0 pour rester dans l'écliptique, **Planet Approach** ne peut pas faire mieux que  $0.655^\circ$  comme il nous prévient en **5**.

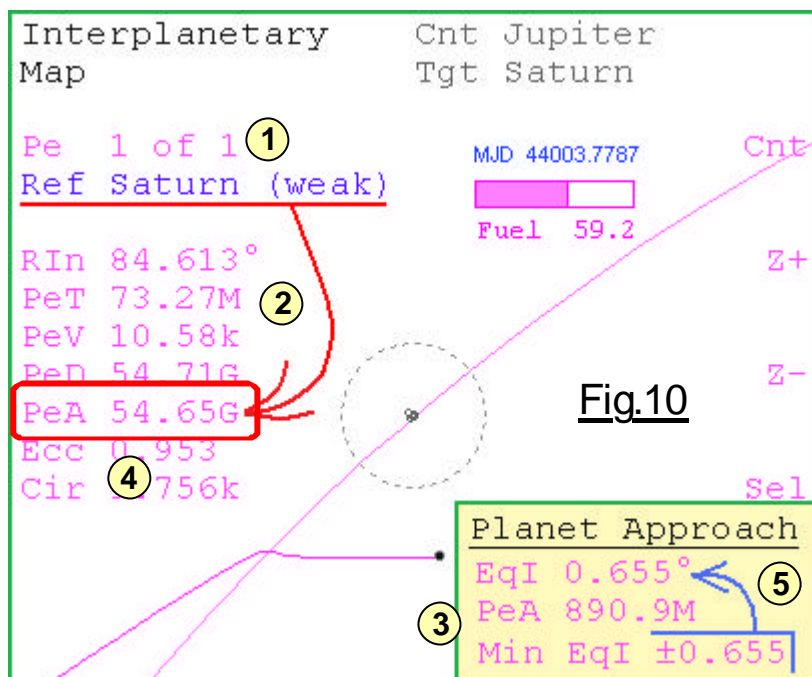
**C** onformément au plan de vol, il faut sans plus tarder passer à la modification de trajectoire pour améliorer l'éjection et profiter au mieux de l'assistance gravitationnelle aux abords de Jupiter. Procédez exactement comme suggéré dans le petit livret et vous devriez obtenir après cette manœuvre des résultats globalement semblables à ceux représentés en Fig.11 sur laquelle dans le petit encadré **A** on retrouve la portion concernée de **2** vers **3** relative à la Fig.1 réorientée pour comparaison. Observez en **B** que l'on impose à la fonction

**Sling-Shot** du MFD de droite de respecter la date d'arrivée sur Saturne. Il ne reste plus qu'à passer en vue extérieure et admirer la géante ovale et le ballet de ses satellites. Au début on est loin, et les satellites ne sont que des pixels qui se trémoussent autour de l'astre principal. À 10000-x d'accélération temporelle, c'est un spectacle unique, il faut vraiment sortir de la navigation, oublier un peu IMFD et contempler. Vous disposez de la situation intermédiaire **Save 04.scn** enregistrée juste après la mise à feu de **Sling-Shot**



autour de la planète locale. On n'en a pas tenu compte, donc le calcul de la route suivie sera faux. Pas vraiment. Imaginez que vous vous placiez au centre du Soleil, (C'est chaud ça comme proposition !) en regardant vers Jupiter, vu la distance gigantesque le vaisseau serait constamment confondu avec le pixel de la géante gazeuse. Il en possède donc la vitesse puisque confondu en permanence. Du reste pour vous en convaincre, un autre raisonnement peut être effectué. Quand on circule en orbite autour de la Terre, si on ne fait rien on va y rester durant des lustres. Donc, comme au cours du temps on demeure constamment dans la banlieue terrestre, c'est bien que vu du Soleil on possède une vitesse identique.

(Au fait, ça vaut combien de secondes un lustre ?)





**Retenez que lorsque l'on se trouve en capture d'un astre et que l'on veut le quitter, c'est la vitesse du corps attracteur qui doit être prise en compte.**

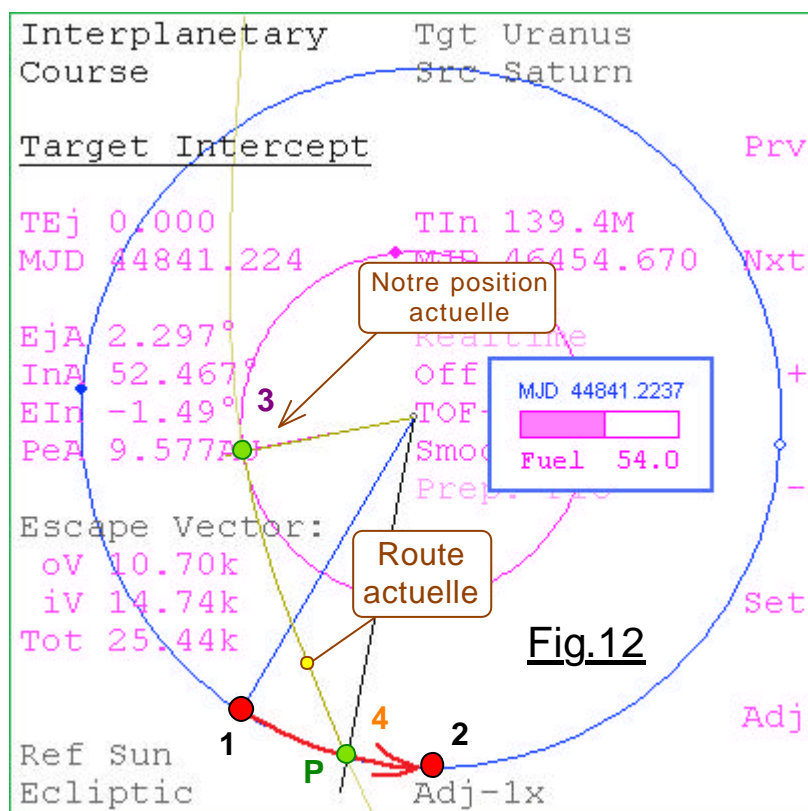
La suite de notre périple va se résumer à recommencer plusieurs fois :

- 1) Corrections en route pour approcher de la planète avec **Planet Approach**. Pour cette phase du plan de vol **Src** est le vaisseau et **REF** la cible visée.
- 2) Éjection anticipée avec la fonction **Target Intercept** car on veut quitter la zone et aller visiter un autre corp. Pour cette phase **Src** pour le calcul est l'astre qui nous piège et que l'on veut quitter. Du coup pour piloter le vaisseau habituellement on utilise le module **Orbit-Eject** car une planète ne possède pas de moteur. Mais comme dans notre cas on veut de plus bénéficier de l'opportunité d'un effet de fronde, c'est le module spécifique **Sling-Shot** qui se substitue à **Orbit-Eject**.

**C'**est reparti pour notre long périple. ATTENTION : Il est probable que vous n'allez pas effectuer le vol complet en une seule petite soirée, donc vous sauvegardez assez souvent, ou vous reprenez l'aventure en récupérant les scènes intermédiaires de Nulentout. Sachez que la valeur **(Max)** imposée à **Accuracy** (manipulation de l'encadré en page 5) n'est pas sauvegardée. IMFD redémarre à chaque fois avec (Med) la précision moyenne. La première action quand vous réinvoquez **Map** consiste alors à réitérer cette configuration pour que les valeurs indiquées sur mes copies d'écran puissent ressembler à celles que vous obtiendrez "en temps réel".

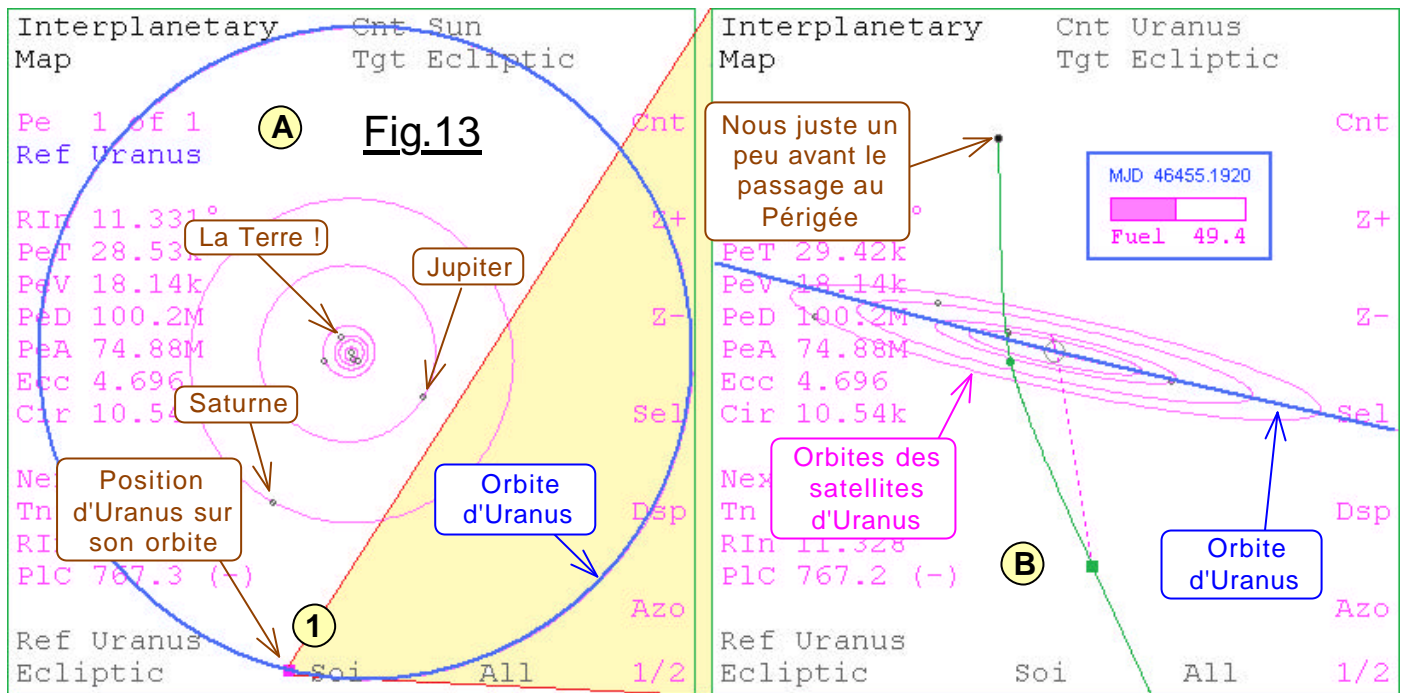
**P**assez en vue extérieure et accélérez le temps. Pour ceux qui prendront la précaution de consulter **Orbit MFD** pour surveiller le passage à proximité de Jupiter, l'écran d'orbiter affiche MJD 44064.36 soit à peine une journée de retard sur l'histoire après deux années de croisière.

Conformez-vous au plan de vol et réalisez les trois corrections de trajectoire qui doivent nous amener sur l'élégante Saturne. La scène **Save 05.scn** est enregistrée juste après la première correction de trajectoire quand **BT** vient de passer au minimum. Puis **Save 06.scn** immortalise notre pénétration dans la Soï de Saturne. La situation intermédiaire **Save 07.scn** est enregistrée juste après la mise à feu de **Sling-Shot** qui va nous faire passer avec une bonne précision à l'altitude historique avec en outre un respect parfait de la date prouvant qu'IMFD est un outil magique. Contemplez sans limite l'ombre de la planète sur les anneaux. Pouvoir se refaire en différé ce film est un privilège. Un don unique des programmeurs géniaux qui ont créé cet Univers virtuel si beau. Mais n'oubliez-pas ensuite de réinitialiser **Accuracy** à **(Max)**. La Fig.12 représente l'écran de **Target Intercept** juste après la manœuvre d'ajustement de la fronde gravitationnelle. On va entreprendre la portion 3 vers 4 de la Fig.1 durant cinq années de solitude. Uranus se trouve actuellement en 1. Quand on va intercepter son orbite au point **P**, elle se sera déplacée jusqu'en 2. On ne va pas assez vite, on peut constater sur **Map** qu'entre **P** et 2 il y aura une distance importante et

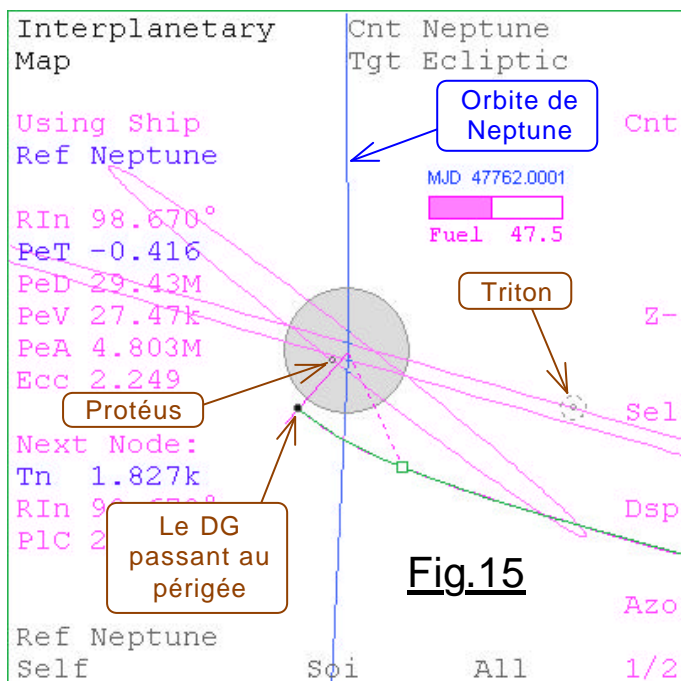
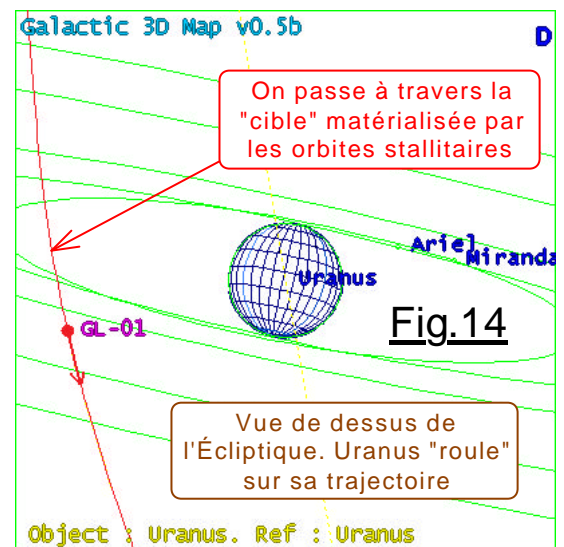


qu'il faut augmenter notre vitesse si on veut respecter le plan de vol. C'est précisément le but des cinq corrections de trajectoires proposées dans le livret de mission. La scène **Save 08.scn** est enregistrée juste après avoir effectuée la dernière correction de trajectoire. Puis, conformément au plan de vol on pénètre dans la Soï d'Uranus et l'on réalise l'éjection en mode **Sling-Shot** qui nous place dans les conditions de **Save 09.scn**. On admire alors notre vaisseau qui approche l'étrange astre bleu à 100.2M avec moins d'une journée de retard sur l'horaire historique suite à un long voyage d'un lustre et quatre années. Magnifique démonstration de rigueur de notre simulateur favori.

Profitons de ce rapprochement d'Uranus pour en commenter les particularités. La Fig.13 nous montre le système solaire vu de dessus. (Le plan de l'Écliptique servant de référence aux projections) **Page 7**



En **A** nous avons une vue d'ensemble du système solaire avec mise en évidence en bleu de l'immense orbite d'Uranus. En **1** le tout petit carré représente la position actuelle d'Uranus. En faisant un grand ZOOM sur ce "minuscule domaine" on obtient la représentation **B** dans laquelle l'orbite d'Uranus est toujours en bleu, et notre trajectoire est repérée en vert. On est toujours en vue de dessus par rapport à l'Écliptique. En rose on observe les orbites des satellites de ce monde étrange. Non, elles ne sont pas si allongées, mais comme elles se trouvent très inclinées par rapport au plan de projection elles semblent très plates. On en déduit que cette inclinaison du plan satellitaire est un cas bien particulier. En fait ces orbites sont pratiquement circulaires et placées dans le plan équatorial de la planète centrale. En outre, si on utilise **Galactic 3D map** l'incontournable MFD de notre Ami **Tofitouf**, on peut constater sur la Fig.14 qu'Uranus elle même tourne autour d'un axe très penché. On peut presque dire qu'elle roule sur l'Écliptique. Voici déjà neuf années que notre sympathique Voyager 2 brave la solitude glaciale du vide sidéral. Il faut lui faut



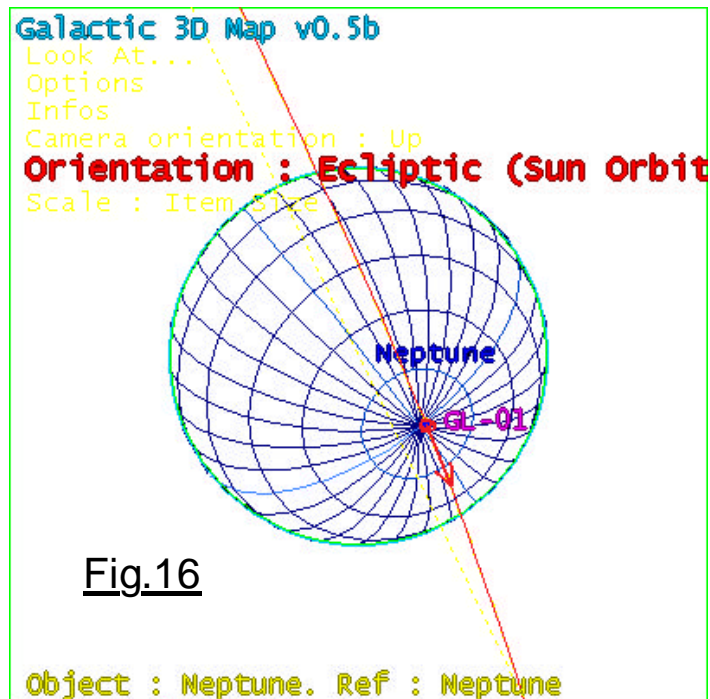
continuer sa courageuse expédition. Mais nous sommes désormais dans la routine. Attendre pour s'éloigner de la Soï Uraniennne, corrections de trajectoires. Le train train en somme !

Notez au passage que si on demande un **Eql** à **Planet Approach** de 90° c'est pour passer au pôle Nord de Neptune conformément à la réalité. La scène **Save 10.scn** capte notre pénétration dans la Soï de notre ultime destination, quand à la situation **Save 11.scn**, elle immortalise notre passage au périgée de la mystérieuse Neptune.

La Fig.15 signe notre arrivée exactement au périgée de ce petit monde lointain. On arrive exactement à la date historique et passons discrètement avec 4.803M de périgée. C'est l'apothéose par un respect total des paramètres du vol réel. La trace bleue représente l'orbite de Neptune qui pratiquement se confond avec l'écliptique. Les orbites des satellites,



**PARTICULARITÉS DE NEPTUNE** : Son plan équatorial est fortement incliné sur l'écliptique. Deux de ses satellites sont remarquables : Triton qui gravite sur une orbite assez inclinée et dans le sens rétrograde et Nereid qui orbite sur une ellipse très allongée et fortement inclinée.

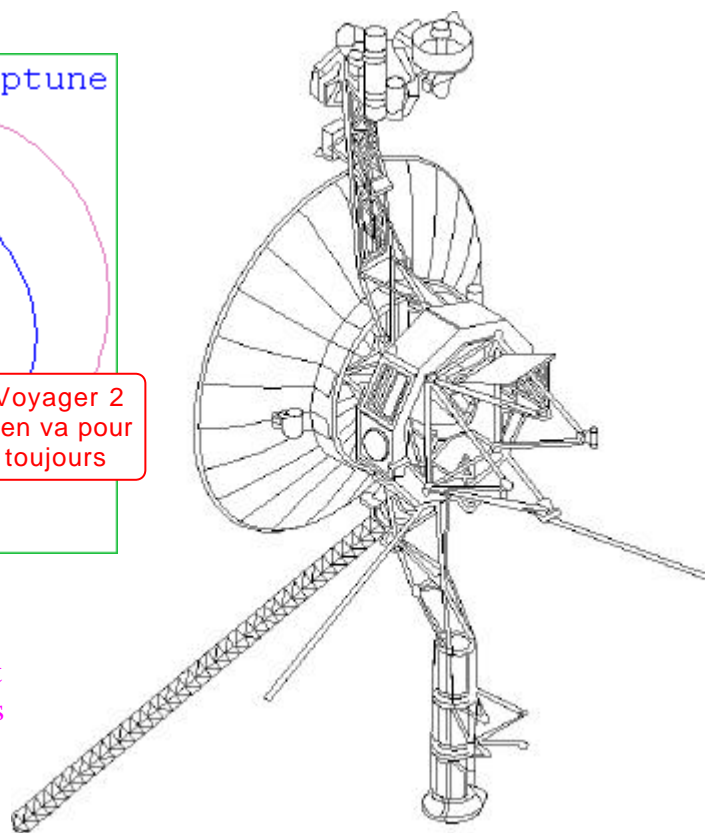
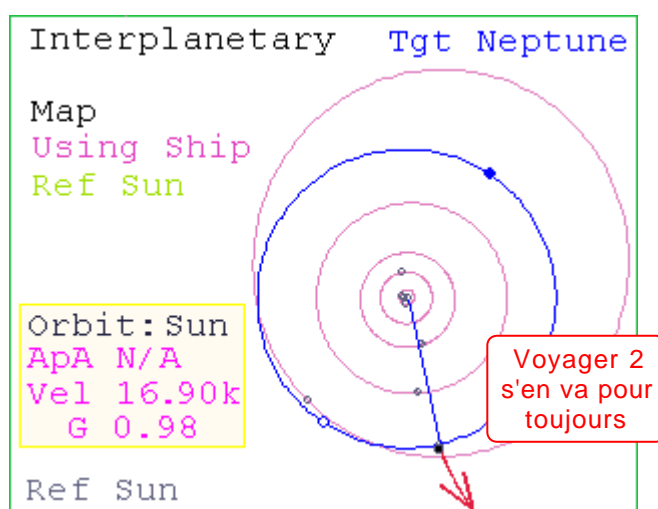


comme c'était le cas pour Uranus sont très inclinées. Remarquez au passage la taille non négligeable de la SoI de Triton. La Fig.16 toujours avec **Galactic 3D map** nous montre parfaitement la survol du pôle Nord de cette planète. Comme il n'y avait plus d'autres planètes possibles à visiter sur la lancée et que les réserves de carburant étaient loin de la pénurie il fut décidé de visiter Triton ce qui justifia un passage par le pôle Nord. Depuis cette contrée lointaine le Soleil est minuscule, à peine plus lumineux que les étoiles de la voûte céleste. Les ondes radio mettent plus de 12 h pour nous parvenir.

Passant aux environs de Triton, Voyager 2 possède par rapport au Soleil une vitesse de 28.85k, bien plus que la célérité de libération. La sonde s'est donc sauvée définitivement vers d'autres mondes,

ambassadrice des humains emportant avec elle un peu de ce qu'ils sont capables de créer de meilleur ...

Pour ceux qui désirent effectuer cette remarquable mission avec un vaisseau plus réaliste, en allant sur [http://www.orbithangar.com/search\\_quick.php?text=voyager+2](http://www.orbithangar.com/search_quick.php?text=voyager+2) vous pouvez télécharger une très belle réalisation des sondes voyagers, ADD\_ON animés de surcroit.



**Lustre : Nom masculin.**

Durée équivalente à 5 années terrestres soit environ 31536000 secondes que certains esprits chagrins convertissent en 31,536M.



Réalisé par Nulentout  
le Ven. 18 Fév. 2011

Ben môamôa, chaque fois que j'ai lancé la bouboule en acier elle a fait klok et s'est collée sur l'aimant !