

Pourquoi oser un tel document relatif à IMFD ?

Préfendre apporter de nouvelles explications claires et plus pertinentes que tout ce que l'on trouve déjà dans les tutoriels existant relève de la vantardise. En particulier, la "Bible" mise en ligne sur le sujet par PAPYREF sera pour encore longtemps une référence incontournable. Ceci dit, force est de constater, il suffit de voir les nombreux sujets sur le site de DAN, que pratiquement tout pilote interplanétaire passe à un moment donné ou à un autre par une phase dubitative durant laquelle les nombreuses fonctions et options d'IMFD s'enchevêtrent avec confusion. Ayant victorieusement effectué le vol X du "Tutoref", on y croit. On se concocte alors une scène de départ pour le vol d'initiation personnel, et c'est parti pour la mise en pratique de tout ce que l'on a avalé goulument. Et PAFFFFF, c'est la déconvenue. On ouvre **Planet Intercept**, on donne les informations que l'on pense pertinentes et l'on tourne en rond car la source n'est pas bonne, il refuse notre référence et que sais-je encore. En résumé, on est un peu perdu !

Pourtant les encadrés de synthèse et les résumés proposés dans les tutoriels sont légion. Alors pourquoi éprouvons-nous tous cette difficulté avérée à prendre "de la hauteur" avec ce bel outil qu'est IMFD ? Franchement, je n'en sais fichtrement rien, mais maintenant que je commence à mieux comprendre (**Gasconnade !!!**) les arcanes de ce calculateur incontournable, je crois utile de vous proposer en complément de tout ce qui existe, une vision peut être un peu différente. On va essayer d'adopter une approche progressive dans l'autre "sens", c'est à dire de formuler "**un besoin**" (Ou une envie) et voir à chaque fois comment IMFD est agencé pour **le satisfaire**. Par contre, et j'en suis désolé, il me semble impossible de ne pas commencer par le B à BA, autrement dit : les évidences.

QUI SOMMES-NOUS ?

Glups, voilà que Nulentout va nous pondre un truc Psy maintenant !!! Non, rassurez-vous, je n'ai aucune intention de concurrencer Freud. Toutefois, avant de nous engager dans les vols interplanétaires il me semble salubre de bien résumer ce que l'on désire faire, et à quoi on veut aboutir. Vous allez constater qu'IMFD est précisément organisé dans cette optique, du moins c'est ma conviction. Considérons la Fig.1 qui schématise à outrance toute Activité Humaine Prudente. Par "PRUDENTE" on doit traduire : **VÉRIFIER** en permanence. Notez au passage que : **PRÉPARER** se fait au **présent**, mais **conditionne l'avenir**. (Il importe donc de ne pas "s'égarer") **AGIR** se fait au **présent**, mais **conditionne aussi le futur**. (Il ne faut surtout pas se tromper) **SUBIR** est relatif à la période d'attente entre avoir agi et obtenir le résultat. En principe les dés sont jetés, mais si **VÉRIFIER** permet de constater une divergence, on peut **CORRIGER** s'il n'est pas trop tard. Dans Orbiter, **SUBIR** peut prendre des durées considérables si on envisage des vols lointains, il est d'autant plus important pour nous de ne pas utiliser de mauvais paramètres dans la préparation et détecter rapidement ce qui ne va pas si c'est le cas. Quand au **BILAN**, il permet après de tirer des conclusions pour l'avenir.



Fondamentalement quel est notre projet quand Orbiter est notre loisir ? De façon simple on peut formuler : **PARTIR D'UN ASTRE POUR ALLER VERS UN AUTRE EN UTILISANT LA BALISTIQUE KÉPLÉRIENNE COMME MOTEUR PERMANENT. EN SITUATION INITIALE ON SE TROUVE EN ORBITE AUTOUR DE L'ASTRE DE DÉPART, EN SITUATION FINALE ON ORBITE AUTOUR DE L'ASTRE CIBLÉ.** Cette assertion exclue les lancements en orbite et les atterrissages avec pénétration atmosphérique ou non. Je crois pouvoir affirmer qu'IMFD est spécifiquement développé pour nous permettre de **PRÉPARER**, d'**AGIR** et de **VÉRIFIER**. On va détailler les fonctions spécialisées dans ces phases de notre projet de voyage interplanétaire.

Tout "marin" qui désire traverser un océan doit posséder :

- A) Un navire qui lui permet de réaliser son voyage.
- B) Des cartes pour préparer sa route et la tracer en temps réel. (Plus une calculatrice)
- C) Des moyens de pouvoir en permanence se situer sur l'océan.
- D) Des moyens pour diriger convenablement son navire et de le faire avancer.

Seule grande différence avec notre navigateur hauturier, **notre moteur permanent** ne sera pas le vent dans des voiles, mais **la gravitation universelle**. Désolé, mais je dois en parler un peu.

LA GRAVITATION UNIVERSELLE : UN MOTEUR GRATUIT !

Pas de panique les copains, je vais faire bref, le juste ce qu'il faut pour introduire une notion incontournable : Ce que je nomme dans mes documents personnels l'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT**. Cette notion est tellement importante dans la navigation interplanétaire qu'il me semble indispensable de la clarifier un minimum. Dans cette parenthèse nous allons traiter de **VOL BALISTIQUE**, c'est à dire **SANS UTILISATION DES MOTEURS DU VAISSEAU** qui évolue uniquement en fonction des influences de son environnement. Considérons Fig.2 **A** un mobile qui serait totalement seul dans l'espace sidéral. Comme par hypothèse il n'utilise aucun moteur, sa vitesse ne change pas. Elle conserve sa grandeur et sa direction. Arrivant de l'infini, il y repart en traçant "par rapport à rien" une ligne droite. (C'est que c'est grand l'Univers !) Par contre, si il passe dans le voisinage d'un "aimant", (Fig.2 **B**) attiré vers le centre d'interaction sa trajectoire va se courber. Pour nous, l'aimant sera en réalité un corps matériel créant dans son environnement proche une attraction universelle de grandeur "sensible".

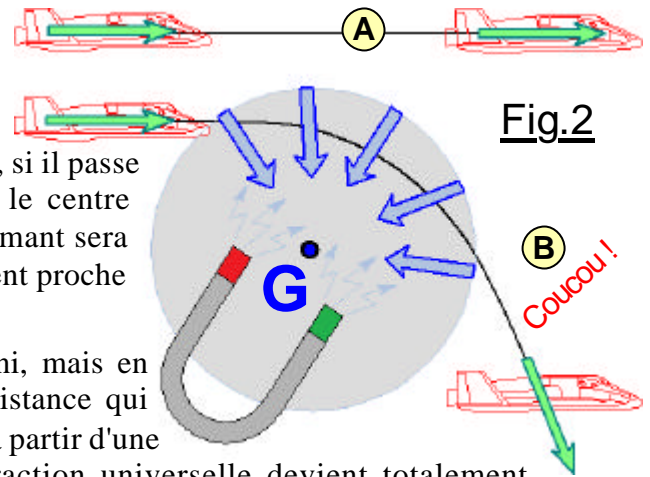


Fig.2

En théorie, l'attraction gravifique va jusqu'à l'infini, mais en réalité le "poids" diminue rapidement avec la distance qui sépare notre mobile du centre **G**. On peut considérer qu'à partir d'une certaine distance qui est fonction de sa masse, l'attraction universelle devient totalement négligeable. Par exemple l'attraction de notre Galaxie se fait sur des distances absolument colossales, mais Andromède bien éloignée n'en ressent strictement rien. Le Soleil pour son compte règne en maître sacrément loin, mais l'étoile polaire en ignore somptueusement notre présence. La Terre aussi veut affirmer sa domination. Son fief va plus loin que la Lune qu'elle se réserve avec égoïsme, pourtant Mars notre voisine ne s'en rend pas vraiment compte et asservi son propre "territoire". En résumé : Chacun veut être le chef, mais la raison du plus fort l'emporte ... dans la région, mais jamais jusqu'à l'infini.

Sous certaines circonstances, il peut arriver que le mobile se fasse piéger sur une trajectoire fermée autour de l'attracteur local. Du coup **on dit qu'il orbite**. Si rien ne vient le faire tomber ou l'éjecter, il peut ainsi tourner "pour toujours". L'attracteur local **G** garde avec lui son satellite et l'emporte dans le vide sidéral. On va ainsi trouver des zones restreintes de l'Univers dans lesquelles resteront "en famille" des corps piégés dans la sphère d'un **attracteur local prépondérant**. **CONCLUSION :**

- L'Univers est composé de vide dans lequel on trouve très isolés des groupements locaux.
- Par rapport à l'Univers (Façon d'exprimer simpliste) tous les éléments d'un groupement local possèdent une vitesse identique puisqu'ils restent définitivement ensemble.

QUELQUES EXEMPLES :

- * Notre Galaxie est un groupement local très grand qui réunit et garde avec elle beaucoup, beaucoup, très beaucoup de systèmes planétaires éloignés les uns des autres. Ce nombre colossal de "familles" tourne autour d'un centre de gravité commun qui les garde prisonnières et les emporte dans la fuite du BIG BANG.
- * Notre système solaire constitue un groupement local minuscule piégé par l'attracteur local prépondérant constitué de notre étoile bienfaitrice. Il garde pour lui les planètes et les astéroïdes et nous emmène dans la Galaxie. Pour la Galaxie, tout ce petit monde dérisoire possède la même vitesse.
- * Des planètes comme la Terre, (Cette manie de toujours se sentir les plus importants !) comme Saturne ou comme Jupiter forment chacune une petite tribu locale. L'astre Attracteur Local Prépondérant tel que Saturne, Jupiter ... ainsi que ses satellites ont tous une vitesse identique par rapport au Soleil.
- * Notre vaisseau orbitant autour de Triton devient un membre du clan Pluton. Vu de l'attracteur local prépondérant Pluton il possède la même vitesse que le satellite Triton.

On voit que dans ces exemples, la notion de **groupement local** devient de plus en plus restreinte, mais **chaque individu hérite de ce qui est plus grand que lui** et qui le "piège". Traduction :

- > Triton nous emporte autour de Pluton : Par rapport à Pluton notre vitesse est "tritonienne".
- > Pluton gravite autour du Soleil : Par rapport au Soleil nous avons la vitesse de Pluton.
- > Le Soleil gravite dans la Galaxie : Par rapport à la galaxie on a sa vitesse, mais on s'en moque vu que l'on va rester dans le giron du Soleil !

CONCLUSIONS IMPORTANTES :

- Quel que soit le vol envisagé, nous allons **tracer une route à l'intérieur d'une zone** restreinte **dans laquelle domine un attracteur local prépondérant**.
- **Le moteur** qui "courbera" en permanence notre route repérée par rapport aux éléments du groupe local sera la **gravitation universelle** résumée à des astres considérés comme des **attracteurs ponctuels** sans volume concentrés en un leur centre de gravité **G**. Il en résulte des **trajectoires Képlériennes**.
- Quand on va vouloir étudier une trajectoire, et ce sera forcément dans un domaine "localisé", elle sera construite par rapport à l'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT**, c'est lui qui sera pris comme **REFérence** et qui influencera la courbure de notre route képlérienne.

LA PAROLE AUX MINORITÉS :

Bien que conditionnant globalement notre trajectoire, l'attracteur local principal n'impose pas pour autant sa dictature. Les astres lointains exercent discrètement leur influence. Par voie de conséquences, la belle courbe théorique (Ellipse, hyperbole) prédite par la mécanique Képlérienne va lentement évoluer. Il en résulte trois points à ne pas oublier :

- Un outil comme **Orbit MFD raisonne au présent**. C'est à dire qu'il "photographie" la position actuelle des astres du système solaire, en déduit leur influence et trace la trajectoire Képlérienne.
- Comme les astres se déplacent au cours du temps, certains se rapprochent et augmentent leur influence, d'autres s'éloignent et se font oublier. Notre trajectoire du moment se modifie donc constamment.
- Un outil comme **Orbit MFD** n'est donc pas fiable pour prédire l'avenir. Ce n'est pas parce qu'il affirme que **PeA** sera faible qu'il en sera ainsi et réciproquement.
- Une aide comme **Planet Intercept** d'IMFD au contraire investit dans l'avenir. Elle est précisément conçue pour tenir compte des évolutions planétaires et **prédit** une trajectoire pour **le futur**. La trajectoire affichée en bleu sera en principe réellement suivie ... avec comme imprécisions de prédétermination les innombrables imprécisions de calcul effectuées par notre ordinateur au cours du vol. Chaque déplacement calculé engendre une infime petite erreur, mais cumulées par "MÉGAbeaucoup" elles finissent par faire diverger la route suivie. C'est la raison pour laquelle nous devons effectuer des corrections en route.

LES FONDEMENTS D'UN VOL INTERPLANÉTAIRE :

Encore un truc qui ne parle pas directement d'IMFD ! C'est promis, ce sera le dernier, mais après tout ce fatras vous allez voir à quel point IMFD est facile à apprivoiser. Allez les copains, encore un dernier petit effort. Bon, c'est parti, et pour la circonstance on regarde la Fig.3 qui résume un plan de vol interplanétaire complet en précisant les paramètres incontournables que nous devons bien comprendre pour ensuite jongler avec aisance dans les multiples fonctions de notre calculateur.

Par hypothèses le lancement sera effectué à partir d'une orbite stabilisée autour de l'attracteur prépondérant **G**. On désire atteindre en **A** notre **CIBLE** en suivant la trajectoire rouge choisie par nous à l'avance. Au moment du lancement en **L** on possède la vitesse initiale **Vo** par rapport à l'attracteur local prépondérant qui va servir de **REFérence** pour exprimer les trajectoires, les positions, les vitesses etc. En donnant à IMFD nos contraintes, (Durée du voyage, date de lancement, moment d'arrivée ...) le "calculateur interplanétaire" va déterminer la distance que va parcourir notre cible sur son orbite verte entre sa position **D** au moment de notre départ et sa position à notre arrivée en **A** au moment de l'interception. Puis, des

RÉVISIONS : TRAJECTOIRE KÉPLERIENNE.

C'est une courbe suivie par un mobile qui se trouve attiré par un **attracteur ponctuel G**. (G parce-que l'interaction est le fait de la Gravitation Universelle) L'**attirance** est **inversement proportionnelle au carré de la distance** qui le sépare le mobile de **G**. (Deux fois plus proche, quatre fois plus grande) Dans ces conditions on démontre que la route suivie ne peut être qu'une droite, une ellipse ou une hyperbole. (Le cercle n'est qu'une ellipse particulière dont les deux foyers sont confondus) On démontre également que **G** est forcément situé à l'un des foyers de ces courbes. (Ou sur la droite si la trajectoire est rectiligne.)

équations seront tirée l'orientation et la grandeur du vecteur vitesse d'éjection **VE** nécessaire. La différence entre **VE** et **Vo** constitue la variation de vitesse **dV** à imposer à notre vaisseau en **L** pour effectuer la manœuvre de lancement. Les angles d'orientation par rapport à notre trajectoire actuelle au point **L**, et la grandeur de **dV** seront ensuite passés au pilote automatique qui prendra en charge les caractéristiques du vaisseau pour procéder à l'éjection. Pour ces différents calculs, IMFD tient compte de la direction et de la grandeur du vecteur attraction universelle fonction de notre position sur la trajectoire et représenté en bleu sur la figure 3. Notez au passage que la vitesse initiale **Vo** à prendre en compte pour la prédiction de la trajectoire est nommée **SOURCE** dans IMFD. La condition de réussite pour nos programmes de missions interplanétaires réside dans la rigueur avec laquelle nous désignerons les fondamentaux **REF**érence, **SOURCE** et **CIBLE**. Nous avons maintenant tous les éléments pour aborder posément IMFD. Retrouvons notre navigateur qui désire s'aventurer en mer sidérale.

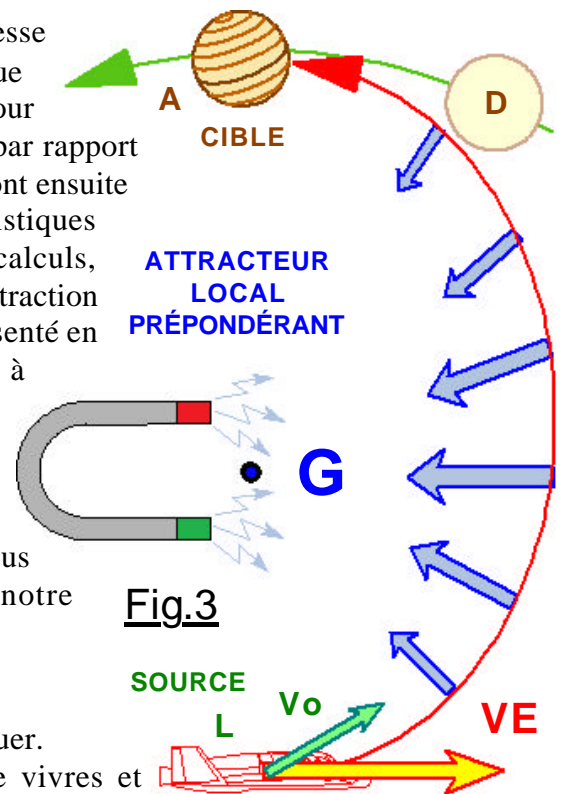


Fig.3

A) Un navire qui lui permet son voyage.

C' est la première condition à satisfaire avant d'embarquer. Le vaisseau utilisé doit pouvoir emporter assez de vivres et d'oxygène pour parer les besoins de l'équipage durant tout le voyage. Si on utilise le DG de base comme navire, pas de problème vu qu'il ne gère pas ce type de contrainte. Par contre, si on embarque sur un vaisseau de type DG IV il en sera tout autrement. Quel que soit le vaisseau, dans tous les cas son autonomie en carburant devra s'avérer suffisante. N'espérez pas aller sur Mars et en revenir avec une Navette par exemple. En conclusion, **VÉRIFIER** sera incontournable avant d'amorcer une très longue croisière qui à 100000x peut prendre plusieurs heures. Facette du vol pas très facile à traiter, car IMFD nous donne les contraintes de durée de voyage et de combustion pour le lancement, mais on ignore combien il nous en coutera pour se mettre en orbite à l'arrivée. Pour les voyages au long cours, il est peut être préférable de commencer par des vols déjà traités par les copains et d'utiliser leurs paramètres.

B) Des cartes pour préparer sa route et la tracer en temps réel.

P our ce thème IMFD nous gâte. Sa fonction **Map** est d'une convivialité totale. Je ne vais pas vous décrire l'utilisation de ce module, ce n'est pas l'objectif de ce document. Juste quelques remarques pour bien en saisir l'utilité. **Map** est en partie un calculateur. Contrairement à **Orbit MFD**, **il prédétermine à l'avance** ce que va devenir notre trajectoire en fonction de l'évolution des positions planétaires relatives. Le présent est mis à jour en permanence, autant pour la position de tous les astres du système solaire que pour nous situer dans cet espace. Du reste rien ne vous interdit de n'activer IMFD que pour ces fonctions. En conclusion, **Map ne fait que montrer** mais en tenant compte du futur. En particulier, ce module peut visualiser tout ce qui concerne notre mer sidérale : Les trajectoires (Orbites) de tous les objets, les sphères d'influence ainsi que notre trajectoire actuelle. Éventuellement, si IMFD affichant **Map** est couplé à un deuxième IMFD initialisé sur un module de calcul, il est alors possible d'en utiliser les résultats pour visualiser une trace prédictive. Cet affichage du futur n'est que le **report sur cette dernière des prévisions calculées.**

(Plus une calculatrice)

C' est ici que généralement on commence un peu à se heurter aux difficultés, ne sachant quel module utiliser, pierre d'achoppement d'autant plus fréquente que le pilote automatique est couplé aux modules de calcul et que l'on finit par ne plus trop savoir qui fait quoi. Pas de panique, avec tout ce que nous avons digéré dans ce qui précède, au final l'approche de cet aspect des choses va s'avérer finalement presque "naturelle", il suffit d'aborder cette phase avec "logique". Toute mission interplanétaire va être divisée en quatre phases pour lesquelles IMFD nous fournit gracieusement les outils adaptés :

- 1) **Le lancement,** (Non pas au sens de décoller du sol, mais de quitter l'orbite d'attente)
- 2) **Les corrections en croisière,**
- 3) **L'affinage de la trajectoire en approche,**
- 4) **La capture gravitationnelle pour se mettre en orbite autour de la CIBLE.**

1) Le lancement.

Dans tous les cas le **lancement est réalisé** à partir d'une orbite autour d'un astre quelconque, donc **dans** sa **Sphère d'influence**. (La **Soi** sur IMFD et dans les textes) La procédure n'est pas du tout compliquée à comprendre à partir du moment où l'on prend en compte le fait que trois cas typiques sont à considérer, ils se différencient par la nature des trilogies **REF**érence / **SOURCE** / **CIBLE** à prendre en compte.

A) D'une planète mère à une autre ou d'un satellite fils à un autre.

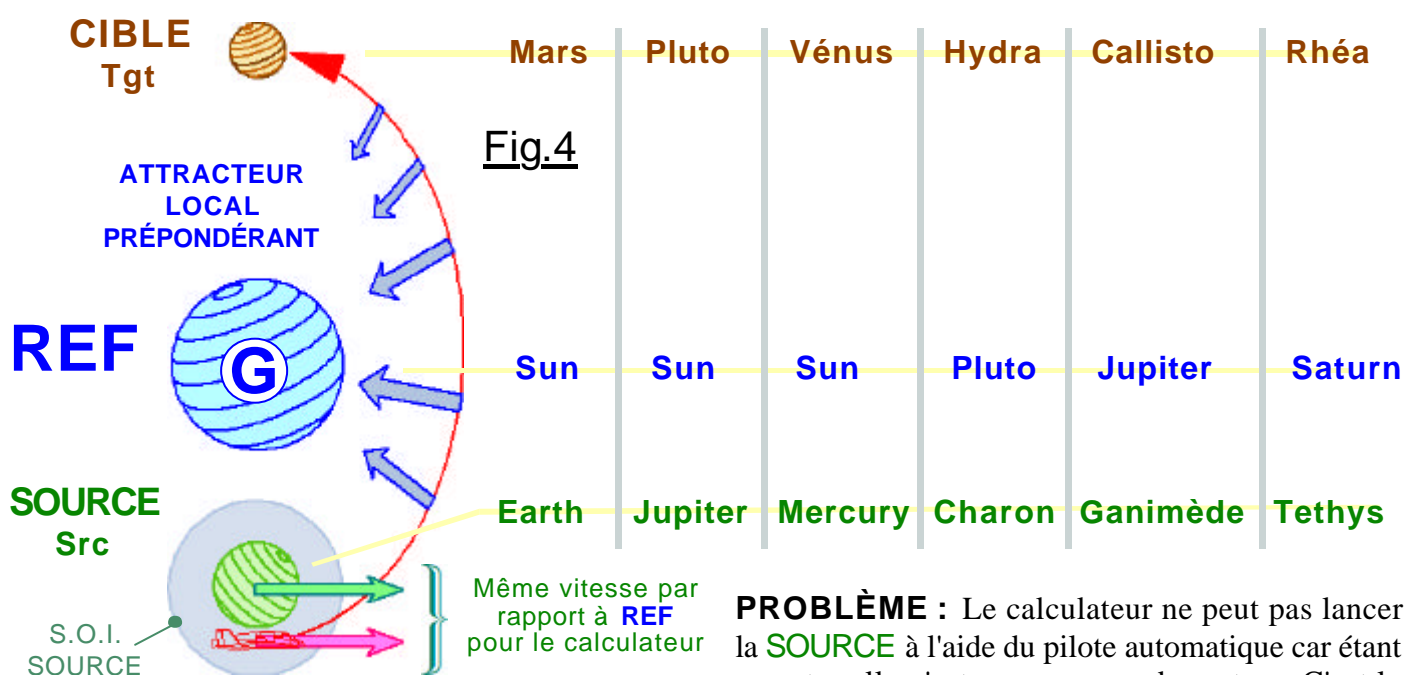
QUELQUES EXEMPLES POUR LES PLANÈTES MÈRES :

- De la Terre à Mars, de Jupiter à Pluton, de Mercure à VÉNUS. On peut partir vers l'extérieur ou vers l'intérieur, mais dans tous les cas c'est le **Soleil** qui représente l'**attracteur prépondérant** qui garde dans son épuisette gravitationnelle les astres cités.

QUELQUES EXEMPLES POUR LES LUNES FILLES :

- De Charon à Hydra (Pluton comme "maman"), de Ganymède à Callisto (Jupiter comme "mère") ou de Téthys à Rhéa avec Saturne pour les couvrir. Dans tous cas c'est la **planète mère** qui représente l'**attracteur prépondérant** qui conserve la cohésion de la famille.

Vu de L'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT** notre vaisseau présente une vitesse identique à celle de la **Soi** dans laquelle il est actuellement piégé. C'est l'astre qui engendre cette **Soi** et auquel on doit échapper qui devra être considéré comme **SOURCE**. L'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT** qui constitue notre moteur balistique sera la **REF**érence pour IMFD.



raison pour laquelle le calculateur devra passer par un module intermédiaire qui connaît les caractéristiques du vaisseau et à qui il transmettra les paramètres d'éjection. Cet aspect est détaillé plus avant.

B) D'une "orbite mère" à un satellite fils.

QUELQUES EXEMPLES :

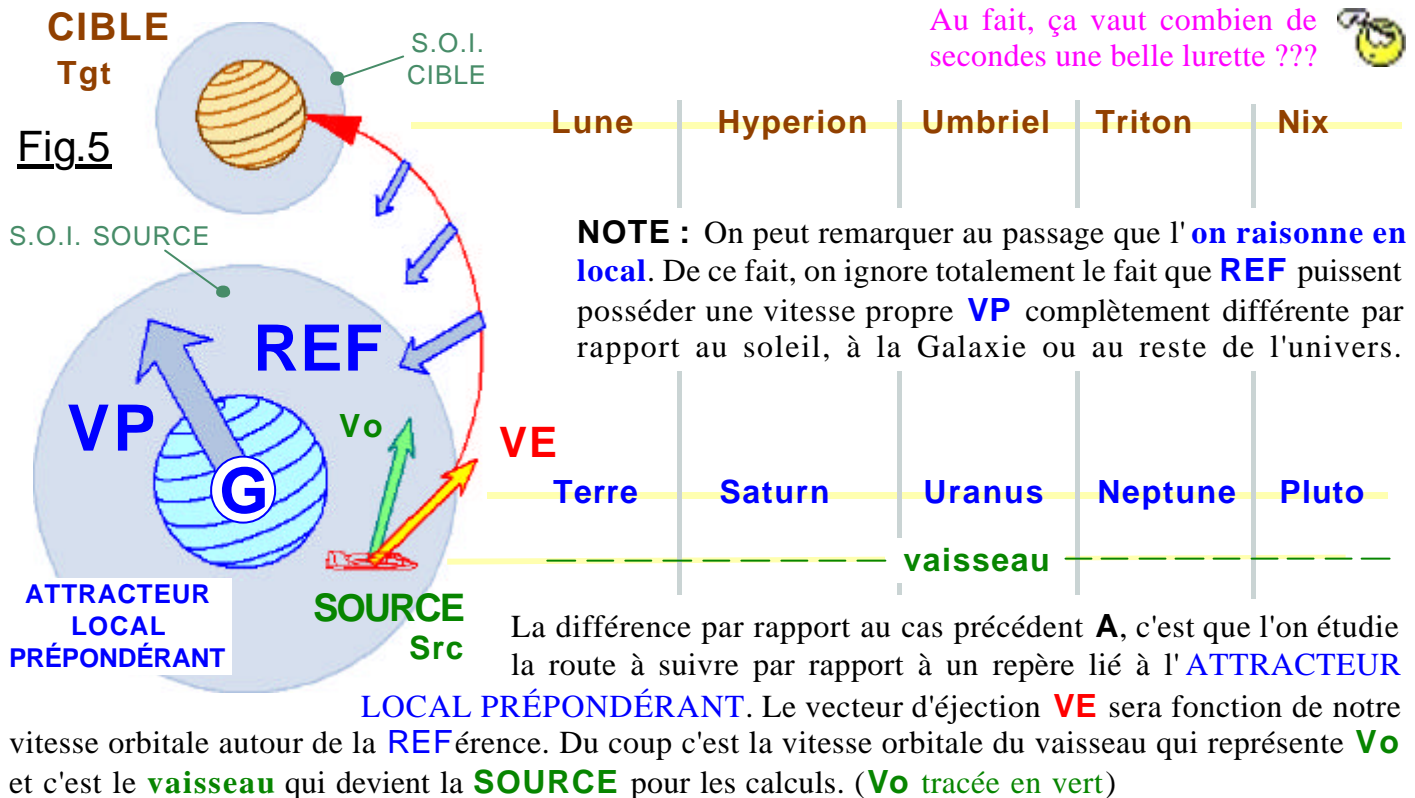
C'est le cas typique d'un départ d'une orbite d'attente vers une Lune de la planète mère. Par exemple les TLI pour se rendre vers la Lune lors des vols Apollo. Mais également la visite d'un satellite d'une planète lointaine, sachant que l'on commence raisonnablement par se placer en orbite primaire de capture à l'arrivée. Puis, une fois en orbite autour de la planète visée, en deuxième phase on transfère la sonde d'exploration vers le satellite local but prioritaire ou secondaire de la mission.

Vols Apollo (Terre vers Lune), orbite basse autour de Saturne vers Hyperion, Uranus vers Umbriel, Neptune vers Triton, Pluto vers Nix.

REMARQUE : Quand on écrit le mot lune avec une lettre minuscule en tête, c'est que l'on fait référence à un satellite planétaire quelconque. Quand on utilise Lune avec une majuscule, c'est que l'on veut désigner l'astre de nos belles nuits d'été.

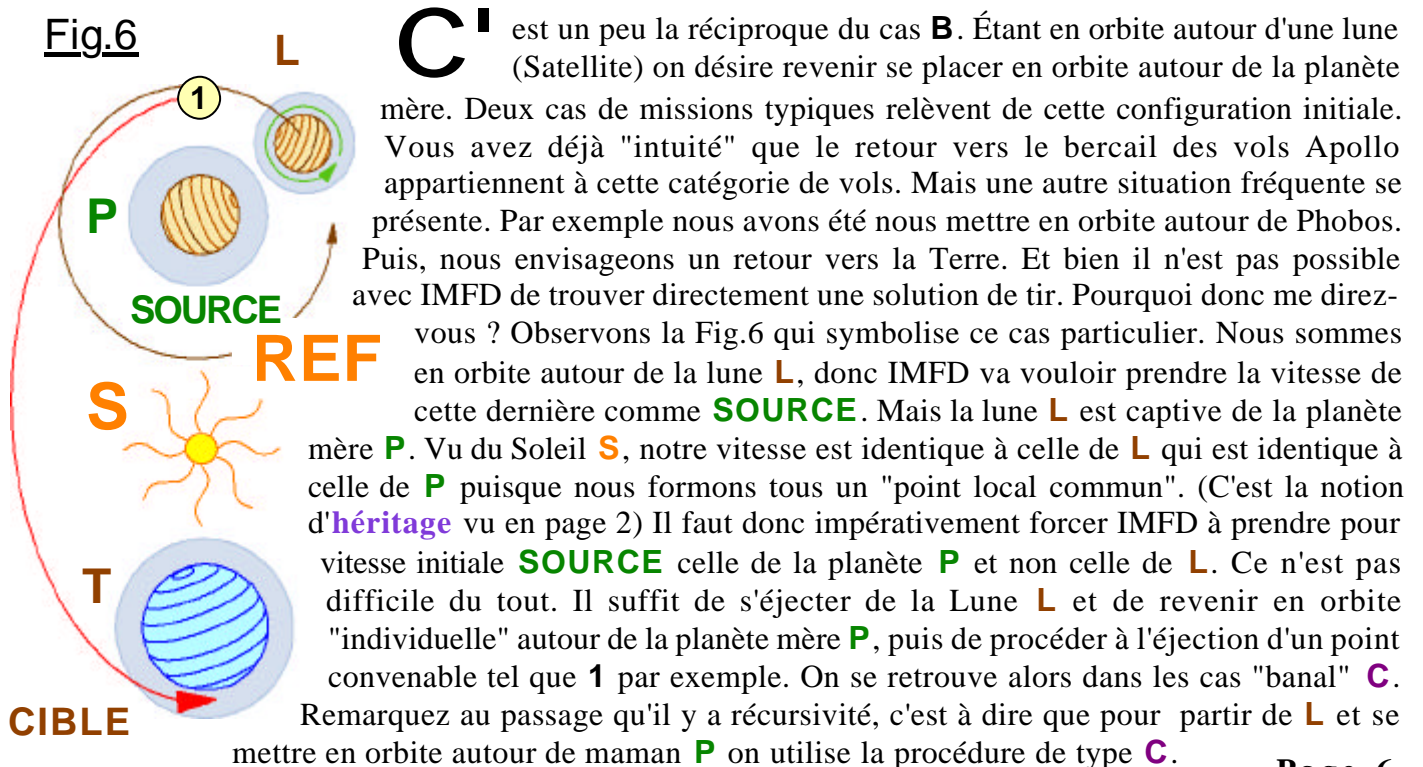
SPHÈRE D'INFLUENCE Soi.

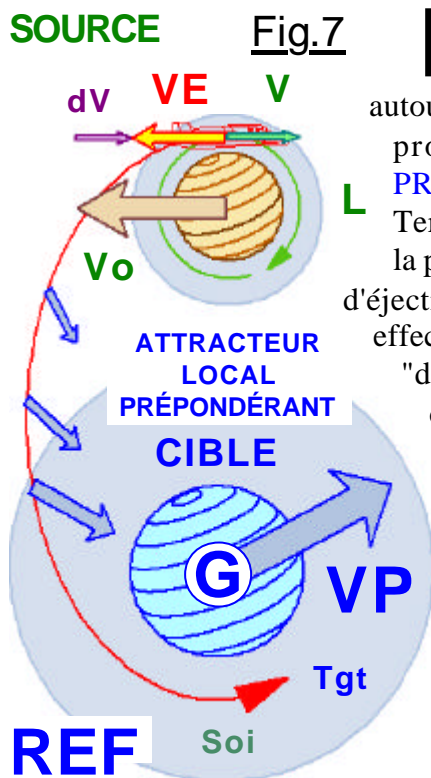
Quand on regarde des schémas tels que celui de la Fig.5 ou les représentations graphiques de **Map** sur IMFD, on constate que chaque objet représenté semble établir son emprise sur des zones délimitées par les frontières nommées **Soi**. Psychologiquement on est tenté de croire que leur influence n'en déborde pas, et que sorti de ces sphères, ce sont les autres astres qui font la loi. **FAUX !** Si c'était le cas, il y a belle lurette que la Lune serait partie du giron terrestre. Si elle continue à tourner, et encore pour longtemps, c'est bien que la Terre exerce sur elle une influence principale. C'est précisément pour établir cette nuance avec la **Soi** que j'ai osé dans mes documents user du vocable **ATTRACTION LOCALE PRÉPONDÉRANTE**.



Au fait, ça vaut combien de secondes une belle lurette ??? 🤖

C) D'une "orbite fille" à un retour vers la planète mère.





Examinons avant de se faire une petite synthèse comment on procède pour une telle manœuvre, étant par exemple en orbite rétrograde autour de la Lune. Nous savons que l'on peut oublier somptueusement la vitesse propre **VP** de la Terre qui ici représente l'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT** (A.L.P. dans le tableau), donc la **REF**érence. Vu de la Terre, on hérite de la vitesse de la lune **L**, donc de **Vo**. Pour retomber vers la planète bleue, il faut diminuer la vitesse "orbitale lunaire" **Vo**. Notre vitesse d'éjection **VE** sera donc plus faible que **Vo**, d'où le vecteur **dV**. Mais l'on doit effectuer l'éjection au bon moment, puisqu'une orbite se "déforme" toujours "de l'autre côté". Donc, étant du bon côté de la lune **L**, à notre vitesse orbitale on ajoute **dV**. Vu de **L** on pousse en **PROgrade**, donc la vitesse augmente, et l'on va s'en éloigner, voir partir pour toujours. C'est le principe même de toute éjection où l'on veut quitter une **Soi**. Mais vu de la Terre, **Vo** moins **dV** égal **VE** une vitesse orbitale plus faible. Donc on va diminuer le rayon "en face" qui peut avec un calcul bien ajusté nous ramener dans le giron de la **Soi** de maman. Il y a juste un petit hiatus : **REF** est également la **CIBLE**. Du coup, on doit traiter ce cas d'une façon particulière. Nous allons voir concrètement comment procéder.

DANS TOUS LES CAS ON DÉSIRE QUITTER UNE Soi.

Avec A.L.P : **ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT**.

CAS	Source (Src)	REFérence	CIBLE (Tgt)	"MOTEUR"
A	Astre de Soi	A.L.P.	Astre visé	Orbit-Eject
B	Vaisseau	A.L.P.	Astre visé	Course
C	-----	"Astre mère"	-----	Orbit-Eject

N'ont pas été abordés ci-avant les cas où l'on ne fait que passer à proximité de l'astre visité pour poursuivre la route. Ce ne sont que des vols identiques aux autres, mis à part le fait qu'une fois le rapprochement effectué, on n'engage pas la phase de mise en orbite. Donc rien de particulier ... sauf éventuellement une fronde gravitationnelle traitée à part dans le tutoriel **LE GRAND TOUR**.

La calculatrice de notre marin Orbinaute sera fournie par IMFD sous forme de deux modules fonctionnels nommés **Target Intercept** et **Orbit-Eject**. On traitera plus avant de la façon de les appréhender.

D) Des moyens pour diriger convenablement son navire et de le faire avancer.

Paradoxalement, ce sont les ensembles les plus complexes d'un vaisseau spatial qui revêtent dans IMFD l'apparence la plus élémentaire puisqu'elle se résume aux commandes **BV** qui nous informe des différentes valeurs des variables pertinentes, et de la commande **AB** (Auto Burn) qui confie si on le désire la manœuvre au pilote automatique du vaisseau. On ne peut rêver plus simple. Dans la réalité, pour connaître en permanence l'orientation du vaisseau les systèmes utilisés sont d'une complexité faramineuse. Sur le court terme on fait confiance à des centrales inertielles munies de gyroscopes "statiques" optiques et d'accéléromètres cartésiens. (NON, pas question de détailler ici !) Sur le long terme, on recale ces dispositifs par observation d'étoiles servant de référence. Bon, oublions ces complications de spécialistes pour revenir à Orbiter. Dans notre ordinateur, ce sont des équations "électrobinaires" qui se chargent de cette mission, autrement dit, ces trésors informatiques que sont les Orbiters, IMFD et ADD-ON ...

Maintenant que nous avons une vue globale de ce qu'implique en théorie une éjection vers un autre astre du système solaire, on peut aborder sereinement le concret. OUF ! Rassurez-vous, c'est l'éjection qui demeure la phase la plus délicate à bien cerner, car les autres phases comme corriger en route ou effectuer une approche sont beaucoup plus "naturelles" et n'imposeront plus un tel développement théorique en préambule.

NOTEZ avant de tourner la page que les modules de calcul **Target Intercept** et **Orbit-Eject** ne font que nous permettre de viser globalement un astre, autrement dit de quitter la Soi actuelle et si possible sur la lancée de s'approcher suffisamment près de la **CIBLE** pour envisager une mise en orbite. Comme tout lancement d'un projectile, on sera d'autant plus précis que l'on ne tire pas trop loin.

1) Le lancement.

A) D'une planète mère à une autre ou d'un satellite fils à un autre.

Concrètement, pour tous les lancements des missions de type **A** on procèdera avec la structure d'IMFD avec la logique est résumée sur la Fig.8 dont on peut résumer l'agencement simplement. En préambule à tout lancement, on aura un vaisseau en orbite, et si possible on choisira une bonne période pour s'éjecter. Les paramètres qui résument nos choix (Parfois contradictoires) doivent être donnés à IMFD qui ne peut pas deviner quels sont nos désirs et nos intentions.

Fig.8



Globalement, nous allons utiliser le module **Target Intercept** pour construire notre trajectoire prédictive. Bien naturellement, rien n'interdit pour mieux la visualiser d'utiliser en parallèle le module **Map**. Mais dans ce cas il faudra activer l'option **Plan** pour lui préciser que c'est elle qu'il faut représenter et non notre route Képlérienne actuelle. Nous savons que l'on ne peut pas utiliser la commande **AB** de **Target Intercept** car la **SOURCE Src** qui est notre astre de capture ne dispose pas de moteur. Il faut utiliser le module **Orbit-Eject** **spécifiquement dédié pour lancer quand la source est un astre**. Comme **Orbit-Eject** ne sait pas déterminer des vecteurs de lancement, il faut les lui donner à partir de **Target Intercept**. C'est l'objet de la fonction de couplage **OpMode**. Voyons alors quelles sont nos intentions possibles et comment les indiquer à **Target Intercept** et **Orbit-Eject**.

Il n'est pas question ici de détailler toutes les options, mais juste de dégager la philosophie de base.

• **Première étape** : Ouvrir **Interplanetary > MNU > Course > Choisir Target Intercept > Set > IMFD** commence par insister pour nous demander où on veut aller : **TGT > mars** par exemple.

Il nous présente un écran qui ressemble à que celui de la Fig.9 pour laquelle on veut s'éjecter de la Terre et partir vers Mars. Il représente une trajectoire comme proposition de base qu'il construit à partir des éphémérides du moment. On peut s'en contenter, mais en principe nous avons des préférences personnelles à privilégier. Notez qu'il a correctement choisi **Ref Sun** et **Src Earth**. Mais il vaut mieux le vérifier à chaque fois car diverses manipulations de notre part peuvent parfois générer des surprises.

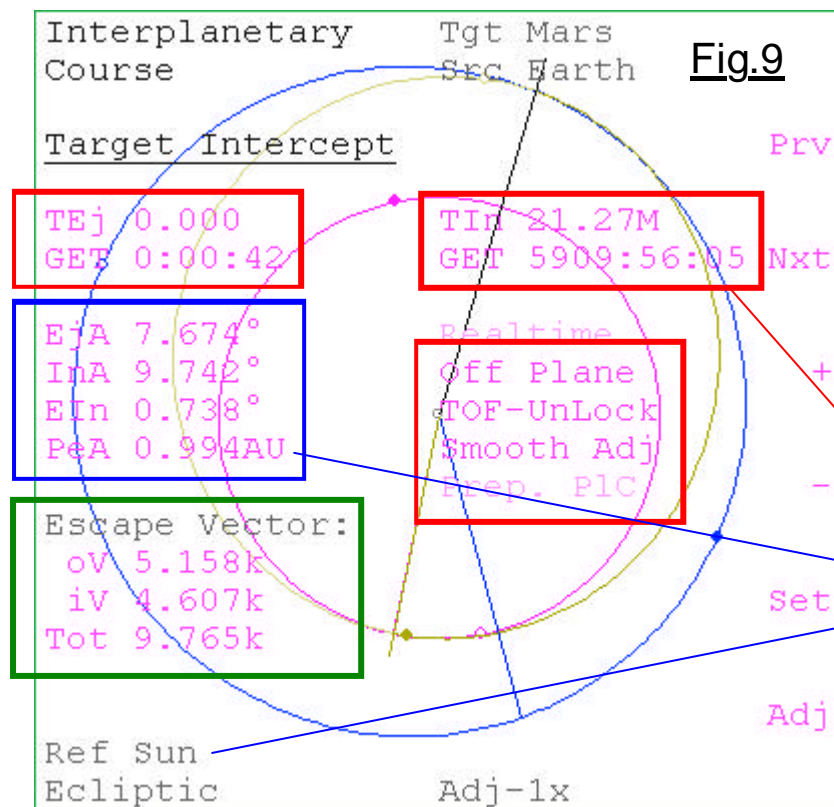


Fig.9

LES CAUSES

EN ROUGE : Les paramètres que l'on peut modifier, autrement dit nos préférences

LES EFFETS

EN BLEU : L'influence des divers paramètres sur le voyage.

EN VERT : L'influence sur les composantes du vecteur d'éjection

Tin quand à lui nous indique la durée du voyage jusqu'à **Tgt**.

ATTENTION : **PeA** précise à quelle distance nous allons passer de la **Reférence** et **surtout pas de la CIBLE Tgt**. Ne pas en tenir compte pour l'interception, mais uniquement pour s'assurer que l'on ne va pas passer trop proche de **Ref**.

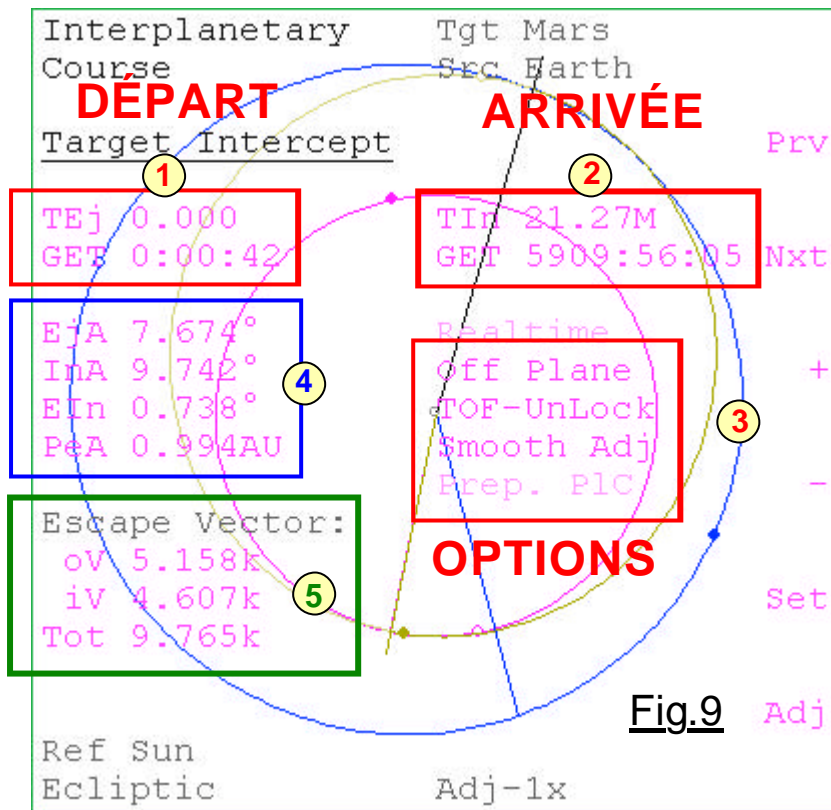


Fig.9

- **Deuxième étape** : Imposer des préférences personnelles.

On pourrait parfaitement se contenter de la solution "standard", mais personnaliser est bien plus séduisant.

NOTE : Si parmi les préférences nous désirons un voyage économique en Fuel, il faut lancer à une date favorable pour une **H.T.O.** (TRANSFERT de HOHMANN) C'est donc à nous de rechercher une date privilégiée, et de se créer une situation de départ qui respecte la fenêtre de tir.

D'une façon générale, on peut affiner les paramètres **1**, **2** et **3** de façon à minimiser la consommation de Fuel par exemple. Dans ce cas on recherche la valeur la plus faible pour **Tot** en **5**. Du reste, on doit souvent modifier divers paramètres pour aboutir à des compromis acceptables. Ce document n'a pas pour vocation de tout

détailler, les tutoriels sont fait pour ça, mais juste pour brosser les grandes lignes et éviter de nous perdre dans les innombrables variables et données qui émaillent les vols décrits en détail.

Pour le **DEPART**, on peut imposer en **1** avec **TEj** dans combien de temps on activera la mise à feu. Par exemple pour laisser le temps à un gros vaisseau comme le Arrow de s'orienter convenablement. Au lieu de conditionner une temporisation, on peut par **GET** imposer une date et une heure précise de lancement. C'est bien utile pour respecter une mission historique par exemple. Concernant l'**ARRIVÉE** en **2** nous aurons des paramètres analogues. Avec **Tin** c'est la durée du voyage que l'on impose, alors qu'avec **GET** c'est la date et l'heure de l'interception qui sera respectée. Quand à **3** pour les **OPTIONS**, ce sont quelques facilités offertes dont je vous laisse découvrir les effets dans les tutoriels consacrés à IMFD.

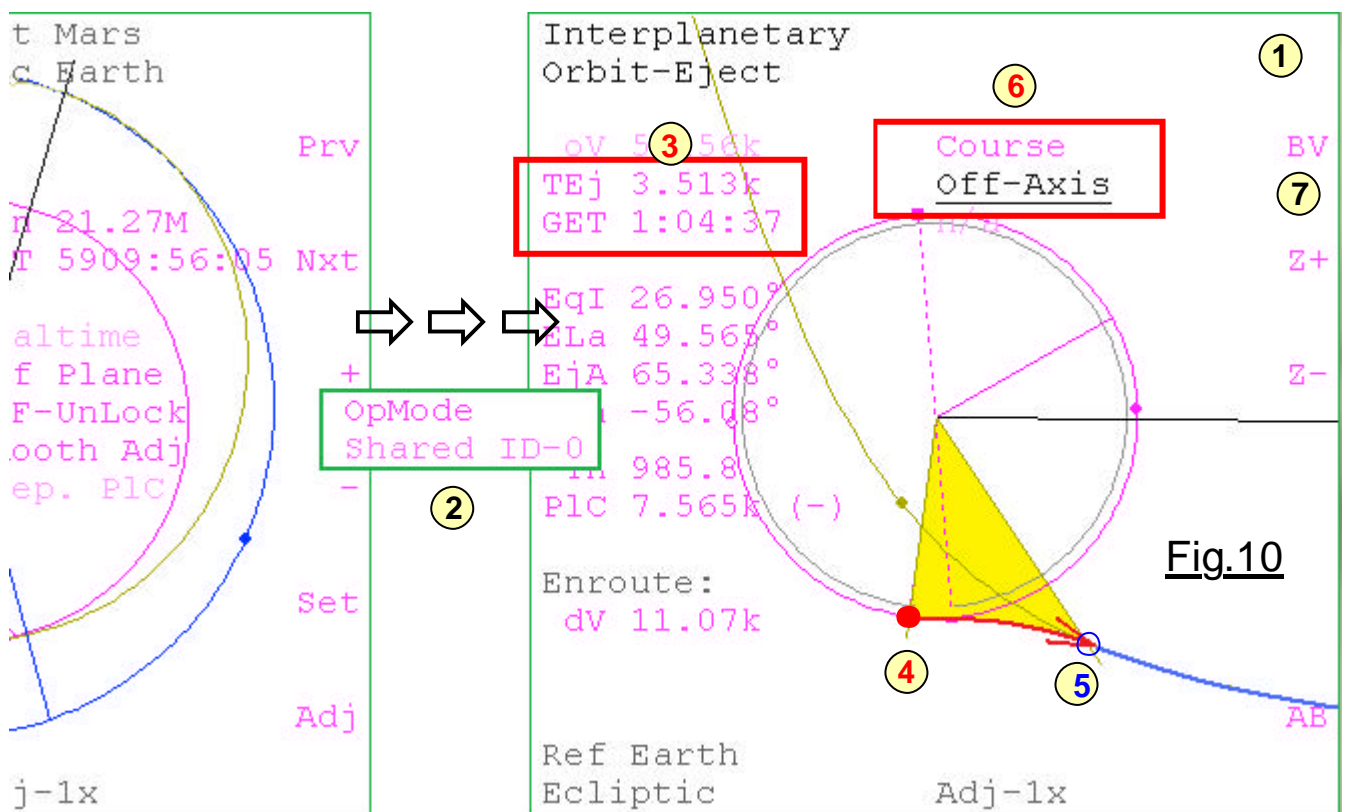
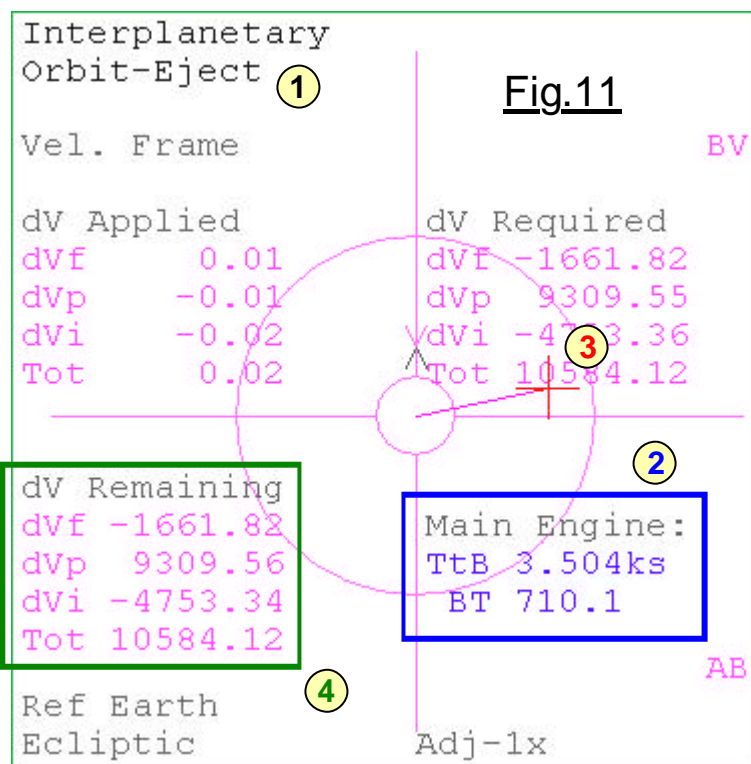


Fig.10

Une fois notre route prédictive déterminée et en accord avec nos préférences, il ne reste plus qu'à passer aux actes, c'est à dire donner l'ordre de lancement. Mais le module **Target Intercept** ne peut le faire puisqu'il a comme SOURCE un corps planétaire sans motorisation. Donc, étant dans une **Soi**, nous savons qu'il faut activer le deuxième module **Orbit-Eject**. Une fenêtre telle que celle représentée en **1** de la Fig.10 s'ouvre. N'oubliez pas de signaler à **Orbit-Eject** qu'il doit se coupler à **Target Intercept** par **Opmode** montré dans l'encadré **2**. IMFD précise en **3** dans combien de temps et à quelle date et heure exacte va commencer la combustion. On se trouvera alors en **4** sur l'orbite, et l'on va pousser jusqu'en **5**. Notre vaisseau va suivre une route représentée par la flèche rouge qui est ajoutée sur la copie d'écran. Puis, fin de combustion en **5**. Le vaisseau commence son transfert balistique vers la cible. **Orbit-Eject** nous montre par contre l'angle balayé par la période de combustion sous forme de deux rayons et repéré en jaune sur le dessin. En **6** on a choisi l'option **Course** qui impose à **Orbit-Eject** de recevoir les données d'éjection à partir du module **Course**, donc par filiation dans le module **Target Intercept**. Notez au passage que souvent en modifiant **TEj** la durée d'attente on peut en déplaçant la position de **4** diminuer un peu la variation de vitesse **dV**, donc la consommation. Remarquez pour finir, que l'on a choisi l'option **Off-Axis** car la durée de poussée est généralement importante pour effectuer les lancements. Du coup l'arc **4** à **5** est étendu et très courbe. **Realtime** est prévue pour les corrections de trajectoires de courtes durées. Paré au lancement, on passe au pilote automatique invoqué par la commande **BV** en **7**.

AGIR : LE PILOTE AUTOMATIQUE D'IMFD.

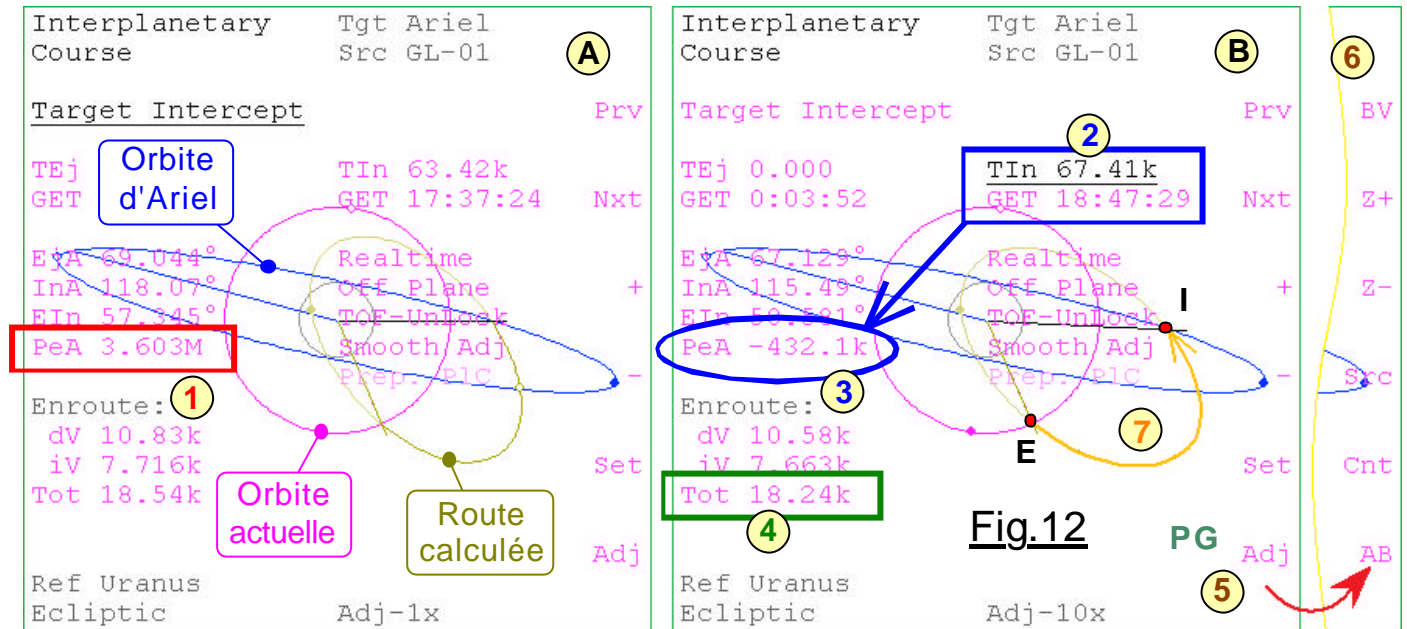
Cette fonction au combien utile présente l'allure montrée en Fig.11 par la copie d'écran. La commande **BV** permet de revenir au module **Orbit-Eject** pour éventuellement reprendre des paramètres, ou surtout pouvoir surveiller son graphe une fois **AB** déclenchée. On observe en **1** que le pilote automatique reçoit actuellement ses consignes du module de calcul **Orbit-Eject**. En **2** nous avons les informations relatives à la manœuvre programmée ou en cours une fois le délai d'attente **TtB** écoulé. Comme il faut générer une forte poussée, **Main Engine** est sélectionnée. Mais pour des corrections faibles, les RCS seraient alors automatiquement mis à contribution. C'est surtout **BT** le temps de combustion qui attirera souvent notre attention puisqu'il conditionne directement la consommation de Fuel relative au lancement. Comme IMFD joue la transparence totale, il nous précise dans les zones telles que celle de l'encadré vert **4** les informations relatives au vecteur vitesse d'éjection, ce qui a déjà été appliqué et ce qu'il reste encore à faire.



Pour les invétérés du pilotage manuel, rien n'empêche d'ignorer l'engagement des asservissements par **AB** et de gérer la manœuvre à la main. Dans ce cas, quand **TtB** commence à approcher de zéro, on oriente correctement le vaisseau. Il suffit dans ce but de commuter les RCS en mode **ROT** et d'amener la croix rouge **3** au centre du collimateur. Éventuellement une petite intervention de **KILL ROT** permet de figer l'attitude. Puis, quand le décompte **TtB** arrive à zéro, activer la pleine poussée des moteurs tout en maintenant la croix **3** bien au centre de la mire. Vers la fin de la combustion, il importe de réduire progressivement la poussée pour terminer finement la manœuvre. Quand on observe comment procède le pilote automatique d'IMFD activé par la commande **AB**, on se doute que ce n'est pas spécialement facile à gérer. Notez que cette commande **AB** est également présente quand on se trouve dans la page des options. C'est pour pouvoir couper les moteurs à tout moment si on constate qu'un incident vient semer le trouble. Sur de mauvaises options, on s'en sert plus souvent que l'on pourrait le croire. Souvent cette possibilité m'a permis de sauver in extremis la mission en cour !

B) D'une "orbite mère" à un satellite fils.

Rassurez-vous, par rapport au cas précédent il y a peu de choses à ajouter car à quelques détails près c'est une procédure tout à fait similaire ... et plus simple. Pour déterminer notre route, nous allons utiliser le module de calcul **Target Intercept** de la même façon. Donc rien à ajouter. Mais petite différence, on voit dans la synthèse de l'encadré en page 7 que la source **Src** est le vaisseau. Du coup **Target Intercept** peut procéder directement au passage des informations à notre pilote automatique. La procédure résumée en Fig.12 est pratiquement élémentaire.



• **Première étape :** Ouvrir **Interplanetary** > **MNU** > **Course** > Choisir **Target Intercept** > **Set** > IMFD insiste chaque fois pour savoir où on désire aller : **TGT** > ariel par exemple. (On est en orbite quelconque dans la Soie de Neptune par exemple) La Fig.12 A nous montre ce que propose IMFD. Le graphe superposé aux textes est une carte de type **Map** mais simplifiée, avec uniquement les orbites concernées. N'oublions pas qu'en 1 ce n'est pas la distance de rapprochement de la cible qui est indiquée, mais celle du périégée de **Ref**. En fait si on ne fait rien et que l'on ejecte avec ces valeurs, **Target Intercept** vise ce centre de la cible et on la percute.

• **Deuxième étape :** Imposer des préférences personnelles.

En augmentant un trois fois rien le temps de voyage **Tin** (En 2 de Fig.12 B) on constate que la distance d'interception 3 devient négative, ce qui traduit une trajectoire de collision. Au moins on est certain de ne pas louper notre cible ! On peut soit ajuster finement la valeur du périégée **PeA** pour tenter directement une altitude convenable, soit corriger en croisière. En général c'est la deuxième solution qui sera utilisée, car si on veut aller très loin, la trajectoire va se dégrader et une ou des corrections seront impératives.

• **Troisième étape :** AGIR.

Ayant défini les paramètres du lancement dans **Target Intercept**, on peut directement engager le pilote automatique. Dans ce but la commande **PG** en 5 nous donne l'autre liste de fonctions possibles. Soit vous faites confiance et vous engagez directement la manœuvre avec **AB**, soit **VÉRIFIER** de la Fig.1 vous incite en permanence à la prudence, et vous ouvrez préalablement la page du pilote automatique avec **BV** et vous passez une dernière fois les paramètres en revue.

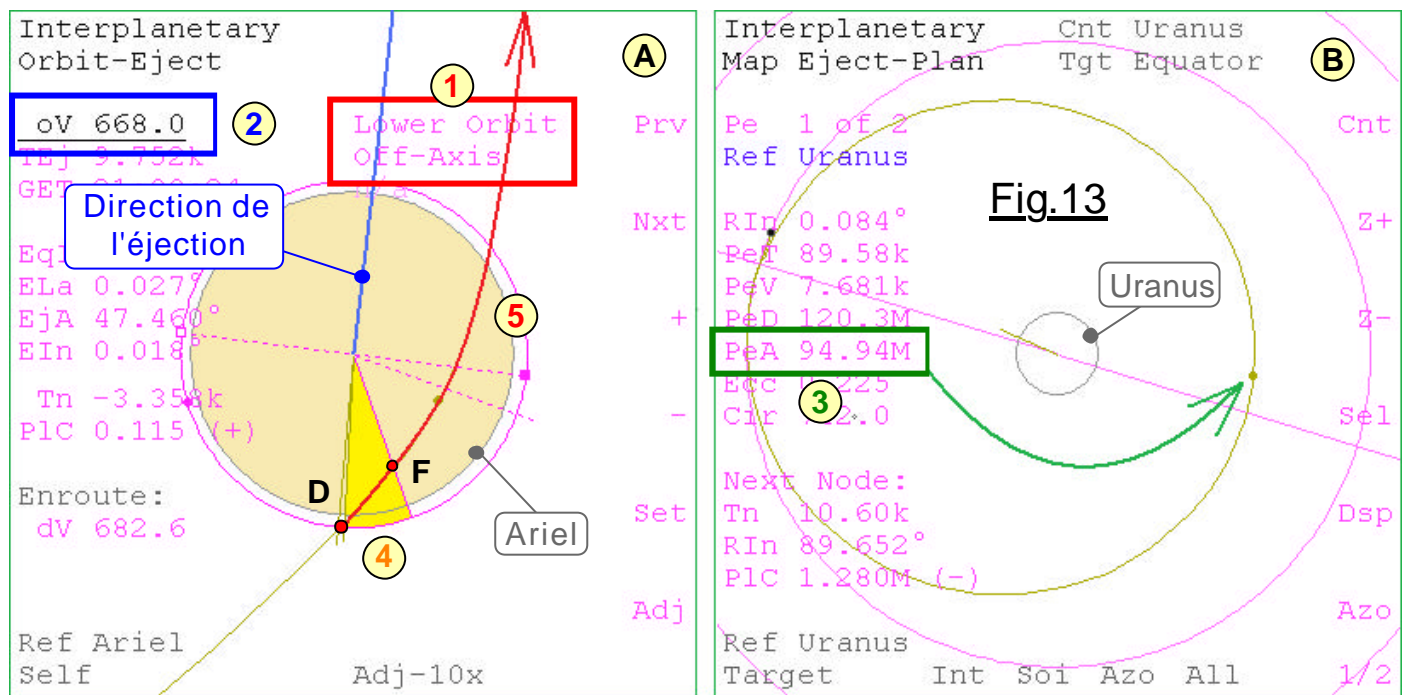
On ne peut rêver procédure plus simple et qui généralement fonctionne à la perfection à tout les coups car les lunes sont généralement assez proches des planètes mère pour n'exiger que des temps de transfert relativement modestes. L'interférence des autres astres reste alors minime. Du coup, en général on arrive exactement à ce qui est prévu pratiquement sans correction une fois en croisière.

Une fois arrivé en **E**, l'éjection nous lance sur la route 7 tracée en orange sur la Fig.12 avec une interception en **I**. Durant la combustion, on voit progressivement notre trajectoire actuelle se transformer pour venir se superposer à la trajectoire prédictive qu'IMFD affiche en bleu.

Comme le cas de figure B n'utilise qu'un seul MFD pour programmer IMFD, rien n'interdit d'utiliser l'afficheur de droite pour y visionner un module de **VÉRIFICATION**. Par exemple **Map** couplé à **Target Intercept** si on veut y tracer la route prédictive avec l'option **Plan**.

C) D'une "orbite fille" à un retour vers la planète mère.

Revenir vers maman impose une procédure un peu spécifique, car étant dans la **Soi** d'un astre qui n'est pas l'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT** on doit obligatoirement utiliser le module **Orbit-Eject** pour effectuer le lancement. Mais **Target Intercept** ne peut pas s'utiliser pour déterminer la route à suivre, car l'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT** est aussi la **CIBLE**. C'est donc à nous d'ajuster les paramètres d'éjection pour déterminer la trajectoire. On va donc utiliser notre carte astronomique pour nous guider dans l'ajustement des variables pertinentes. Prenons comme exemple le retour d'ARIEL vers URANUS. La Fig.13 **A** nous montre IMFD ouvert à gauche et activé sur la fonction **Orbit-Eject**. À droite (Fig.13 **B**) on active IMFD sur **Map** sans oublier de le coupler à gauche et de lui demander de tracer la route prédictive avec l'option **Plan**. On précise alors en **1** que l'on veut "redescendre" en orbite plus basse avec l'option **Lower orbit** et qu'il devra utiliser la procédure **Off-Axis** qui convient à des brulures de longues poussées. Puis, en augmentant en **2** la durée de combustion **oV** on diminue au maximum la valeur du périégée lue en **3**. On n'arrive pas à mieux que 95M alors que pour rejoindre la

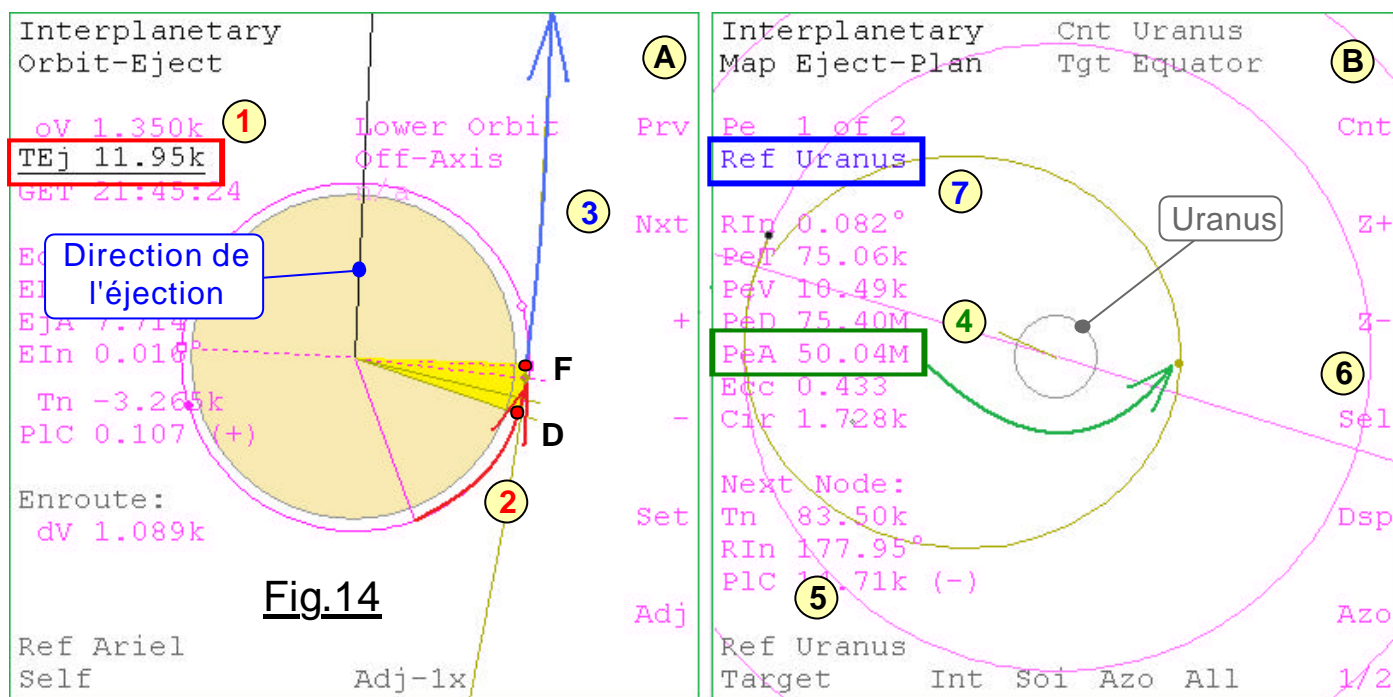


station fuel en attente on désirerait 50M. En **4** est mis en évidence l'angle balayé durant la poussée d'éjection avec en **D** le début et en **F** la fin. Compte tenu de la Direction de l'éjection, on va donc suivre la route Képlérienne **5** coloriée en rouge. Képlérienne veut dire que l'attracteur est considéré comme un point matériel, mais dans la réalité c'est l'encombrant ARIEL colorié en brun. Donc, si on persiste dans cette solution on va creuser un nouveau cratère à sa surface.

La Fig.14 montre une solution améliorée dans laquelle on a augmenté la valeur en **1** du délai avant allumage **TEj**. De ce fait, la flèche rouge **2** montre que la mise à feu se fait plus loin en **D** sur la trajectoire. On va donc s'échapper en **3** et le risque de percuter le sol est écarté. Mais ayant changé le moment de l'allumage, rien ne nous interdit de reprendre la valeur de **oV**. On arrive alors en **4** à exactement la grandeur de périégée **PeA** souhaitée.

En fin de compte, conditionner directement les paramètres d'une éjection n'est pas très compliqué une fois que l'on a bien compris ce que représentent **oV** et **TEj**. Par contre, il faut avoir bien initialisé le module **Map**. En particulier **Ref Uranus** en **5** pour avoir les valeurs relatives à cet astre. Puis ne pas oublier avec **6** de sélectionner en **7** **Ref Uranus** pour ne pas prendre en compte un périégée de notre trajectoire avec le Soleil par exemple. Par ailleurs, si l'on ne sélectionne pas le bon élément en **7**, on peut fort bien afficher en **4** la valeur de l'Apogée **ApA** au lieu du périégée **PeA** qui ici constitue notre préoccupation prioritaire.

Pas de panique, avec un minimum d'habitude on arrive rapidement à cerner ces détails. Par ailleurs les tutoriels détaillent largement ces éléments. Pour finir, si vous effectuez les missions décrites dans le petit manuel de pilotage, les items des check-lists listent dans l'ordre tous ces éléments. C'est précisément le but d'une check : Ne rien oublier.



2) Les corrections en croisière.

C'est le chapitre le plus simple, car il ne fait qu'utiliser le calculateur **Target Intercept** dont on a cerné les grandes lignes, et le module **Planet Approach** spécialement agencé pour nous fournir une autonomie totale quand à la façon dont on va réaliser l'arrivée, sachant que c'est au périégée de notre voyage que nous passerons à la troisième phase : Le freinage de capture pour s'insérer en orbite fermée autour de notre destination. Comme l'utilisation de **Planet Approach** concerne surtout le prochain chapitre, inutile d'en détailler ici le fonctionnement.

D'une façon générale, les corrections de trajectoire se font relativement loin de l'astre visé pour des raisons d'économie de carburant. (Voir l' **ANNEXE**) Plus on va loin, plus il faut en répartir le long du voyage, car la dérive de notre trajectoire est fonction du temps pendant lequel les objets du système solaire influencent la route suivie. Pour une distance "courte" comme un Terre / Lune, une MCC est souvent suffisante, avec éventuellement une deuxième correction quand on pénètre dans la **Soi** lunaire. (MCC : Correction à mi-course) Par contre, quand on croise dans les parages d'un astre très attracteur, le nombre de corrections doit être plus important, en particulier quand on navigue du côté de Vénus ou de Mercure avec la proximité du Soleil. Si de plus la cible est de faible masse et de **Soi** très faible, il faut parfois augmenter la fréquence des manœuvres au moment de l'approche finale. C'est principalement par l'expérimentation que l'on trouve le nombre et les moments pour lesquels on doit rectifier le tir.

Pour conclure ce chapitre, quand le calcul prévoit des corrections de courtes durées ce qui caractérise généralement ce type de manœuvre, il est préférable d'utiliser l'option **Realtime** au lieu de **Off-Axis**.

3) L'affinage de la trajectoire en approche.

Probablement la phase la plus motivante, car la longue croisière du chapitre "SUBIR" s'achève et la récompense commence à grandir dans le hublot. Bien que pas très complexe elle conditionne la réussite de la mission. Le module de calcul spécialement adapté à cette phase critique d'une mission est **Planet Approach**. Critique non pas parce qu'elle est spécialement délicate, bien au contraire, mais parce que c'est à ce stade que l'on va conditionner avec précision le plan de l'orbite de capture ainsi que l'altitude de circularisation ou du périégée d'arrivée. En général on commence à l'utiliser à une distance comprise entre trois fois la **Soi** et jusqu'à la **Soi** de l'objet visé. Ceci dit, rien n'empêche d'effectuer quelques corrections à l'intérieur de la **Soi** si nécessaire, mais étant en général sous forte influence de notre cible ce ne sera pas souvent indispensable. Avant d'aborder l'outil **Planet Approach**, il est incontournable en préalable de se poser la question : COMMENT DÉSIRONS-NOUS ARRIVER ?



PARAMÈTRES ENVISAGEABLES POUR UNE INSERTION :

A vant toute chose, à quel moment s'achèvera l'approche, ou si vous préférez, à quel instant précis **Planet Approach** aura terminé son action ? La Fig.15 permet facilement de répondre à cette question. Notre vaisseau, après avoir couvert des distances faramineuses arrive en **A** dans l'environnement proche de l'astre visé. En **S** il pénètre dans sa sphère d'influence **Soi**. Si on ne fait strictement rien, l'attraction en augmente la vitesse jusqu'au passage à proximité. Si les moteurs ne sont pas remis en service, au périégée **P** il continue sa route vers "l'infini", mais retenu par l'astre attracteur, sa vitesse va aller en diminuant. Le but de **Planet Approach** consiste à ajuster les caractéristiques du plan d'arrivée et de la valeur du périégée **P**. Notez que **P** sera un périégée par rapport à notre trajectoire de transfert, car rien n'interdit qu'il soit par la suite l'apogée de l'orbite de capture. Arrivé en ce point précis, le module **Planet Approach** n'est plus concerné et c'est une autre fonction qui devra être utilisée pour se mettre en orbite si le profil de mission le prévoit. Plusieurs aspects fondamentaux peuvent conditionner la façon dont on va réaliser notre approche. Le premier est donc l'altitude du périastre visé **P**. Ensuite, il faut décider si le contournement sera dans le sens PROGRADE ou dans le sens RETROGRADE, autrement dit, dans quel sens on va circuler autour de la planète. En outre, le plan orbital à l'arrivée sera-t-il équatorial, polaire ou avec une inclinaison particulière **Inc** par rapport à l'équateur ? Pour ajouter encore une contrainte possible à tous ces paramètres contradictoires, il sera parfois souhaité d'arriver au périastre **P** à une date et à une heure bien précise pour respecter par exemple les éléments d'un vol historique. Et bien **Planet Approach** peut nous permettre de satisfaire tous ces aspects, sachant naturellement qu'il nous revient d'en décider la valeur et la nature.

L e plus simple pour voir comment préciser nos préférences à IMFD est encore de concrétiser à partir d'un exemple. Supposons une arrivée à la destination Mars très en vogue. On active la fonction **Course** dans laquelle on sélectionne et valide le module **Planet Approach** qui ouvre une page comme celle représentée en Fig.16 sur laquelle on peut vérifier en **1** que l'on a bien sélectionné comme **REF**érence **Mars**. C'est fondamental car en général en ouvrant ce module IMFD référence Sun l'astre

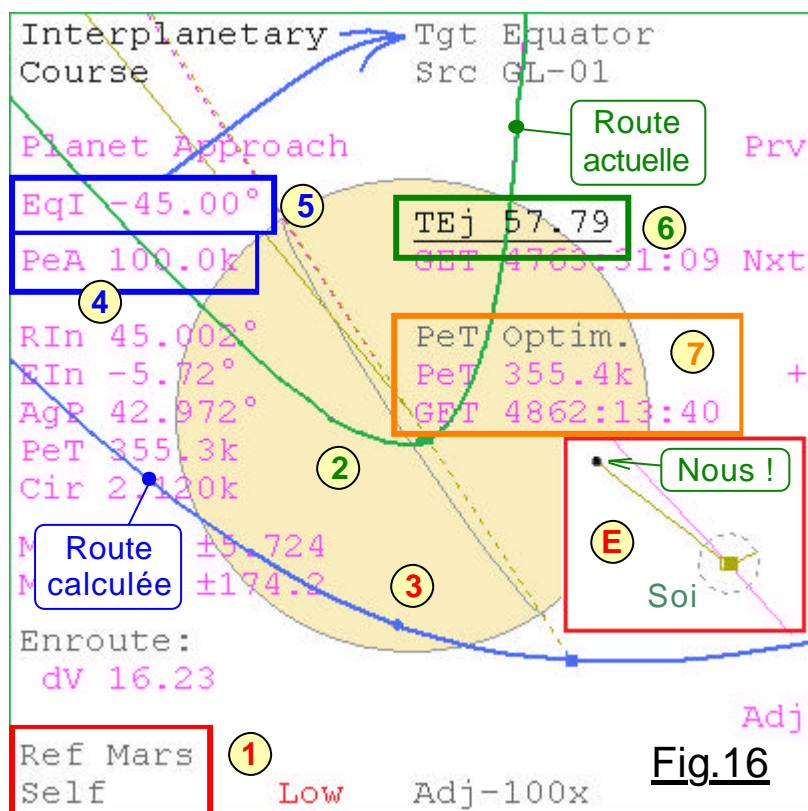
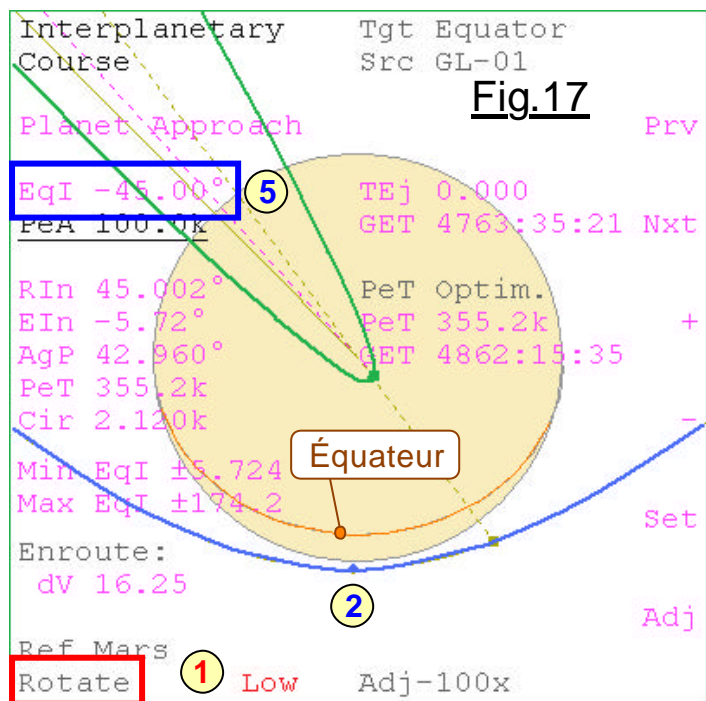


Fig.16

principal. Comme plan de projection, toujours en **1** nous avons choisi **Self**, celui de notre route que l'on voit donc "en vraie grandeur". Notre route Képlérienne **2** passe dans la sphère de la planète, nous faisons donc route de collision et il serait temps de faire quelque chose pour changer notre destin. L'encadré rouge **E** est un extrait de **Map** qui montre que nous sommes encore assez loin de la **Soi** de Mars tracée en pointillés. Nous avons imposé en **4** la valeur choisie du périégée qui sera ici de 100 kilomètres. En **5** nous précisons que nous désirons aboutir à un plan orbital qui sera incliné de 45° par rapport à l'équateur de la planète, que l'on désire arriver du pôle sud vers le pôle nord et que nous tournerons dans le sens PROGRADE. Oui, tout ça je vous assure ! Mais pour décrypter cette information je vous propose de tourner la page, tout vous sera dévoilé.

Cependant, notez qu'en **6** nous avons une option un peu particulière. Elle précise un délai avant allumage des moteurs. Par contre, quand on valide le pilote automatique avec **AB**, la manœuvre d'orientation du vaisseau commence immédiatement. C'est une option utile pour de grands vaisseaux inertes qui présentent des taux de variation angulaire faibles. Il faut leur ménager du temps. Enfin, comme autre paramètre parfois utile, on peut imposer en **7** un délai ou une date précise pour arriver au périégée. Cette option n'est vraiment utile que si l'on veut respecter à l'obsession la "vérité" d'une mission historique. Ceci dit, si l'on a programmé correctement **Target Intercept**, normalement on arrive à la date prévue. Toutefois, pour de très longs voyages qui durent des années, lentement notre route s'altère et il faut recadrer un peu à l'arrivée. Vous en avez un exemple avec le **GRAND TOUR** dans le petit manuel de pilotage. Notez au passage que l'information **Low** dans la zone **1** veut simplement dire que l'influence gravitationnelle de la planète **Ref Mars** est pour l'instant faible, en d'autres termes on est encore loin de sa **Soi**.

Avec toutes ces informations, IMFD calcule la route à suivre à l'arrivée. Outre la trajectoire Képlérienne courante qu'il trace en vert, il représente en bleu la route prédictive. GLUPS, mais on voit en **3** Fig.16 que le périégée est dans la planète ! On percute, alors que dans les consignes on a demandé de passer au plus proche à 100km. NON, pas du tout, c'est juste une question de



perspective. L'orbite prédite est vue en biais, car elle est inclinée par rapport à l'orbite actuelle qui elle est en projection **Self**. Du reste, la carte représentée par **Course** est particulièrement conviviale, car outre le fait que l'on peut à loisir augmenter ou diminuer le Zoom avec **Z+** ou **Z-**, on peut aussi la faire tourner avec **[MAJ] W**. C'est une possibilité "magique" que j'utilise chaque fois que j'ai des difficultés à interpréter l'affichage graphique. Du reste, pour vous en convaincre, sans rien changer aux paramètres j'ai présenté la carte sous un autre angle. L'information **1** sur la Fig.17 nous précise que l'on a fait tourner l'affichage. Le périégée en **2** ne touche plus le géoïde planétaire. OUF ! Pour clore provisoirement ce sujet, je crois utile de vous faire remarquer qu'en indice supplémentaire bien commode, IMFD représente en complément l'Équateur de l'astre représenté, ce qui aide bien à en situer son orientation actuelle.

Le moment tant redouté de décrypter les conventions de la consigne **5** est arrivé. Pourquoi redouté ? Car avant il serait préférable que nous ayons bien compris ce qu'insertion RÉTROGRADE ou PROGRADE signifie. Alors quelques rappels s'imposent.

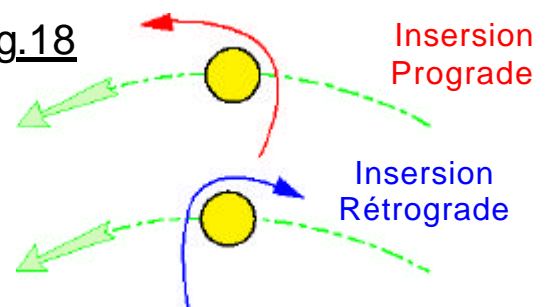
MODES D'INSERTION.

Mis à part quelques cas particuliers, les planètes de notre système solaire tournent toutes dans le même sens nommé **Prograde** ou **Direct** (Sens inverse des aiguilles d'une montre) lorsqu'on les regarde par leur pôle Nord. On a alors une vue de dessus du plan de l'écliptique. Il en est de même de tous les satellites majeurs (Diamètre > 400 km) du système solaire qui tournent autour de leur planète et sur eux-mêmes dans ce même sens Prograde. Ce sens **PROGRADE** de rotation des planètes sur elles-mêmes est le même que le sens de révolution des planètes autour du soleil, et identique au sens de rotation du soleil sur lui-même. Il définit le mode d'insertion.

Exceptions :

Mercure et Pluton présentent des orbites notablement plus inclinées que pour les autres planètes qui forment un système relativement plan. Vénus tourne "à l'envers" et Uranus présente un axe de rotation très incliné sur l'écliptique. Triton, tourne "à l'envers" autour de Neptune. Certains des satellites de Jupiter, de Saturne et de Neptune se déplacent autour de leur planète sur des orbites RÉTROGRADES ou présentent des orbites très excentriques.

Fig.18

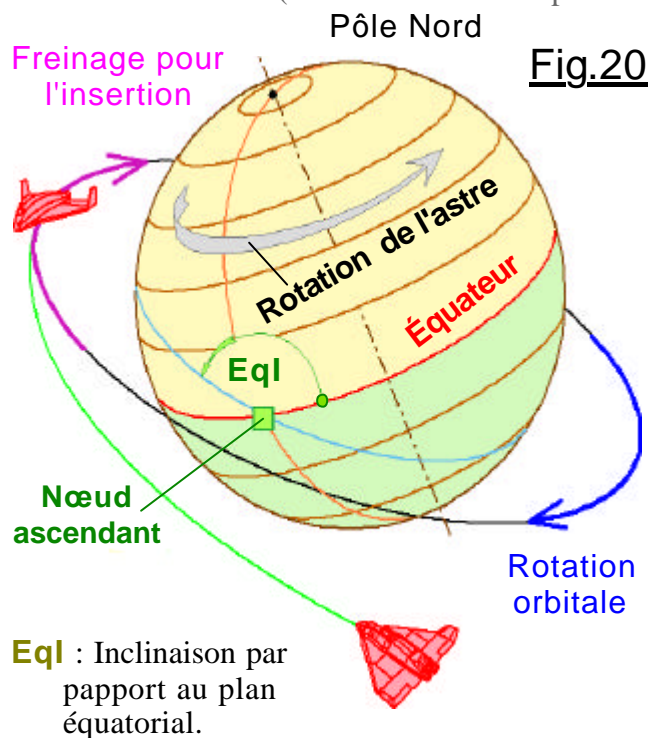


Insertion en mode PROGRADE.

Une insertion (Ou capture) se fait en mode PROGRADE (Fig.19) si le vaisseau arrive dans le sens de rotation de l'astre. (Qui est généralement le sens de déplacement de l'astre sur son orbite) Il tournera dans le même sens que celui de rotation de l'astre autour de son axe Nord-Sud. **Sur la carte le vaisseau se déplacera d'Ouest vers l'Est** car la période de son orbite est généralement inférieure à celle à la journée sidérale de l'astre de capture. L'angle d'inclinaison **Eql** donné à IMFD sera compris entre $+90^\circ$ et -90° en passant par la valeur 0° qui correspond à une orbite équatoriale. (Voir convention plus avant)

Insertion en mode RÉTROGRADE.

Une insertion (Ou capture) se fait en mode RETROGRADE (Fig.20) si le vaisseau arrive dans le sens opposé au sens de rotation de l'astre. Il tournera dans le sens inverse de celui de la rotation de l'astre autour de son axe Nord-Sud. (Sens horaire vu du pôle Nord)

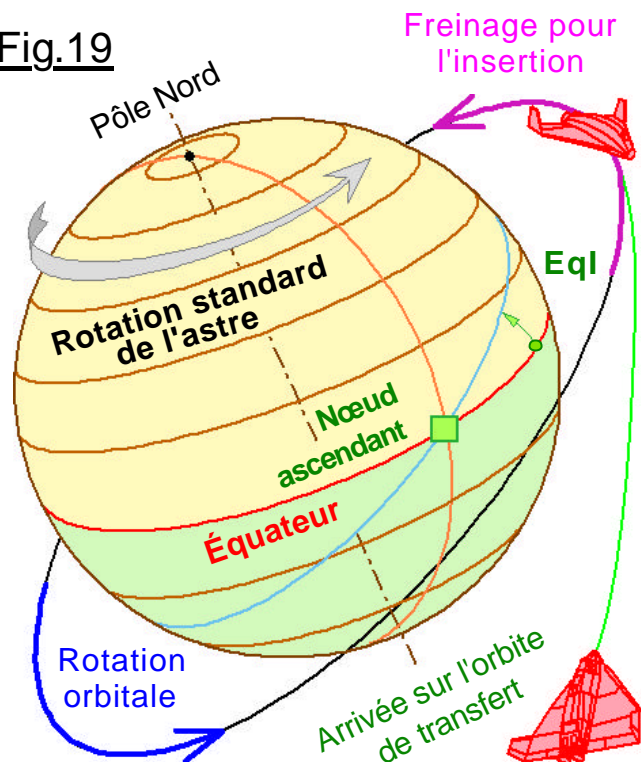


Conventions pour le paramètre Eql.

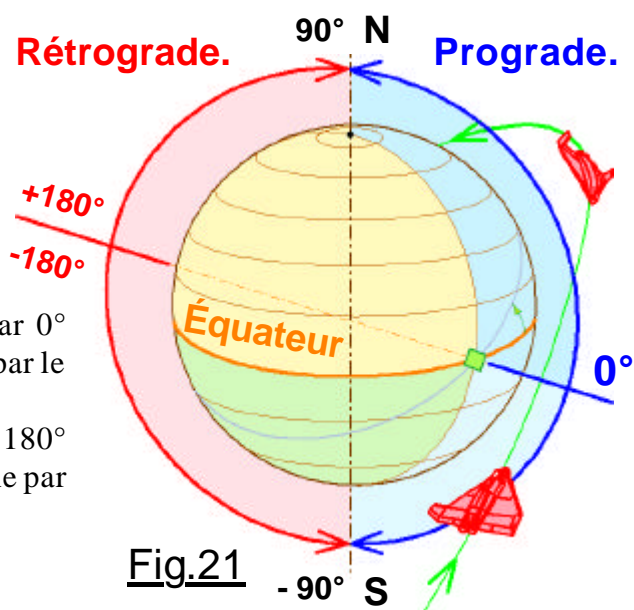
- Si **Eql** est compris entre -90° et $+90^\circ$ en passant par 0° l'insertion se fera en mode **Prograde** avec approche par le coté Est. (*Si négatif arrivée par le Sud*)
- Si **Eql** est compris entre -90° et $+90^\circ$ en passant par 180° l'insertion se fera en mode **Retrograde** avec approche par le coté Ouest. (*Si négatif arrivée par le Sud*)
- -90° ou $+90^\circ$: Orbite polaire
- -180° ou $+180^\circ$: Orbite équatoriale.

La plage de réglage pour **Eql** dépend de l'écart angulaire entre notre plan orbital et le plan équatorial de l'astre cible. Comme pour les lancements ordinaires, **on ne peut approcher avec un angle inférieur à Rinc.**

Fig.19



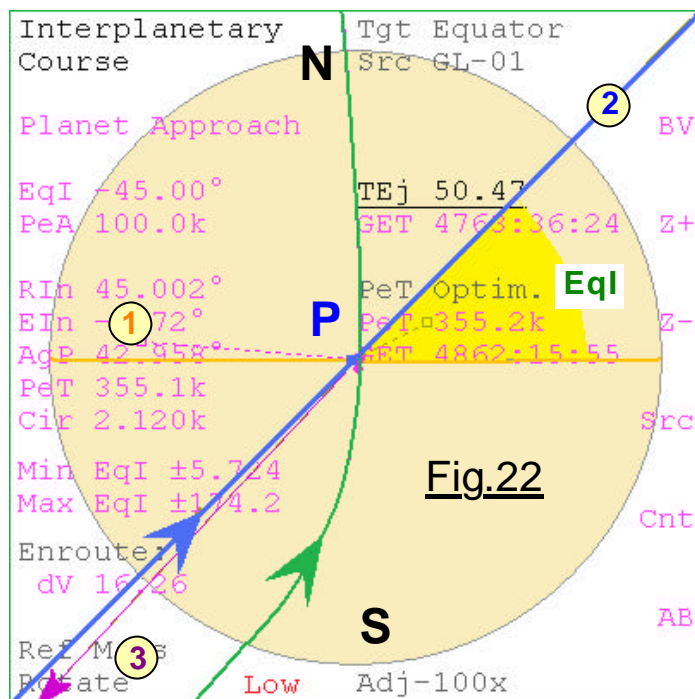
Sur la carte le vaisseau se déplacera de l'Est vers l'Ouest quelle que soit la période de son orbite et celle de la journée de l'astre de capture. L'angle d'inclinaison **Eql** imposé à IMFD sera compris entre $+90^\circ$ et -90° en passant par la valeur 180° . La valeur de 90° correspond à une orbite polaire. (Voir convention plus avant) Comme il faut indiquer à **Planet Approach** exactement ce que l'on désire, l'auteur de ce merveilleux programme a prévu une convention simple qui permet juste par la valeur angulaire de tout préciser d'un coup :



MODE D'INSERTION

"Pour clore provisoirement ce sujet" commencé en page 14 et qui laissait présager que nous allions y revenir nous allons reprendre l'exemple de l'arrivée sur Mars et détailler ici ce qu'implique la valeur de -45° donnée en consigne à **Planet Approach**. L'angle est compris entre -90° et 0 , donc notre insertion sera **PROGRADE**. Le vaisseau arrivera dans le sens de rotation de l'astre. Il tournera dans le même sens que celui-ci et sur la carte **Map MFD** le vaisseau se déplacera d'Ouest vers l'Est. l'angle d'inclinaison du plan orbital sera de 45° par rapport à l'équateur de la planète visitée. On arrivera par le sud pour débiter notre première orbite vers l'hémisphère Nord. Tout ça avec uniquement le laconique -45° , on ne peut trouver codage plus simple. Du génie à l'état pur.

Véritablement séduit par cette possibilité de faire "tourner" la carte dans IMFD, je ne résiste pas au plaisir de vous montrer sous un autre angle ce qui était déjà présenté dans les figures précédentes. J'ai orienté la vue pour voir le plan équatorial **1** vu par la tranche. La planète est vue "de coté" avec son pôle Nord **N** en haut et son pôle Sud **S** en bas. L'orientation est aussi choisie pour voir également la trajectoire prédictive **2** vue par la tranche. Il importe de remarquer que le module de calcul représente en **3** sur la carte le rayon position de notre vaisseau. Pour mieux le situer il est colorié en violet et surtout j'ai ajouté la flèche qui indique la direction du voyageur interplanétaire. Donc, comme on est loin et que l'on s'approche, sur l'orbite Képlérienne actuelle coloriée en vert j'ai ajouté également une flèche. Traitement analogue en bleu sur la trajectoire prédictive, c'est à dire la nouvelle route qui sera parcourue si on active le pilote automatique avec les paramètres actuels. On voit parfaitement sur la Fig.22 que l'on arrive par le Sud pour continuer vers le Nord et que la rotation sera en convention **PROGRADE**. On observe surtout que l'angle d'inclinaison par rapport à l'équateur **EqI** et repéré en jaune sur la Fig.22 fait bien les 45° espérés. Il ne reste plus qu'à engager le pilote automatique avec **AB**, et d'observer durant la manœuvre la courbe de notre trajectoire Képlérienne actuelle venir progressivement se superposer sur la route calculée représentée en bleu. Et vogue la galère, on ne risque plus de creuser un nouveau cratère sur Mars. On va s'approcher progressivement du périégée **P**. Si vraiment on constatait sur **Map** d'IMFD que la valeur de **PeA** s'écarte trop des 100k de consigne, ne pas hésiter à réactiver **AB** pour effectuer une nouvelle correction de trajectoire en approche.



SYNCHRONISER UNE BASE AU SOL.

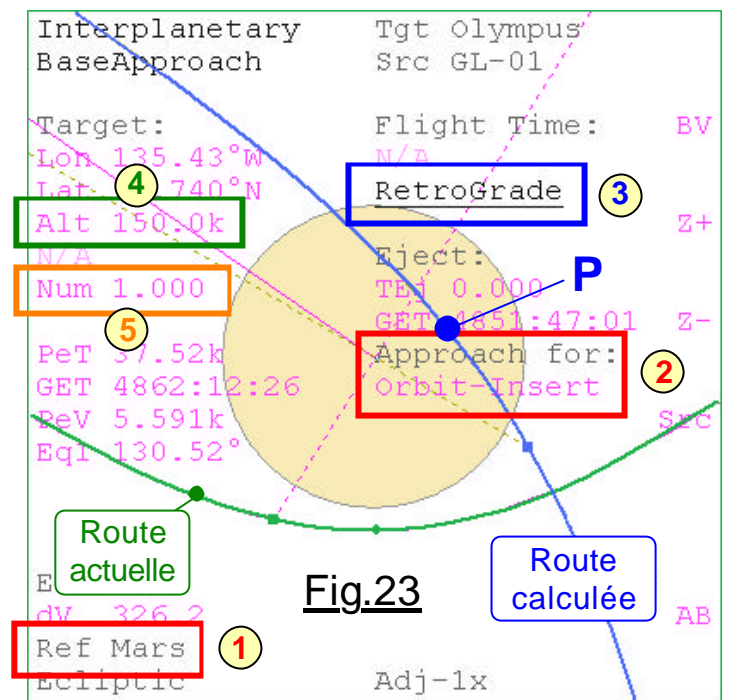
Sans vouloir simplifier outrageusement le quotidien astronautique, on peut estimer que globalement il existe deux types de missions. Soit le vaisseau est une sonde d'exploration spatiale, et dans ce cas souvent elle aura pour mission de se placer sur une orbite bien déterminée au moment du freinage de capture. On trouve cet exemple dans le livret de pilotage où bon nombre d'expéditions lointaines aboutissent à une planète autour de laquelle gravite une station de carburant. Pour ce genre d'arrivée **Orbit-Insert** est royal de possibilités variées et de convivialité. Les corrections en approche consistent donc à utiliser **Planet Approach** comme développé dans le chapitre précédent dans lequel nous n'imposons comme consignes que le respect d'une valeur de périégée **PeA** à l'arrivée et une inclinaison orbitale. Soit le vaisseau est du genre habité, et l'on va certainement chercher à se poser sur le sol de la planète. Dans ce cas on aura prévu pour la scène de départ, dans notre univers virtuel, une base à atteindre avec précision. Ce que l'on désire alors en approche, c'est de pouvoir survoler cette dernière au bout de quelques boucles pour pouvoir "décrocher" de l'orbite et aller s'y poser par une descente "classique". IMFD nous fournit un module parfait pour satisfaire ce but : **Base Approach** qui constitue une petite merveille de précision et surtout d'une simplicité d'utilisation déconcertante. Ce module s'utilise généralement au début de la pénétration en **Soi** et fait partie intégrante des manœuvres de correction de trajectoire en approche. C'est une fonction indépendante ajoutée à IMFD qui sera mise en service à partir du menu général invoqué par la commande **MNU** suivie de **Base Approach**.

Utilisation de Base Approach.

Pour illustrer les aspects fondamentaux de ce module particulier, nous allons reprendre l'approche de Mars, en supposant que l'on désire se poser sur la base Olympus et ce dès la deuxième orbite. On pourrait la survoler lors de la première boucle, mais il est préférable de se laisser un peu de temps pour préparer le vaisseau à l'atterrissage, et surtout on ne veut pas risquer de la survoler prématurément. En effet, si on passe au dessus dès notre freinage de capture, on n'aura pas assez de distance pour effectuer correctement la descente. Passons au

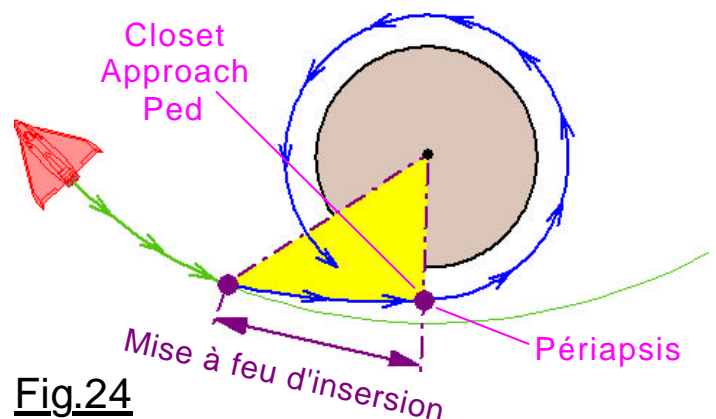
concret sachant qu'il est conseillé d'engager ce type de correction en approche quand on est encore assez loin de l'astre visé, mais que l'on vient de pénétrer dans sa sphère d'influence. On appelle le menu de base avec **MNU**. Puis on valide le module **Base Approach** qui ouvre une fenêtre telle que celle représentée en Fig.23 sur laquelle sont représentées la route actuelle en vert et la route calculée en bleu. Il faut ensuite impérativement préciser quel est l'astre visé : **REF** > mars qui est confirmé en 1. Puis, il faut préciser quelle est la base que l'on désire survoler : **TGT** > olympus. Ce module de calcul présente une multitude de possibilités, nous n'aborderons ici qu'un seul exemple d'utilisation. On choisit en 2 l'option locale **Orbit-Insert** qui conditionne la nature des divers paramètres que l'on peut imposer. En 3 on choisit le mode d'insertion en sens **Prograde** ou **Retrograde**. D'une façon générale, le mode rétrograde est réputé plus économique en carburant pour le freinage de capture, mais de mon point de vue je crois que ça reste à démontrer. La variable **Alt** en 4 permet d'imposer l'altitude du périégée, moment où sera effectuée la manœuvre de capture. Enfin en 5 on précise en combien d'orbites après la capture on survolera la base. Si on laisse la valeur zéro par défaut, le survol aura lieu dès le premier passage. Dans cet exemple on se réserve une orbite de préparation pour éventuellement commencer la descente dès la deuxième orbite qui nous placera dans les conditions idéales pour effectuer la descente.

Que nous ayons effectué la dernière correction de trajectoire avec le module **Planet Approach** ou avec la fonction **Base Approach**, dans les deux cas il faut commencer à anticiper les consignes relatives au freinage de capture gravitationnelle qui réalisera la mise en orbite.



4) La capture gravitationnelle pour se mettre en orbite.

C'est la phase la plus gratifiante de notre expédition, car elle en constitue l'aboutissement. Par ailleurs, c'est l'une des plus faciles à programmer, alors on ne va pas boudier notre plaisir. Avant d'atteindre le périégée P il faut anticiper la manœuvre de freinage pour la mise en orbite. Pour effectuer la capture gravitationnelle, **Planet Approach** n'est plus concerné, on va utiliser le module **Orbit-Insert** spécifiquement dédié à cette phase d'une mission interplanétaire. Pour être précis, au tout début de ce chapitre j'avais affirmé en page 14 que **Planet Approach** terminait son action au périégée, mais ce n'est pas tout à fait exact. Comme le freinage de capture impose généralement une longue combustion, on anticipe cette dernière d'une durée de **BT** pour qu'elle se termine au périégée comme le montre la Fig.24. Du coup, le domaine d'utilisation du module **Planet Approach** se termine un peu avant. En pratique, c'est bien avant l'arrivée au

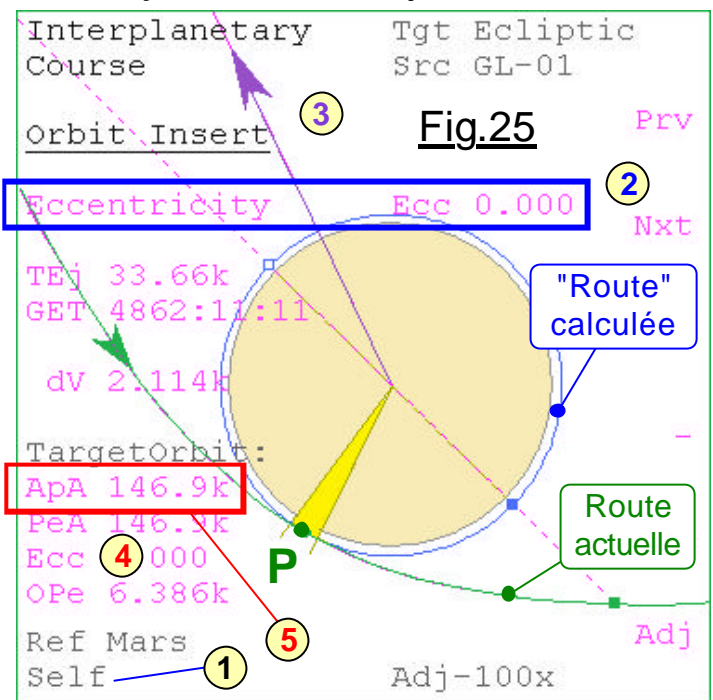


périastre qu'il faut le quitter pour invoquer **Orbit-Insert**. Cette dernière phase du voyage peut être oubliée si le vaisseau est une sonde qui ne fait que passer. On peut alors faire appel à une autre facette d'IMFD : Le module **Sling-Shot** qui nous permet de finaliser une aide gravitationnelle pour bénéficier de l'effet de fronde. Par contre, si la mise en orbite est prévue, il faut la programmer sans plus tarder et l'enchaîner une fois la dernière correction en approche effectuée.

Freinage de capture avec survol d'une base au sol.

C oncrètement, il suffit de programmer une circularisation de l'orbite à l'altitude du périgée **P**. La façon dont on arrive nous fera alors survoler la base visée exactement à l'orbite prévue et imposée dans **Base Approach**. Comme montré sur la Fig.25 il n'y a pas grand chose à faire. On réactive le module **Course** dans lequel on valide la fonction **Orbit Insert** avec la commande **Set**. Éventuellement on use de la commande **PRJ** pour valiser l'option **Self** en **1** de façon à observer la trajectoire vue de dessus.

En **2** on conserve la valeur **Ecc** nulle pour le paramètre **Eccentricity** ce qui conduira à l'orbite circulaire sans autre forme de procès. Rien d'autre à programmer, si ce n'est de valider le pilote automatique avec **AB**. Le rayon vecteur **3** nous situe sur la trajectoire d'arrivée représentée en vert. La flèche verte ajoutée montre le sens de l'approche, et nous ne ferions que passer puis continuer vers l'infini si le freinage n'était pas programmé. Mais entièrement réalisé avant **P**, IMFD va déclencher le freinage de capture qui se finira au périgée dont la zone est repérée en jaune sur le dessin. Toujours aussi bavard, en **4** il nous prédit l'avenir. Sur la Fig.23 nous avons programmé une altitude d'arrivée de 150 km, on voit qu'il y a une petite altération d'altitude en **5**. En réalité, durant le freinage il y a forcément diminution de l'altitude du périgée et **Base Approach** en tient compte. Ce phénomène qui peut se montrer très ennuyeux dans certains cas est explicité en détail en page 5 du document : **A LIRE**. On survolera correctement Olympus car cette faible différence n'est pas pénalisante. **Ope** sera la période de l'orbite circulaire finalisée. Avouez que **Base Approach** est vraiment facile à adopter.



Freinage de capture avec orbite calibrée.

N ombreux sont les exemples pour lesquels on désire réaliser une orbite dont l'ellipse présentera des caractéristiques bien précises. Par exemple pour une orbite Géosynchrone c'est la période orbitale qui compte, devant présenter une durée identique à celle du jour sidéral. Pour une orbite géostationnaire, contrainte identique. Mais de surcroît il faut qu'elle soit circulaire et équatoriale. Parfois, on désire rejoindre une station orbitale qui circule autour de l'astre de capture, dans ce cas si notre orbite présente des dimensions similaires, effectuer le rendez-vous en sera simplifié. Bref, une grande variété de cas peuvent nous amener à privilégier certains paramètres pertinents de l'orbite qui sera construite lors de la capture. Le module spécialisé pour cette phase d'une mission interplanétaire est encore **Orbit Insert**. Dans l' **ANNEXE** donnée en fin de ce document vous trouverez la liste des consignes que l'on peut imposer à cet outil très convivial. Sachez qu'**Orbit Insert** peut se programmer à l'extérieur de la **Soi** de l'**astre ciblé**. Mais dans ce cas il importe de bien imposer ce dernier comme **REFERENCE**, car par défaut ce sera l'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT** qui sera pris en compte. Il est également possible de programmer un point **P** d'arrivée à l'extérieur de la **Soi**, la capture sera réalisable pour autant que l'on reste relativement proche de la région d'influence de la planète d'arrivée.

ATTENTION : Le module **Orbit Insert** travaille exclusivement dans le plan de la trajectoire actuelle. Il ne faut pas compter sur lui pour engager juste à l'arrivée un changement d'angle **Eql**. C'est durant les corrections en approche que seront donc définies les caractéristiques du plan orbital. Par ailleurs, au même titre qu'il n'est pas possible de lancer à une inclinaison plus faible que la valeur de la latitude de la base de tir, toutes les inclinaisons à l'arrivée ne seront pas forcément possibles, aspect totalement similaire.

ANNEXE : À CHACUN SA MISSION :

TARGET INTERCEPT.

O ptimisé pour calculer des routes "lointaines", il raisonne en **trajectoires Képlériennes**. Autrement-dit, pour lui les astres sont des fantômes réduits à des points matériels **G**. Comme le montre la Fig.1 sa balistique consiste à viser un simple point qui sera une **CIBLE** désignée par nous dans la consigne avec **Tgt**. Quand on considère l'ensemble de l'orbite de transfert, c'est une courbe plane, mais quand on envisage l'arrivée et que l'on se trouve dans les parages de l'astre de destination, notre route ressemble à un segment de droite qui part du vaisseau **V** et qui aboutit au point **G**. Que l'on soit très loin pour s'éjecter, à mi-course ou proche de la **Soi**, dans tous les cas la mission de **Target Intercept** consiste à tout moment de faire converger au mieux la **SOURCE** désignée par la commande **Src** avec le centre de gravité **G** de la **CIBLE Tgt**. Son monde est tout compte fait assez tristounet. Un univers constitué de points matériels avec

chacun une masse et un pouvoir d'attraction gravitationnelle locale plus ou moins important. Ceci dit, quand le soir par une belle nuit d'hiver on admire dans le firmament la lointaine Jupiter ou l'admirable Saturne, nous aussi n'y voyons qu'un simple point plus ou moins lumineux, seule notre culture astronomique nous permet d'imaginer que ce point est en réalité une colossale sphère planétaire.

PLANET APPROACH ou BASE APPROACH.

B ien que fondamentalement ces deux modules cherchent à faire atteindre à notre vaisseau un point spécifique qui sera le périégée de notre trajectoire balistique toujours de type Képlérienne, ils travaillent globalement dans une optique de "cône centré" sur la droite qui joint **V** à **G**. Comme le montre la Fig.2 l'astre visé devient un peu plus complexe qu'un simple point et surtout, toute la subtilité des fonctions **Base Approach** et **Planet Approach** réside dans la façon dont on va préciser

la position du point **P** par rapport à l'astre visé. Dans tous les cas de figure, on commence par indiquer à IMFD une "hauteur" de passage **H** qui sera forcément le point le plus proche de rapprochement, car on arrive de l'infini et l'on y retourne sur une course hyperbolique. (Conséquence des propriétés présentées par les trajectoires Képlériennes) Le point **P** sera donc pour notre route hyperbolique un Périégée.

L'idée de base consiste à imaginer un plan de référence **R** perpendiculaire à la droite **VG** dans lequel on va préciser les **coordonnées polaires** du point **P**.

L'équateur local de l'astre servant de REFérence coupe forcément le plan **R** en deux points **E** et **E'**.

On peut imaginer que la droite **EE'** sépare ce plan en deux régions que l'on va désigner le **Haut** et le **Bas**.

On peut sans problème tracer toujours dans **R** une droite **AB** perpendiculaire à **EE'** qui sépare notre plan en deux régions que l'on va arbitrairement considérer comme la **Gauche** et la **Droite**. C'est ici que se joue toute la subtilité de cette façon d'avoir envisagé la désignation des coordonnées du point **P**. Le plan **R** devient une

sorte de rapporteur avec les graduations sur le **demi-cercle rouge** et celles sur le **demi-cercle bleu**. Si on veut arriver par la

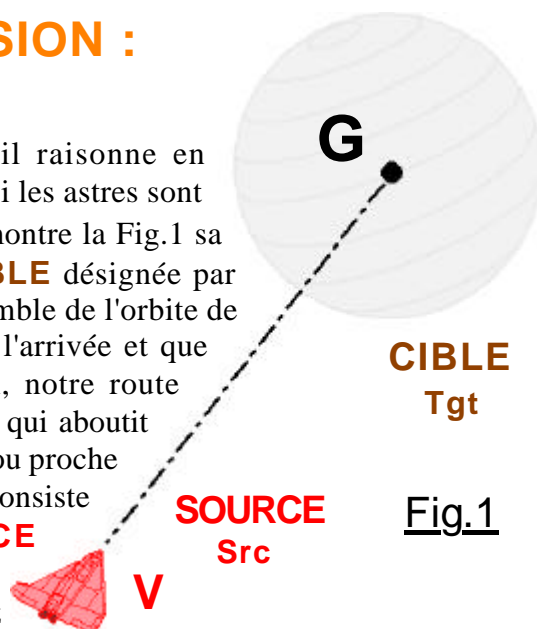


Fig.1

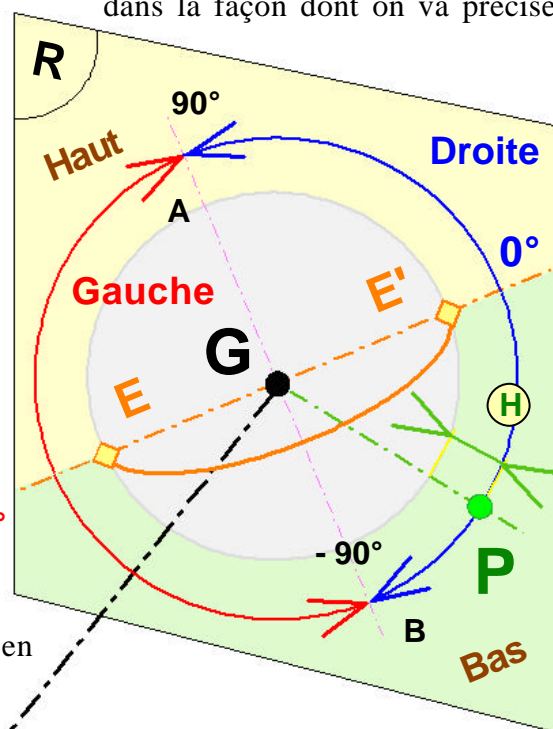


Fig.2

Gauche, pour circuler en sens **Rétrograde** on donnera des angles compris entre -90° et $+90^\circ$ en passant par la valeur 180° . Si au contraire on désire se présenter par la **Droite**, pour circuler en sens **Prograde** on donnera des angles compris entre -90° et $+90^\circ$ en passant par la valeur nulle. Si on cherche à contourner du bas vers le haut (Exemple représenté en Fig.2) on donnera des valeurs angulaires négatives. Réciproquement arriver par le Nord pour plonger vers le Sud devra utiliser des angles positifs. Cette façon d'avoir réparti les coordonnées angulaire n'est pas autre chose qu'une **CONVENTION de fonctionnement d'IMFD**. Il aurait tout aussi bien été possible d'employer la plage angulaire comprise entre zéro et 360° , mais avouez que pour retenir facilement ces notions de Nord/Sud et PROGRADE/RÉTROGRADE la convention aurait été tellement moins facile à assimiler. Chapeau bas aux concepteurs d'IMFD ... du génie à l'état pur.

Mais pourquoi parler d'inclinaison du plan orbital alors que l'on est pas sur une trajectoire bouclée et que surtout fondamentalement on ne fait que désigner un point **P** ? La Fig.3 ci-contre vas nous permettre de clarifier un peu mieux les choses :

Contrairement à une route assimilée à une notre trajectoire de **V** vers **P** sera une courbe est contenu dans un plan. Les lois imposent de surcroit que le plan de cette gravité **G** de l'astre ciblé. Bien que l'hyperbole soit ouverte, on lui affecte provisoirement le nom d'orbite car nous savons qu'au point **P** on va la transformer en ellipse. Du coup, le plan qui contient notre Trajectoire calculée **Tc** devient un plan orbital **Po**. Concrètement, ce Plan **Po** qui passe par **G** sera incliné par rapport au plan équatorial de la planète d'un angle nommé **Eql** qui fait partie des paramètres "naturels" que l'on doit préciser à **Orbit Insert**.

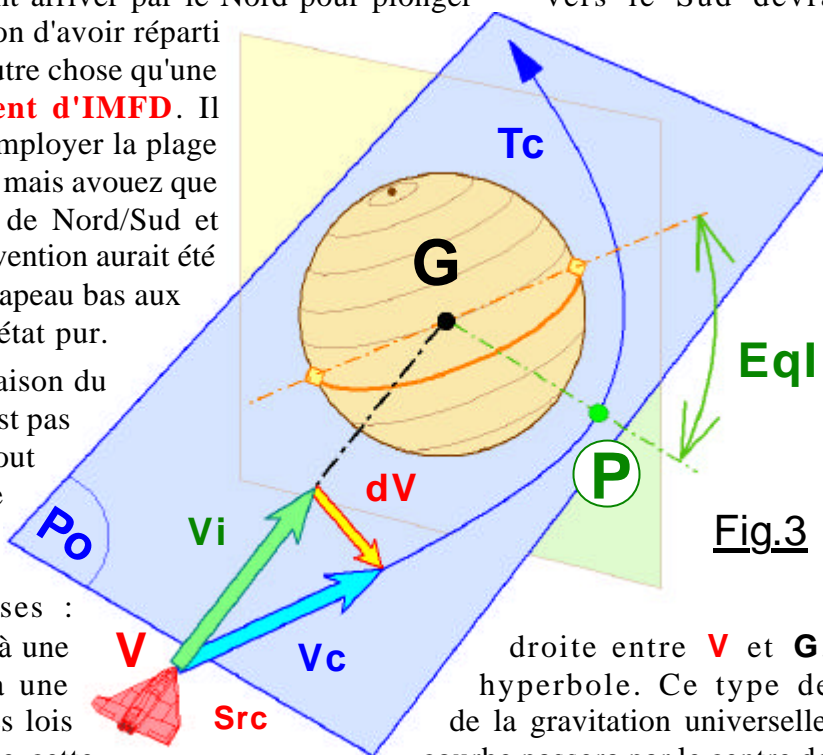


Fig.3

droite entre **V** et **G**, hyperbole. Ce type de de la gravitation universelle courbe passera par le centre de

LE PRIX À PAYER.

Compris, on indique l'altitude du péricée **PeA**, on complète en indiquant une inclinaison orbitale **Eql** ou une base à survoler, et IMFD en déduit la trajectoire calculée **Tc** qu'il trace en bleu sur son graphe. Que va -t'il alors se passer quand on active le pilote automatique avec **AB** ? IMFD sait que notre vitesse actuelle d'interception est **Vi**, et que pour aller au point **P** par la trajectoire **Tc** il faut que le vecteur vitesse devienne **Vc** : celui de la vitesse calculée. Il faut donc impulser au vaisseau une variation de vitesse **dV**. Comme l'appareil utilise généralement ses moteurs principaux, le pilote automatique commence par orienter le nez dans la direction du vecteur **dV**. Dans notre cas, le vaisseau tourne de plus de 90° . On comprend alors assez bien pourquoi, même pour des corrections de trajectoire de quelques secondes, souvent il faut faire tourner le vaisseau d'un angle important. Notez également que **dV** sera d'autant plus importante que **GP** est grand et que **VG** est petit. Donc, pour une altitude donnée, plus on sera loin, plus **VG** sera grand et plus l'angle de rotation du vecteur vitesse sera faible et moins il faudra de fuel pour effectuer la manœuvre.

LA DATE ET L'HEURE.

Respecter une date et une heure d'arrivée pour un vol historique n'est pas bien plus compliqué. Outre le fait que le vecteur vitesse **Vc** qui va construire la nouvelle trajectoire **Tc** doit être tangent à la nouvelle route au point considéré, sa grandeur influence notre vitesse, et par voie de conséquences le temps que l'on va consommer pour arriver au point **P**. Si on va plus vite, on va rattraper un éventuel retard, si on lambine,

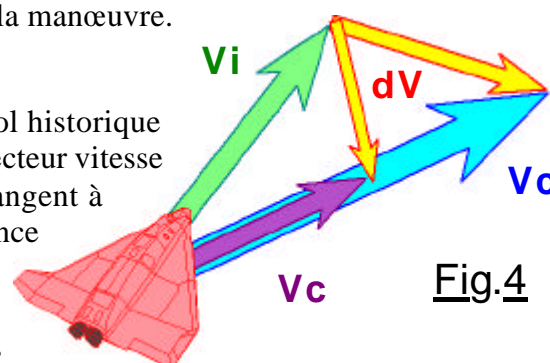


Fig.4

(Grandeur de la vitesse plus faible) on va résorber une possible avance sur les horaires historique. Donc, quand on va préciser à IMFD une date et une heure précise d'arrivée, en fonction de notre position actuelle il va se contenter d'orienter correctement le vecteur vitesse, et d'en adapter la grandeur pour se conformer à la directive temporelle. Par contre, il est de loin préférable d'avoir déjà imposé à **Planet Intercept** la date et l'heure d'arrivée de façon à ce que **Planet Approach** ne doive compenser que de faibles dérives temporelle. Si au dernier moment il faut une importante correction, soit elle sera impossible car il est trop tard, soit elle sera exagérément gourmande en carburant dépensé.

NOTE IMPORTANTE : Quand on impose à **Base Approach** le survol d'une base après avoir bouclé un certain nombre d'orbites, il part du principe que la capture sera effectuée sur une **orbite circulaire**, car à partir de l'altitude de freinage il en déduit la période orbitale, donc le temps qu'il faudra pour boucler les orbites successives et celui pendant lequel sous le vaisseau la planète va "se décaler" par rotation propre.

ORBIT INSERT.

Quand on arrive au périégée **P**, le plan orbital **Po** en principe est conforme à celui que l'on a programmé, notre altitude correspondra au périégée ou à l'apogée de l'orbite que l'on va "fermer" en freinant avec les moteurs orbitaux en orientation RETROGRADE par rapport à la trajectoire hyperbolique actuelle. L'ellipse qui va se construire restera dans le plan **Po** si on maintien bien le vaisseau en RETROGRADE. Tous ceux qui pratiquent le vol orbital arrivent rapidement à savoir qu'une manœuvre de type PROGRADE ou RÉTROGRADE modifie l'orbite "En face". Si on freine le juste ce qu'il faut, on obtiendra une orbite parfaitement circulaire tracée en bleu sur la Fig.5 ci-contre. Si on freine moins, l'orbite sera plus grande, car freiner revient à "tasser" l'ellipse. Du coup, "En face" on sera plus loin que le point **P**. Ce sera une Apogée, et **P** reste un périégée pour la nouvelle orbite tracée en rouge sur le dessin. Par contre, si on freine plus longtemps, l'ellipse sera encore plus petite, et "En face" l'altitude sera un Périégée. Du coup, le point **P** aura migré au grade d'apogée. En fin de compte, il serait parfaitement possible de freiner en manuel. On confierait le vaisseau au pilote automatique pour assurer l'orientation RETROGRADE, et l'on freinerait en surveillant le paramètre qui nous intéresse sur **Orbit MFD**. Par exemple **Ecc** si on veut circulariser, **ApA** si on veut une orbite montant à une certaine distance, celle d'un satellite à visiter par exemple, ou encore la période **T** pour respecter une durée orbitale prédéterminée. Le module **Orbit Insert** est un outils complémentaire qui pour cette phase terminale nous simplifie la vie. En outre, il optimise la manœuvre en répartissant le temps de combustion pour la terminer exactement au point **P** ce qui ne nous serait pas forcément facile à faire. Notez au passage qu'a l'instar des fonctions précédentes, **Orbit Insert** considère lui aussi la planète comme un point matériel **G** et construit l'orbite de capture dans le plan d'arrivée **Po**. La mission d'**Orbit Insert** consiste à **refermer la trajectoire autour de la cible pour en faire une orbite**, et ce en respectant divers critères imposés.

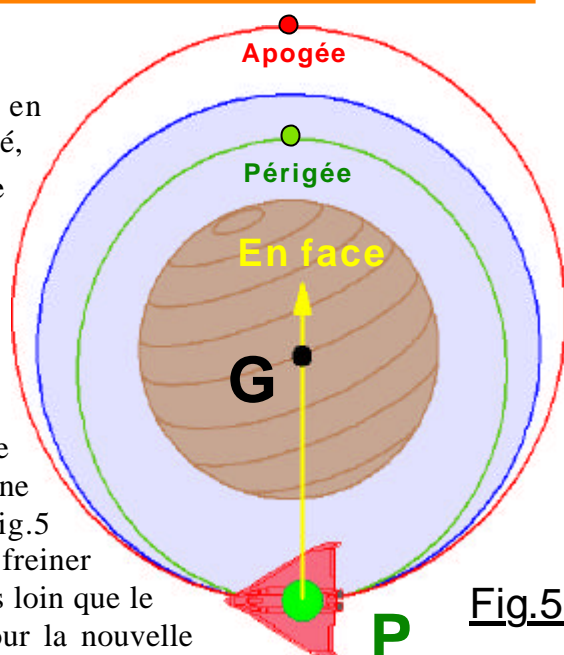
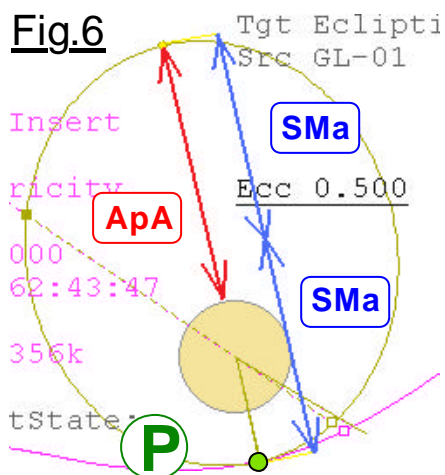


Fig.5



Paramètres possibles :

- **Eccentricity** : Allongement de l'ellipse.
- **Apoapsis** : Valeur de l'apogée **ApA**. Si on donne une valeur plus faible que celle de **P** on définit un périégée.
- **Major Axis** : Demi grand axe de l'ellipse **SMa**.
- **Orbit Period** : Période orbitale. (**T** sur **Orbit MFD**)

Comme tout bon "produit commercial" qui tient le haut du pavé, IMFD ne cesse d'évoluer. Au fil des années il a été complété par bon nombre de fonctions qui en améliorent encore les possibilités et la convivialité. Par exemple les modules tels que **Orbital**, **Sling-Shot** ou **Surface Launch** sont venu agrandir la famille initiale. Ce sont des plus incontestables. **Orbital** et **Surface Launch** ne servent pas au vol interplanétaire proprement dit. C'est la raison pour laquelle je n'en détaille pas ici les comportements. **Sling-Shot** est très utile quand on désire profiter des assistances gravitationnelles. Inutile de surcharger ce document déjà très encombré. Le tutoriel **GRAD TOUR** est particulièrement dédié à cette facette de l'utilisation d'IMFD. Vous y trouverez, du moins je l'espère, des explications simples sur la fronde gravitationnelle est la façon de la réaliser.

Seuls les aspect fondamentaux du vol orbital ont été abordés dans ce document, mais il reste encore une foule d'options à expérimenter telles que **Tangential Transfer**, **Re-Entry** et bien d'autres encore. Mais avec ce que je vous propose dans ces lignes, et en réalisant les vols inclus dans le manuel de pilotage, vous en saurez déjà largement assez pour vous balader dans tous les sens du système solaire.

Il me semble important de souligner que des explications telles que celles données dans l'**ANNEXE** et en particulier avec les Fig.3 et Fig.4 pourraient laisser à penser qu'effectuer les calculs reste relativement abordable. Ne vous y trompez pas. Les équations à soumettre à votre ordinateur sont extrêmement complexes. La facilité avec laquelle nous pouvons utiliser IMFD ne doit surtout pas éluder le mérite exceptionnel de son (Ou de ses) concepteur.

ATTENTION : Dans ce document j'ai commis un grand nombre d'affirmations péremptoires comme si il s'agissait de vérités bibliques gravées dans le marbre. NON, **CE NE SONT QUE DES SUPPOSITIONS PERSONNELLES**. Aussi, quand j'affirme des expressions du genre "IMFD fait ceci, IMFD se comporte comme celà", ce n'est que **MA VISION DES CHOSES**. Si ça se trouve, concrètement l'algorithme interne est différent. Donc, en aucun cas tous ce verbiage n'est un précis sur le fonctionnement intrinsèque d'IMFD. Alors à prendre avec prudence.

QUI SOMMES-NOUS ?	P1
LA GRAVITATION UNIVERSELLE : UN MOTEUR GRATUIT !	P2
LES FONDEMENTS D'UN VOL INTERPLANÉTAIRE..	P3
SPHÈRE D'INFLUENCE SoI.	P6
1) Le lancement.	P8
A) D'une planète mère à une autre ou d'un satellite fils à un autre..	P8
B) D'une "orbite mère" à un satellite fils.	P11
C) D'une "orbite fille" à un retour vers la planète mère.	P12
2) Les corrections en croisière.	P13
3) L'affinage de la trajectoire en approche.	P13
PARAMÈTRES ENVISAGEABLES POUR UNE INSERTION..	P14
MODES D'INSERTION..	P15
SYNCHRONISER UNE BASE AU SOL	P17
4) La capture gravitationnelle pour se mettre en orbite.	P18
Freinage de capture avec survol d'une base au sol.	P19
Freinage de capture avec orbite calibrée.	P19
ANNEXE : À CHACUN SA MISSION	P20

J ne peux vraiment pas résister à l'envie de remercier une fois de plus chaleureusement tous les développeurs bénévoles et ceux qui font vivre de près ou de loin cet univers fantastique qu'est **ORBITER** avec la palme ce jour à "**Monsieur IMFD**" puisque c'est son "bébé" qui dans ce document est à l'honneur.



Belle lurette : Étymologiquement c'est une locution qui résulte d'une contraction de l'expression un peu ancienne : "il y a belle heurette", le diminutif du mot heure. Précédé de belle avec ce diminutif de la notion de durée veut insister sur grande. Belle lurette : longue période, un peu comme : "Tu viens de faire une belle boude" ...