

LES POINTS DE LAGRANGE

Réalisé par votre serviteur Nulentout et achevé le 19 Avril 2011.

Avec ce thème qui va servir de prétexte pour nous organiser des petites excursions astronomiques très singulières, nous allons aborder l'un des chapitres les plus étranges dans le monde des attractions gravifiques. En réalité, le titre pourrait être "**RETOUR VERS L'ENFER**". Non pas parce que les vols proposés soient infaisables ou très difficiles, bien au contraire, mais parce que ces étrangetés que sont les points de Lagrange créent de sérieuses perturbations dans les "chakras" de nos MFD. Pour ce qui est des orbites inhabituelles nous allons être servis. C'est dans ce domaine si particulier que l'on peut constater à quel point Orbiter pousse le génie de la programmation dans ses retranchements les plus étonnants. Ce n'est pas un ADD-ON que nous allons aller collecter sur la toile, mais trois. C'est dire si cette chimère que l'on nomme "Points de Lagrange" dans les traités de mécanique facultative (1) fait rêver certains poètes et les incite à aligner des lignes et des lignes de code binaire pour que nous puissions nous fourvoyer dans Orbiter vers ces curiosités extraordinaires. (1) : Car abordé en faculté bien après le BAC ! On ne peut que les remercier de ce beau cadeau de magicien qu'ils nous font, et surtout nous ébahir face à leur savoir faire et leur compétence. Chapeau bas chers programmeurs, j'admire sans limite. Naturellement, avant de monter à bord de notre brave DG de base, (Je fais ce choix pour faciliter au maximum l'approche aux débutants dans Orbiter) un minimum de théorie s'impose pour comprendre ce qu'ensuite nous allons côtoyer dans notre simulateur.

LES POINTS DE LAGRANGE

Manifestement une mise AU POINT s'impose ! Oui, je sais qu'en l'occurrence ce jeu de mots est facile, mais je n'ai pas résisté à l'envie de vous le fourguer. Bon, avant de passer aux choses sérieuses, il serait de bon ton de vous présenter les génies sans qui ce tutoriel n'existerait pas. Quand Newton a exprimé la loi de la gravitation universelle, il a rapidement désiré décrire le comportement des corps célestes. En particulier, il aurait bien voulu compléter ses traités par le cas particulier de trois corps. L'un serait prépondérant en termes d'influence gravitationnelle, les deux autres de bien moindre masse. Bien qu'étant un génie exceptionnel, il n'y est pas parvenu. Ce problème de mécanique céleste "dit des trois corps de Newton" a passionné et tourmenté de nombreux mathématiciens car sa résolution n'avait rien d'élémentaire. C'est au mathématicien Joseph-Louis Lagrange que revient en 1772 le mérite d'avoir défriché ce redoutable tracassé en étudiant le cas d'un petit corps de masse négligeable soumis à l'attraction de deux autres corps considérablement plus massifs tournant autour d'un centre de gravité commun. Par exemple le Soleil et une planète. Le "microbe" est nommé aujourd'hui corps d'épreuve ou particule-test par les spécialistes de la question. Lagrange découvrit qu'il existait des positions d'équilibre pour le petit corps par rapport à la rotation globale du couple principal. En ces zones nommées POINTS DE LAGRANGE les forces de gravité du couple principal sont compensées par le mouvement orbital sous certaines conditions bien précises ... c'est parti pour quelques explications simplistes :



Môa môa je vous le dis : **En fait,**
c'est pas très compliqué. À
partir des équations du mouvement
qui peuvent être mises sous la forme $\delta\ddot{X} = 2\omega\delta\dot{Y} - \frac{\partial^2\Omega}{\partial X^2}\delta X - \frac{\partial^2\Omega}{\partial X\partial Y}\delta Y$
d'un système de quatre équations $\delta\ddot{Y} = -2\omega\delta\dot{X} - \frac{\partial^2\Omega}{\partial X\partial Y}\delta X - \frac{\partial^2\Omega}{\partial Y^2}\delta Y$
différentielles du premier ordre, on construit une matrice que l'on peut
diagonaliser, ce qui fournit une ébauche spatiotemporelle qui admet
pour pôle principal l'écart de convergence qui permet de
définir simplement L1 à L5.

Pour ceux que l'explication très abordable ci-dessus n'est pas suffisante, quelques compléments sont disponible en tournant cette page ... OUFFFFF !!!

Considérons la Fig.1 qui va nous permettre de partir de zéro, et surtout de tordre le cou à une fausse vérité véhiculée depuis toujours dans les croyances populaires. Attention, ici populaire n'est pas péjoratif, mais uniquement à prendre au sens de "néophytes". Contrairement à ce que l'on affirme trop souvent, la Lune ne tourne pas autour de la Terre. C'est l'ensemble Terre / Lune qui tourne autour d'un centre de gravité commun **G**.

Les deux corps de centres de gravité respectifs **G1** et **G2** vont donc tourner autour du centre commun **G**, mais les distances **D1** et **D2** sont inversement proportionnelles aux masses respectives des deux corps. En général, dans le système solaire tous les satellites présentent des masses très faibles en comparaison de celle de leur planète de capture. De ce fait, la distance **D1** devient de loin inférieure au diamètre de l'astre principal. Le centre de gravité commun **G**, comme montré sur la Fig.2 se trouve très proche de **G1**. On

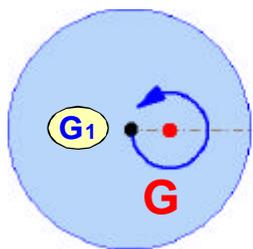
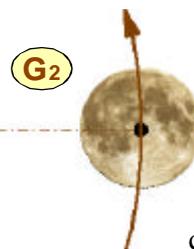


Fig.2

ATTENTION : Les deux figures ne sont pas à l'échelle.



peut alors convenir du fait que le satellite tourne autour de **G1** sans commettre une grossière erreur. C'est le cas pour tous les astres de notre système solaire sauf pour Pluton / Charon qui constituent un cas très particulier.

Pour ce couple, **G** se trouve à l'extérieur de la sphère plutonienne. Certains experts du reste considèrent cette alliance comme relevant de deux planètes, thèse qui n'est pas encore tranchée. Pour tout ce qui suit, nous allons considérer une organisation de trois corps :

- 1) L'**ATTRACTEUR LOCAL PRÉPONDÉRANT**. (**ALP**)
- 2) Le satellite principal **S** formant le couple de référence. (De masse très inférieure à celle de l'**ALP**.)
- 3) Le corps d'épreuve ou particule-test, "microbe" de masse très inférieure à celle du satellite **S**.

Le couple **ALP** et **S** forment une structure "indéformable" qui tourne dans le plan de l'orbite du satellite **S**. Par exemple, pour le couple Terre/Lune la période est celle de notre astre nocturne, soit environ 29,53 jours. Pour le couple Soleil/Terre la durée pour faire une révolution augmente à 365 jours 6 heures 9 minutes et 4 secondes. Pour le couple SOLEIL/Mercure on passe à environ 88 jours terrestres etc.

PARTICULARITÉS DES POINTS DE LAGRANGE

Quand trois corps de Newton respectent les ordres de grandeur déjà évoqués en ce qui concerne le rapport des masses, Lagrange a démontré qu'il existait cinq points de stabilité orbitale nommés avec originalité **L1**, **L2**, **L3**, **L4** et **L5**. Ces cinq points ont la particularité de se trouver dans le plan orbital **Ref** du satellite **S** autour de l'astre central **ALP**. Le nom donné à ces pôles particuliers est conventionnel. Ils sont repérés sur la Fig.3 et sur la Fig.4 quand on regarde le plan **Ref** du **Nord** vers le **Sud**, la direction étant déterminée par l'astre attracteur principal. Trois de ces points **L1**, **L2** et **L3** sont sur l'axe qui joint **G1** et **G2**. Mais en fonction des masses des deux corps de référence ainsi que du rayon orbital de **S**, les deux points **L1** et **L2** peuvent se trouver à l'intérieur du satellite **S**. De ce fait ils n'ont plus d'existence significative. Ils ne seront alors plus pris en compte dans les MFD dédiés à ce thème d'études et ne sont alors plus représentés sur les pages graphiques.

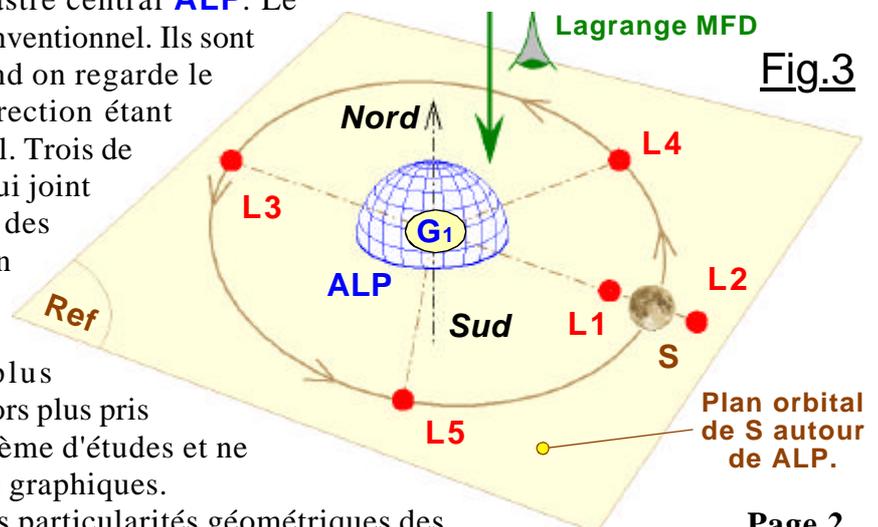


Fig.3

Analysons plus finement sur la Fig.4 les particularités géométriques des

Les points L4 et L5 bien que situés à des maxima du potentiel énergétique sont paradoxalement les plus stables. L1, L2 et L3 sont les moins bien ancrés, donc les plus délicat pour y assurer la présence "immobile" d'un corps quelconque, qu'il soit naturel ou artificiel.

Notons au passage qu'un objet légèrement décalé d'un point **L** va s'en éloigner dans un premier temps en direction radiale, avant de voir sa trajectoire s'incurver sous l'influence des forces de Coriolis. Sous certaines conditions, la force de Coriolis peut obliger l'objet à revenir tourner autour du point de Lagrange, à l'instar des nuages qui dans une dépression ne se dirigent pas vers le centre de la dépression, mais adoptent une trajectoire en spirale convergente autour de celui-ci. Mais plus généralement le corps va dériver sous l'influence de l'**ALP** et décrire dans le plan **Ref** des trajectoires "Pseudo Épicycloïdales". (*On est mal !*) Rassurez-vous, ce préambule n'a pas d'autre but que ... de frimer, et surtout d'annoncer un peu en avant première que les trajectoire que nous allons observer dans Orbiter risquent plus de ressembler à des pâquerettes en fleur qu'à des ellipses bien conventionnelles.

Théorie : Uniquement pour ceux qui veulent en savoir plus.



Sans entrer dans les détails, l'équilibre en un point **L** est fonction de l'action de gravitation exercée en ce point par **G1** et **G2**, mais également des forces fictives d'inertie énoncé par Coriolis. OUP! !!!

(C'est ce que l'on nomme improprement la Force centrifuge qui en réalité n'existe pas)

Ces forces fictives d'inertie énoncées par Coriolis résultent du fait que l'on raisonne dans un référentiel tournant **Ref** qui par nature est non inertiel. C'est à dire que ce plan dans lequel on construit la figure géométrique tourne par rapport à l'univers, et de plus subit des accélérations angulaires.

C'est un peu comme la personne qui se trouve assise sur le mignon petit cheval blanc du manège de la fête locale. Pour elle, les autres animaux de bois sont immobiles. C'est le reste de l'univers qui se déplace. Les éléments que cette personne regarde bougent, et elle peut en déduire qu'ils sont soumis à des forces pour les obliger ainsi à circuler autour d'elle. Ces forces n'existent pas, c'est uniquement le fait d'oublier que le manège tourne qui engendre pour l'observateur des conclusions ... de Coriolis.

Périodes caractéristiques en L1 et L2 pour les couples à grand rapport de masse.

On prendra comme exemple le cas des points **L1** et **L2** du système SOLEIL / TERRE, éléments choisis en fonction de l'actualité scientifique et du vol qui sera proposé en application pratique.

Des satellites artificiels peuvent être envoyés en ces points du système SOLEIL / TERRE, et en particulier en **L2** pour la mission **Herschel-Planck**. Pour de tels satellites des corrections de trajectoires régulières doivent être appliquées afin de conserver la sonde au voisinage du point de Lagrange. Dans le cas où le rapport de masse des deux corps du couple est élevé la valeur de la période d'instabilité peut être évaluée. Dans le cas du système SOLEIL / TERRE, T est légèrement supérieur à 365 jours, le temps caractéristique d'instabilité est de l'ordre de 23 jours et 4 heures.

Validité du concept de Lagrange.

Le concept de points de Lagrange prévaut pour tout type d'orbite, y compris des trajectoires elliptiques. On peut donc définir ces points dans tout système à deux corps liés par gravitation universelle. Par contre les trajectoires stables ou instables autour des différents points **L** dépendent explicitement de la circularité ou de l'excentricité de l'orbite de **S**.

Applications :

Étant donné les instabilités évoquées plus avant, on ne trouve pas d'objet astronomique naturel piégé dans les zones **L1**, **L2** et **L3** du système solaire. Cependant ils représentent de l'intérêt pour les recherches scientifiques car ils permettent des économies de combustible pour le contrôle d'orbites diverses. Ceci n'est pas valable pour le point **L3** car trop éloigné de la Terre.

Plusieurs missions spatiales utilisent **L1** et **L2**. Par exemple la sonde SoHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) un laboratoire d'observation du Soleil située depuis 1995 au point **L1** à 1,5 million de km de la Terre. Ce point a déjà été occupé pour la première fois en 1978 par le satellite ISEE-3.

Le point **L2** est particulièrement bien adapté pour observer l'univers profond. Depuis 2001 son voisinage est occupé par le satellite WMAP chargé d'étudier le vide diffus lointain. Il a été rejoint en 2009 par les sondes **Planck** et **Herschel** et le sera par Gaia en 2011, par le James Webb Space Telescope en 2014.

L4 et **L5** étant stables, on y trouve de nombreux corps naturels. Dans le système Soleil/Jupiter plusieurs

centaines d'astéroïdes, (Astéroïdes Troyens évalués au nombre de 1800 en 2005) s'y agglutinent. On en compte quelques individus dans les couples Soleil/Mars et Soleil/Neptune. Il semblerait que le couple Soleil/Saturne ne soit pas en mesure d'en retenir à cause des perturbations générées par sa voisine géante Jupiter. Dans le système Soleil/Terre il n'y a pas d'objet connu, mais on a observé une légère surabondance de poussières en 1950. De légers nuages de poussières sont également présents pour le système Terre/Lune, raison pour laquelle on a renoncé à y mettre à poste un télescope spatial comme il en avait été question à un moment.

Science-fiction.

Les auteurs de science-fiction aiment placer une Anti-Terre au point L3. Cette idée date d'avant la mécanique newtonienne qui montre qu'elle est irréaliste car le point de Lagrange n'est crédible que pour un objet de masse négligeable par rapport aux deux autres éléments du couple de base, ce qui n'est pas le cas d'une planète jumelle. L'instabilité de l'astre en question, "Anti-Terre" placée en L3 ne resterait sur son orbite qu'un peu moins d'un mois dans le cas idéal.

La littérature affectionne également les gigantesques stations spatiales aux points L4 et L5 du système Terre/Lune favorisées par la stabilité de ces zones.

Coté cinéma, le vaisseau oublié au point L1 de Jupiter et Io entre *2001 l'Odyssée de l'espace* et revisité lors de *2010 : Odyssée deux* doit être déplacé dans la narration filmée, car étant métallique il est perturbé par la magnétosphère intense de Jupiter.

On voit que ces étranges entités virtuelles que sont les points de Lagrange attisent les imaginations.

C' est bien beau toute cette théorie fumeuse, mais quand est-ce que l'on va s'amuser dans Orbiter ? Ben ... tout de suite, juste le temps d'aller chercher quelques **L** au magasin du coin et à nous les belles aventures Lagrangiennes. Outre le fait que nous allons enfourcher une fois de plus notre monture galactique, ce bon vieux et fidèle DG, je vous propose cette récréation comme prétexte pour faire découvrir à certains deux petits MFD dont j'affectionne particulièrement la convivialité, en plus d'IMFD qui sera incontournable pour débiter, ainsi que trois ADD-ON spécifiques aux points de Lagrange.

LES MAINS DANS LA GRAISSE.

P assage obligé à toute "nouveau" dans Orbiter, il faut aller chercher les compléments nécessaires aux vols envisagés, et installer ces derniers dans notre simulateur. En réalité, cette phase est ultra classique, sans surprise et ne prendra que quelques minutes. On va procéder par ordre, meilleur moyen pour évacuer rapidement cette servitude obligatoire.

À tout seigneur, tout honneur : **IMFD**. En principe, vous devez avoir ce calculateur déjà installé. Si ce n'est pas le cas, foncez sur <http://www.orbiterfrancophone.com/index.php?disp=tutorials>

Vous téléchargez **IMFD 5.5 facile**. Ce n'est pas IMFD à proprement parler, (Loin s'en faut !) mais un tutoriel qui vous explique comment l'installer. Rassurez-vous, il ne sera pas du tout utile d'apprendre en détail à vous en servir. Pour ceux qui veulent faire l'impasse, il suffira d'effectuer "aveuglément" les manipulations du tutoriel et la famille Lagrange sera au programme des festivités.

Fuel transfer } Deux "petits" outils bien utiles **mais pas indispensables** que certains vont découvrir.
Watchdog }

Comme pour IMFD, à la même adresse vous téléchargez **Livret de divers MFD**, document qui décrit sommairement une tripotée de MFD et en donne un résumé des commandes. Bien naturellement il ne sera pas indispensable de réaliser le manuel, vu que dans ce petit tutoriel je donnerai

l'intégralité des commandes à utiliser. **C'est en haut des onglets du livret que vous trouverez les liens pour télécharger les divers compléments**, raison pour

laquelle j'insère ici hypocritement cette auto publicité. Pour

poursuivre nos emplettes, il nous reste à télécharger et installer

deux MFD dédiés aux points de Lagrange disponibles sur :

<http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=3644>

et sur <http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=4582>.

Pour terminer nos commissions on va chercher le magnifique

logiciel qui permet de revivre la fameuse mission **Herschel - Planck** du 14 Mai 2009.



Chic chic chic des points de Lagrange même que sur les dessins on dirait des baballes rouges.

Vous foncez sur <http://orbithangar.com/searchid.php?ID=3970> et ramenez dans le giron de votre disque dur ce magnifique complément qui permet de nous confronter à l'une des missions les plus originale d'Orbiter. Non seulement on disposera du lanceur et des deux sondes, mais en outre un MFD spécifique au maintien à poste d'un vaisseau en **L2** dans le couple SOLEIL/TERRE nous est proposé avec description de la mission. Du grand art. Peu de commentaires pour installer tout ce petit monde, car tous ces fichiers s'installent de façon bien classique. Par contre, ne pas oublier de valider les cinq Modules dans le **LaunchPad** comme montré sur la Fig.6 ci-contre.

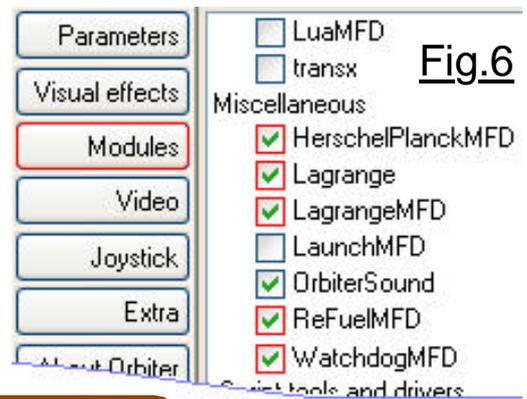


Fig.6

UN PEU DE POÉSIE

Depuis des lustres, les astronomes ont pensé que ces régions étranges où la matière peut stagner devaient contenir des éléments de la nébuleuse primitive. Des agrégats de matière première qui n'ont pas été compactées pour former des astres, mais délaissées et toisées de haut par le reste des nobles objets répertoriés dans notre système local. De là à envisager une expédition vers l'un des points de Lagrange il n'y avait qu'un petit pas à franchir que seul le manque de financement a relégué aux oubliettes. C'est chose faite, les budgets sont votés, l'équipage recruté, les pleins sont faits et le pare-brise bien propre. Sanglé dans notre DG, ouvrons l'ordre de mission :

Mission LIMA 1 :

Décollage de Brighton Beach, la base la plus proche du point L1, naviguer jusqu'à ce point, s'y positionner et utiliser tous les dispositifs du bord pour en explorer la zone. Bien que réputé l'un des pôles L les plus instables, les radars terrestres semblent y détecter un objet de masse importante. Le profil de mission est entièrement laissé à l'initiative du commandant de bord monsieur Egnargal.

TOP NON SECRET

Pourquoi avoir choisi **L1** ? C'est l'un des points les plus délicats à atteindre. Par ailleurs le vaisseau sera en permanence en visibilité de la Terre et de Brighton Beach, les liaisons radio seront permanentes et la possibilité de revenir sur la Lune ou en orbite terrestre procure un maximum de sécurité pour l'équipage.

Première phase de la mission : Établir les différentes étapes du profil de mission en utilisant nos connaissances relatives aux points de Lagrange. Toute mission orbitale prudente commence par un lancement en orbite basse, avec sur cette boucle d'attente la vérification et la préparation du vaisseau avant de procéder à la manœuvre d'éjection vers l'objectif lointain. On va se fixer pour orbite d'attente une altitude d'environ 300 km qui convient parfaitement autour de la Lune. Pas gourmande en fuel, facile à ajuster. Le lancement sera effectué de façon classique vers l'Est, mais ce n'est pas aussi important que sur Terre, car l'effet de fronde à raison de un tour tous les 28 jours n'a rien à voir avec le bénéfice qui en résulte sur Terre. Notre plan orbital au mieux sera incliné de la latitude de notre base soit environ 41.125°, on ne peut pas faire moins. En résumé ... du banal.

Nous savons que les points de Lagrange sont localisés sur le plan orbital de la Lune dans son mouvement de capture autour de la Terre. La deuxième étape de la mission va donc consister à orienter le plan orbital du vaisseau pour le faire coïncider avec **Ref**. Encore de la routine. Une fois sur cette orbite, nous analyserons posément la situation pour effectuer le lancement vers notre objectif **L1**. Chargez la situation **LAGRANGE 1.scn**, on se retrouve bréglé dans GL-01 sur le PAD 1 de Brighton Beach.

- *Lima 1 pour BBB, parés au décollage.* (BBB : Base Brighton Beach tout simplement)

- *Trois B pour Lima 1, vous êtes autorisés au lancement. Pas de trafic dans la zone. Un charter en approche suborbitale, mais sur voie de dégagement. Pression nulle, vent nul, météo KAVOC !*

Faut pas lambiner. Les charters commerciaux doivent assurer leur rentabilité, d'autant plus que le personnel au sol attend pour le déchargement du fret. Il ne faut pas trop le faire attendre question de courtoisie. Tous les témoins sont au vert.

Clic : **Map** MFD à droite pour voir la trajectoire se construire.

Clic : **Orbit** MFD à gauche pour surveiller l'altitude du périhélie.

Clic : **SFRCE MOON** sur le HUD pour surveiller le cap de lancement.

- BBB de Lima 1, décollage PAD unité pour une standard équatoriale à 300 kilo en prograde.
Vérifiez que les RCS soient en mode ROT.

Pour les nouveau-venus dans mes tutoriels.

CONVENTIONS : Dans mes documents, j'utilise souvent les polices de caractère et les couleurs pour vous permettre facilement de différencier la nature des éléments précisés. D'une façon générale :

Kaki pour des valeurs et entités affichées sur les MFD.

Vert pour nommer les outils de pilotage et de navigation.

Orange pour les affichages généraux sur l'écran d'Orbiter.

Caucaze : inscription sur l'un des boutons de commande latéral d'un MFD.

• **TGT** > moon ↵ > : Une commande avec **en violet une saisie d'information** au clavier.

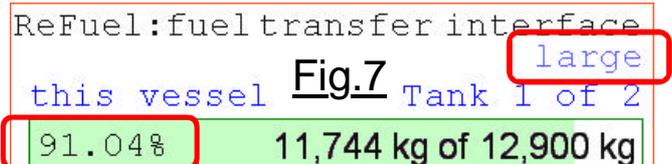
[Inser] num pour augmenter la poussée des hovers à environ **42.2k**, c'est suffisant pour qu'il quitte lentement le sol sélène. "Vario positif" : **G** pour rentrer le train d'atterrissage alors que nous décollons à la façon *Faucon Milénium*. Touche **3 num** pour orienter le nez de l'appareil au 90.

[Ctrl] + num pour pousser à leur maximum les moteurs orbitaux et prendre de la vitesse. Cabrer immédiatement de +10° pour faire augmenter l'altitude du périégée tout en augmentant la vitesse horizontale qui va construire notre orbite Képlérienne. Vers 3 km d'altitude, **[Suppr] num** jusqu'à couper entièrement la poussée des hovers trop gourmands en carburant. Maintenir le cap de 90° et le cabrage de +10°. Surveiller la valeur d'**ApA** sur **Orbit** MFD. Elle se met à augmenter très rapidement. Dès qu'elle avoisine les 80Km, réduire la poussée des moteurs avec **[Ctrl] - num** à environ 100 k pour calmer le jeu. Au fur et à mesure que l'altitude d'**ApA** s'approche de 300k, réduire la fougue de notre DG, pour tenter de respecter au mieux cette valeur de 300 km. C'est strictement sans importance, juste pour le plaisir de montrer notre maîtrise du pilotage aux passagers scientifiques qui en place arrière admirent la vue par les hublots. Dès que la valeur souhaitée est atteinte : * **num** pour couper immédiatement les moteurs. On se trouve à environ 35 km d'altitude, notre vitesse **TAS** est d'environ **1.662k**. La valeur d'**Inc** avoisine 41.08° qui correspond bien à ce que l'on pouvait obtenir de plus favorable.

Au fait, pourquoi cette obsession à désirer une inclinaison **Inc** faible ?

Tout simplement parce-que le plan orbital de la Lune dans son mouvement autour de notre globe nourricier fait 5,227° et que les points de Lagrange sont dans ce plan. Il faut donc s'attendre à une valeur analogue d'inclinaison du plan **Ref** par rapport à la Lune. Plus notre plan de lancement sera proche de cette valeur, plus il sera économe d'effectuer le changement d'orientation pour rechercher la coïncidence impérieuse à toute manœuvre de rendez-vous économique en fuel.

Il nous reste **11.7k** de carburant annoncé en haut à gauche de l'écran. Personnellement je préfère une évaluation en % plus facile à interpréter en terme de "combien on a consommé" ou surtout de "combien il me reste pour la suite de la mission". Alors on va convertir à l'aide du MFD de gauche par exemple :



ReFuel: fuel transfer interface
this vessel Fig.7 Tank 1 of 2
91.04% 11,744 kg of 12,900 kg
large

• **SEL** > **Fuel transfer** > (On se limitera ici à cette utilisation très restreinte de cet outil bien commode)

On constate sur la copie d'écran Fig.7 qu'il reste 91% dans **Large**, c'est à dire le réservoir principal qui alimente les moteurs orbitaux. C'est autrement plus parlant que **11.7k** qui de plus veut traduire 11700 kg de fuel, soit 11,7 tonnes et non kg comme le laisse croire l'affichage au premier abord ! Cette information sera donc à utiliser toujours avec grande méfiance.

Le vaisseau poursuivant sa lancée, passez en vue extérieure. Éloignez la caméra pour observer la Lune dans son ensemble. Orientez l'objectif de tous les cotés. La beauté du panorama est à couper le souffle, on comprend pourquoi les passagers d'Apollo qui ont fait le voyage ne trouvaient pas les mots pour décrire ce qui lentement défile actuellement sous notre regard.

Bon, faisons-nous violence et revenons dans le cockpit. Notre prochaine étape va consister à circulariser l'orbite, manœuvre qui sera effectué quand on arrivera à l'apogée. Comme **Orbit** MFD annonce un **ApT** d'environ 1600 secondes, soit presque 27 minutes, nous allons utiliser l'accélération temporelle mais intelligemment, c'est à dire en prenant les précautions pour ne pas ralentir ... trop tard !

• **SEL** > **Watchdog** > **NEW** > **ApT** >

Par cette commande on est en train de définir un paramètre spécifique orbital qui sera surveillé automatiquement par les automatismes du vaisseau. En l'occurrence l'approche du périégée de l'orbite actuelle.

• **ApT** > 120 ↴.

On définit ici une anticipation de deux minutes qui seront bien utile pour placer le vaisseau en PRO GRD, orientation nécessaire pour accélérer et relever le périégée à 300 km.

• **GO** >  **Attention : commande impérative pour activer "le chien de garde"**.

On peut passer sans autre forme de procès à une accélération temporelle de **Wrp 1000x**. Laissez faire, **Watchdog** va ramener automatiquement le temps à l'écoulement normal deux minutes avant d'arriver à la nullité de **ApT**. Pas génial cet outil de surveillance ?

Repasser en mode **Orbit** MFD. Activez l'automatisme **PRO GRD**.

Quand  rejoint , le DG est correctement orienté. Avec **+ num** activer à leur maximum les moteurs orbitaux pour augmenter la vitesse orbitale et relever la valeur du périégée. Surveiller la valeur d'**Ecc**. Attention, quand elle s'approche de zéro elle diminue très rapidement. Pour circulariser avec précision, utiliser les RCS en mode **LIN**. Ici aussi, avoir exactement **Ecc = 0.00** est strictement sans importance. C'est uniquement pour le plaisir du pilotage précis, mais aussi pour maintenir notre compétence de pilote

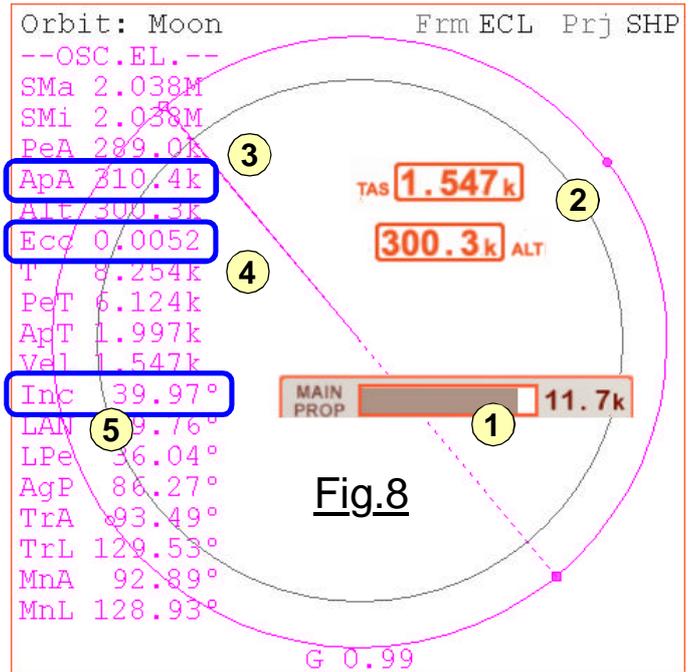
sur machine DG. Pour ceux qui désirent repartir avec les valeurs exactes obtenues par votre narrateur, vous pouvez charger dans Orbiter la scène conforme nommée **LAGRANGE 2.scn**. La Fig.8 en donne un résumé de la situation, un bilan s'impose :

En **1** on note qu'il nous reste 90.5 % de fuel une fois cette information convertie avec **Fuel transfer**. La circularisation n'a en fait consommé qu'un petit demi pour cent de Fuel. En **2** nos conditions orbitales actuelles. En **3** on constate que la manœuvre de circularisation a également pour effet d'augmenter de 10 km la valeur de l'apogée ce qui du reste est sans importance. On observe en **4** que même avec les RCS on n'a pas obtenu exactement zéro. C'est normal. N'ayant pas assez anticipé la manœuvre, une fois avoir dépassé l'apogée il devient impossible en mode **PRO GRD** de circulariser par augmentation "en face" de la valeur du périégée. Autant dire que notre orbite actuelle reste plus que parfaite comme

trajectoire d'attente. On peut donc passer à l'alignement des plans. Notons au passage en **5** qu'**Inc** a également un peu évolué durant la poussée de circularisation. Toujours sur **Orbit** MFD :

• **TGT** > **By name ...** > **L1** ↴. (Lette L minuscule possible)

On désigne **L1** comme cible. On constate que l'inclinaison sur l'écliptique de son plan orbital fait 5,21°.



TRICHEUR ! MAGOUILLE !



Il me semble important ici de procéder à des aveux.

Quand on lance une fusée vers des points de Lagrange, dans la réalité il ne faut pas trop compter sur des poteaux indicateurs pour trouver notre route. C'est uniquement à l'aide des centrales à inertie, des systèmes de pointage stellaires de la fusée, ainsi que des données collectées par la couverture radar que la sonde sera correctement envoyée vers ce qui n'est qu'une entité totalement virtuelle. Un simple point noté sur une carte 3D. Aussi, pour vous simplifier la vie, j'ai placé en **L1** une petite surprise que vous découvrirez en arrivant. Cet objet sera vu par Orbiter comme un vaisseau de sorte que nous puissions utiliser certains outils d'orbiter pour trouver notre route dans le vide sidéral.

Ceci dit, un bien mal acquis ne profite jamais. Nous serons punis !

En effet, cet objet étant en un point **L** déstabilise un peu certains calculateurs d'Orbiter, car il se trouve avec des conditions balistiques pas très en accord avec les calculs Képlériens. Amusez-vous par exemple dans **Map** MFD de désigner **L1** comme cible **TGT**.

Bernique ! Inconnu au bataillon, pas vu ... pas pris ! Comme le "vaisseau" **L1** est "immobile" dans **Ref**, **Map** MFD ne le voit pas en tant qu'objet orbitant autour de la Lune, ou de la Terre.

Quand je vous disais que la famille **L** allait nous réserver bien des surprises ...

- **SEL** > **Align Planes** > **TGT** > **By name ...** > **l1** ↵.

On constate que l'inclinaison relative **Rinc** fait 36.66° qui ne correspond pas à la différence des deux inclinaisons orbitales de GL-01 et de L1. En effet, $39.97^\circ - 5.21^\circ = 34.76$ et non $36,66^\circ$. La raison en est simple : La ligne des nœuds des deux plans avec l'écliptique n'est pas confondue, d'où cette différence.

Comme chaque fois qu'il faut aligner des plans, une fois la cible désignée, on oriente en **NML +** quand on arrive à **DN** et en **NML -** au nœud **AN**. Le calculateur **Align Planes** nous dit à quel moment pousser. Au début on exécute avec les moteurs orbitaux à plein régime. Vérifier durant la brûlure que la valeur de **Rinc** évolue en diminuant. Si ce n'est pas le cas c'est que l'on a dépassé la période favorable ou que le DG est mal orienté. On observe sur **Map** MFD que lentement la trace orbitale devient de moins en moins courbe, preuve que le plan émigre vers l'équateur. Terminer avec les RCS. Quand **Rinc** devient strictement nul, les plans orbitaux de GL-01 et de **L1** sont parfaitement alignés. La Fig.9 correspond aux caractéristiques de notre orbite une fois cette manœuvre achevée. En **1** l'inclinaison orbitale est correcte, mais l'on voit immédiatement en **2** que l'orbite n'est plus du tout circulaire. En effet il ne reste plus que 85,71% de carburant. On a consommé 4.79 % du réservoir ce qui traduit une longue brûlure, couteuse en énergie. On comprend déjà pourquoi dès le départ il fallait optimiser l'azimut de lancement. Surtout, la poussée a été effectuée une bonne partie du temps avec un éloignement important des nœuds **AN** et **DN**. Il en résulte une efficacité moindre en termes d'économie de fuel, **mais surtout une incidence plus grande sur la vitesse orbitale**, donc une modification de l'altitude "en face". Bref, **Ecc** fait 0.02 ce qui est bien moins bon que les 0.0052 précédent. Nous pourrions parfaitement nous en contenter, mais à titre de préparation pour la suite de cette mission, on va apprendre à circulariser avec IMFD.

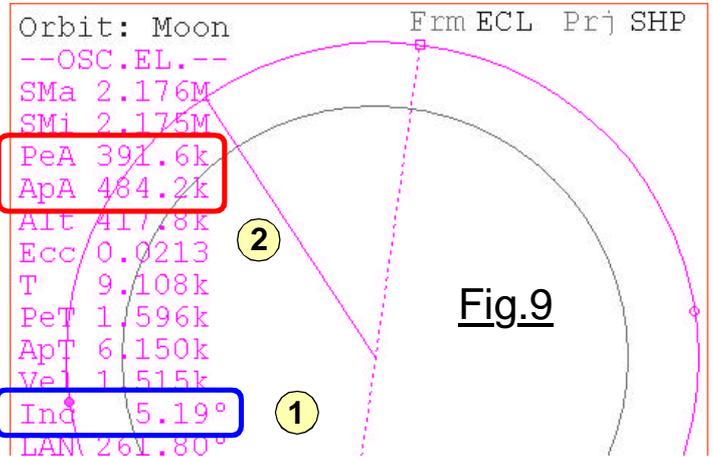


Fig.9

Circularisation de l'orbite à 450 km d'altitude.

Vous avez tous compris que nous allons demander la circularisation quand le vaisseau passera à une altitude précise. Comme redescendre nous ferait perdre de l'énergie globale sur l'orbite, on va fixer à 450 km la valeur à surveiller : Pour le plaisir un nombre "rond". Pour gagner du temps, nous allons naturellement utiliser l'accélération temporelle. Pour ne pas louper "notre cible", nous allons une deuxième fois solliciter ce fidèle **Watchdog** et armer un chien de garde qui surveillera l'altitude :

- **SEL** > **Watchdog** > **NEW** > **ALT** > **ALT** > **450k** ↵. (Attention, la valeur est en mètres !)
- **GO** >

Notre gardien fonctionne même quand il n'est plus affiché. Mais si l'accélération temporelle est grande il peut louper la consigne. Donc le laisser visualisé et ne pas exagérer sur **Wrp**.

- **SEL** > **Interplanetary** > **MNU** > **Orbital** >

Cette commande active IMFD, effectue son initialisation et active le menu des fonctions orbitales.

- Vérifier l'affichage de **1.Circularize** en haut à gauche et **Ref Moon**.

La première information stipule que l'on utilise bien la fonction orbitale **Cir**, la deuxième précise que c'est la vitesse par rapport à la Lune qui va servir de référence. C'est important, car dans le cas contraire on va engager la circularisation par rapport à un autre astre. La Terre, le Soleil ... bonjour la bavure !

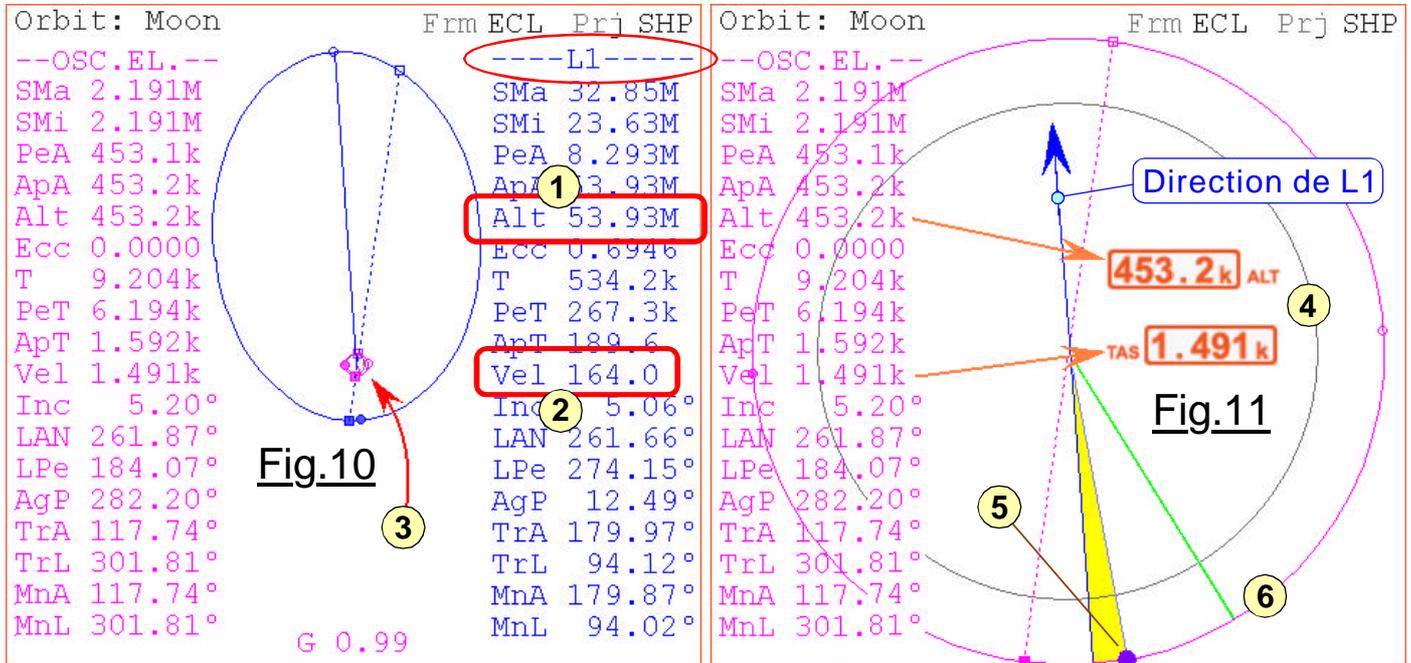
- **AB** >

Cette commande engage l'Auto Burn, c'est à dire l'automatisme qui gère la fonction **Cir**. Cette dernière va orienter le vaisseau pour optimiser la poussée et agir jusqu'à ce que **Ecc** soit strictement égal à zéro. Fabuleux non ? Notez au passage que c'est l'outil idéal quand on désire se placer en orbite parfaitement circulaire autour d'un objet attracteur quelconque. Vous allez voir qu'arrivé à **L1** on va être bien content de savoir s'en servir.

L'altitude finale est de 453.2 km, car entre le début de **Cir** et la fin, le vaisseau était sur une trajectoire d'éloignement. La commande **Cir** ne fait que surveiller la valeur d'**Ecc** en poussant dans la bonne direction. Il est donc normal que l'altitude finale de circularisation soit différente de celle au moment de l'activation des moteurs. La scène nommée **LAGRANGE 3.scn** nous situe à ce stade de la mission.

LANCEMENT VERS LE POINT DE LAGRANGE L1.

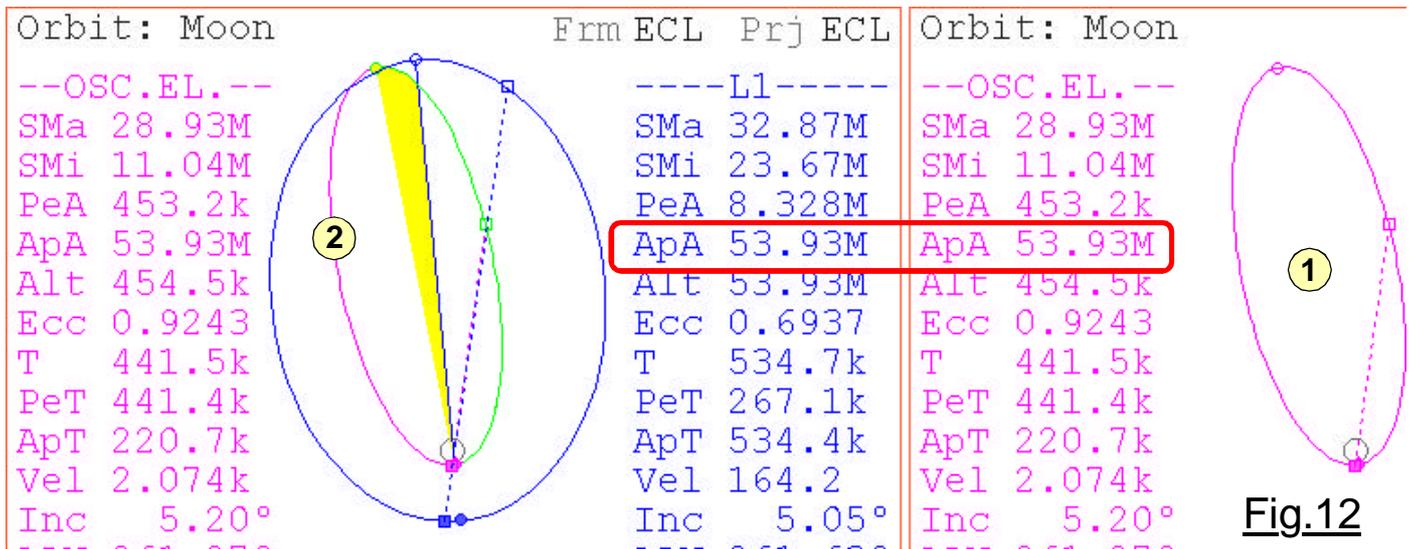
Pour définir la procédure de lancement vers notre cible **L1** nous allons utiliser Fig.10 et Fig.11 qui toutes les deux représentent **Orbit** MFD. Celui de droite est à plus grande échelle car il focalise sur la Lune. Celui de gauche cadre sur "l'orbite képlérienne" de notre objet (Nommé **L1** dans la simulation) car il a été désigné comme cible avec **TGT**. Notez que le calculateur d'Orbiter n'est pas au courant de ces histoires de point de Lagrange qui il ne faut pas l'oublier concernant un troisième objet de masse très faible. C'est uniquement dans ces conditions qu'il peut espérer se stabiliser dans ce type de région. Du



coup **Orbit** MFD applique les habituelles orbites képlériennes à notre mystérieux individu placé en sentinelle au point **L1**. Une belle ellipse ayant pour foyer le centre de gravité de la Lune et dont les caractéristiques sont calculées à partir de la vitesse orbitale **2**.

Faisons une petite expérience : Passez en **Wrp 1000x** puis ne touchez à rien, contentez-vous d'observer les deux MFD. Vous observez que notre vaisseau circule rapidement, par contre l'altitude en **1** ne change pas, ce qui prouve bien que l'objet désigné **L1** reste immobile sur cette ellipse. Augmentez le temps à **Wrp 10000x**. On voit bien que la ligne des nœuds tourne lentement, car le plan **Ref** suit le mouvement de la Lune autour de la Terre. On constate aussi que l'altitude en **1** commence à changer. Notre objet est en train de s'éloigner de la zone de stabilité du point de Lagrange. En passant à **Wrp 100000x**, l'objet quitte carrément son poste et se met à décrire des orbites bien classique, subissant l'effet de fronde de la Lune. Si vous attendez assez, quelques minutes à cette folie temporelle, vous allez constater que suite au nombreux "Sling-Shot" provoqués par la lune, l'objet **L1** finit par quitter définitivement la SOI lunaire, accéléré par cette dernière à la vitesse de libération. Rechargez la scène nommée **LAGRANGE 3.scn** et élaborons un plan de vol. Il ne faudra pas y mettre une éternité, car n'oublions pas l'instabilité de position de notre cible. Le tout petit cercle rose en **3** sur la Fig.10 représente en réalité la Lune, c'est à dire en tout petit ce qui est agrandi sur la Fig.11, on remarque que **L1** se trouve à 53930 km de distance. C'est donc l'altitude de l'apogée qu'il faudra viser pour l'atteindre. On peut vérifier en **4** qu'**Orbit** MFD et le HUD nous fournissent en orange des informations cohérentes. Sur la Fig.11 j'ai tracé en bleu le vecteur direction de **L1**. L'idée pour s'éjecter consiste à allonger l'orbite dans cette direction pour qu'elle atteigne une apogée d'environ 53,93M. Comme on doit toujours se trouver à l'opposé orbital de la direction qui doit être modifiée, on va pousser en mode **PRO GRD** quand on sera en **5**. L'angle mis en évidence en jaune prévoit un décalage pour tenir compte du fait que durant le temps mis pour atteindre **L1**, le plan **Ref** aura tourné. Et oui, il faut anticiper ! Mais notre vaisseau se trouve actuellement en **6**, on a dépassé ce point. Rien de tragique. Bouclons une orbite de plus et quand on va arriver en **5** on procèdera à la manœuvre d'éjection. C'est parti, on va épater les scientifiques qui sont à bord. Attendons de revenir en **5**, passons en **PRO GRD** et moteurs orbitaux au maximum jusqu'à ce que **ApA** fasse 53,93M. Attention, terminer avec les RCS en mode **LIN** pour ajuster correctement la valeur d'**ApA**. Facile non ?

Ne vous tracassez pas pour l'estimation du point **5**, la position n'est pas critique, car rien



n'empêchera par la suite d'effectuer des corrections de trajectoire comme dans tout vol orbital qui se respecte. La Fig.12 montre ce que deviennent nos deux MFD après cette superbe prestation. En **1** l'orbite s'est allongée du bon côté. En **2** on voit que l'on va bien "monter" jusqu'à la hauteur de **L1** avec l'angle d'anticipation colorié en jaune. Pas de fausse modestie, on peut se gausser et frimer devant les passagers. Pour le plaisir, nous allons activer à droite le MFD cartographique spécial Lagrange :

• **SEL > Lagrange MFD >**

Avec cette commande on active le module de représentation graphique qui de lui-même a sélectionné le couple Terre / Lune. Cette représentation ressemble étrangement à celle de la Fig.4 située en page 3. J'ai juste épaissi les points de position graphique pour mieux les voir sur ce dessin. **S** est dans notre cas la Lune. Le petit cercle vert représente le vaisseau piloté. On est actuellement dans le voisinage de la Lune puisque l'on vient juste d'effectuer l'éjection.

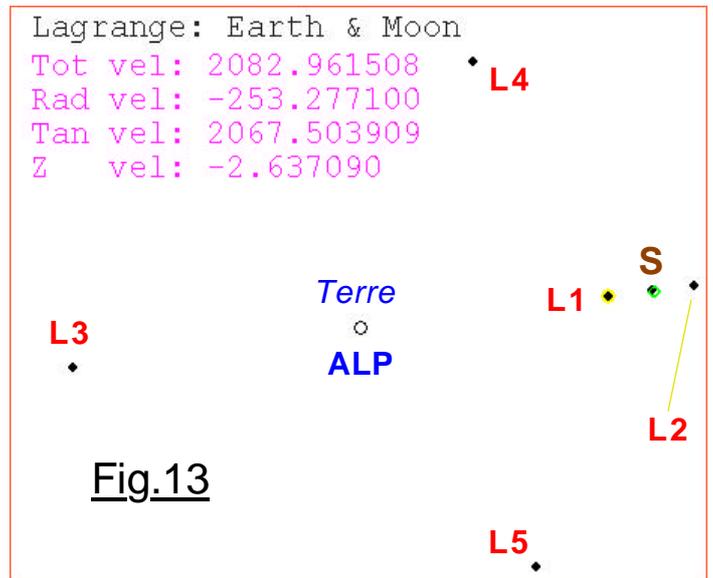
• **TGT > L1** ↵. Cette option a pour effet de désigner une cible quelconque à **Lagrange MFD**. À partir de maintenant, ce calculateur graphique va nous tracer le chemin suivi par la cible et par notre vaisseau dans le plan **Ref**. Pensez à couper l'automatisme **PRO GRD** et passons à **Wrp 10000x** pour savourer notre brillante réussite. **L1** ne va pratiquement pas bouger et notre rayon position vert va aller à sa rencontre. Moment intense de bonheur.

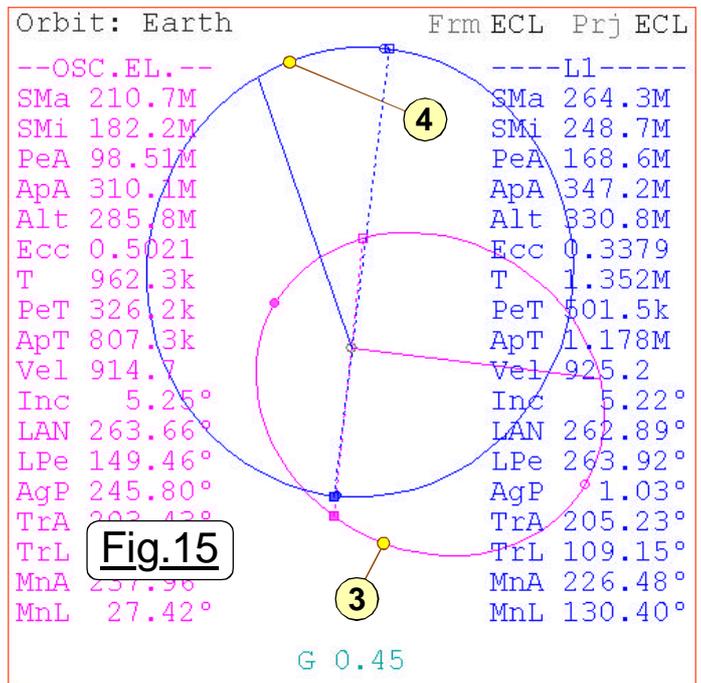
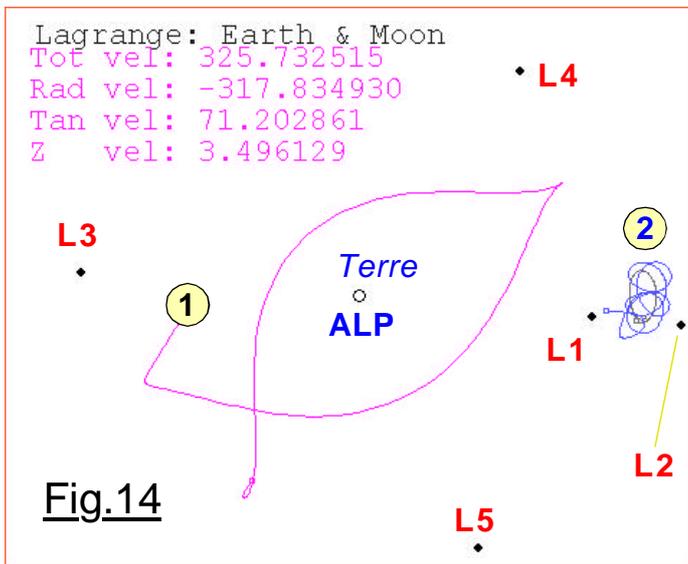
Mé ... mé ké qui se passe ??? Sur **Orbit MFD** à gauche notre orbite grandit, grandit, grandit pour finalement devenir une hyperbole. Notre vaisseau s'échappe de la Lune. Fini la frime, bonjour la honte avec les scientifiques du bord ! C'est trop injuste.

Que s'est-il passé ? Quelle force maléfique est venue mettre à mal notre beau plan de vol ?

Ben ... La Terre tout simplement. Pour foncer vers **L1** nous avons accéléré à la vitesse de libération lunaire. Adieu belle lunatique ! Nous avons surtout raisonné sans tenir compte que l'éloignement de la Lune nous piègerait dans les filets gravitationnels de celle qui régit la région, c'est à dire la Terre. Elle n'a fait que nous rappeler ses prérogatives. Et oui, **ALP** impose sa suprématie par définition.

Bon, pour épater les copains c'est un peu fichu, ils sont en train de se tordre de rire. Rouge de confusion, laissons faire pour voir ce qui se passe et chercher à comprendre. Commençons par analyser ce que montre **Lagrange MFD** à droite dont la Fig.14 en page 12 donne une copie d'écran. En **1** on observe la trajectoire de notre vaisseau dans le plan **Ref** qui tourne lentement à raison de un tour en 28 jours. On y observe les "Pseudo Épicycloïdes" évoquées en page 4. Le **crabouillon** bleu visible en **2** correspond à la dérive de notre cible **L1** qui a déserté sa position et, se trouvant proche de la Lune retombe vers cette dernière en subissant une cascade de frondes gravitationnelles qui en déforment à chaque passage au périhélie la courbure de la trajectoire. *Et dire qu'à la maternelle je savais déjà tracer des*





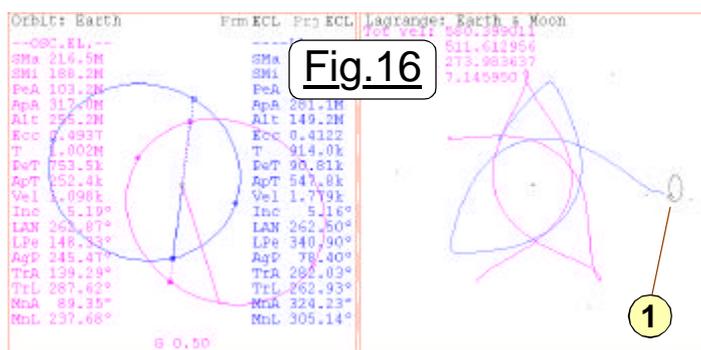
choses aussi complexe, l'institutrice n'a jamais fait le rapprochement avec les points de Lagrange !

Si on en revient à des observations plus courantes,

en particulier en imposant à **Orbit** MFD à gauche de reprendre la Terre comme référence avec sa commande **REF**, on retrouve comme montré en Fig.15 des tracés bien plus classiques. En **3** on observe la trajectoire elliptique bien képlérienne de notre vaisseau et en **4** celle supposée de l'objet **L1**.

Si on attend suffisamment longtemps, **L1** à son tour échappe à l'attraction lunaire pour se stabiliser sur une ellipse en tout point analogue à celle de GL-01 comme le montre la Fig.16 ci dessous. Curieux non ?

Il serait fort dommage au passage de ne pas remarquer en **1** que la Lune elle même décrit dans le plan **Ref**



de petites oscillations. Ce sont les fameux mouvements de libration qui permettent d'observer une surface plus grande que 50% de son sol, alors qu'elle tourne autour de la Terre avec une vitesse synchronisée. Mais ces petits déplacements apparents nous permettent de l'observer un peu plus latéralement, et les astronomes ne s'en sont pas privé au cours des siècles passés.

C'est bien beau tout ça, mais comment allons-nous y aller en ce diabolique point **L1** ?

En fait, ce qu'il faut, ce n'est pas à proprement parler d'y aller, **mais de l'intercepter**. Nuance verbale qui traduit concrètement le fait que l'on veut aboutir à une rencontre **avec un objet en mouvement, en partant d'un autre lieu qui bouge, et par rapport auquel on se déplace**.

Heueueu, je sens comme un vague vertige, un petit coup de pompe passer tout d'un coup !

Pas de panique. Un outil spécial ultra secret a été imaginé spécialement pour INTERCEPTER. Les initiés le nomment IMFD tout simplement. C'est ici que la tricherie dont il est question en page 8 prend tout son sens. C'est précisément pour pouvoir utiliser IMFD et son pilote automatique que j'ai placé en **L1** un objet de type vaisseau. C'est reparti pour un tour intertrucmachin :

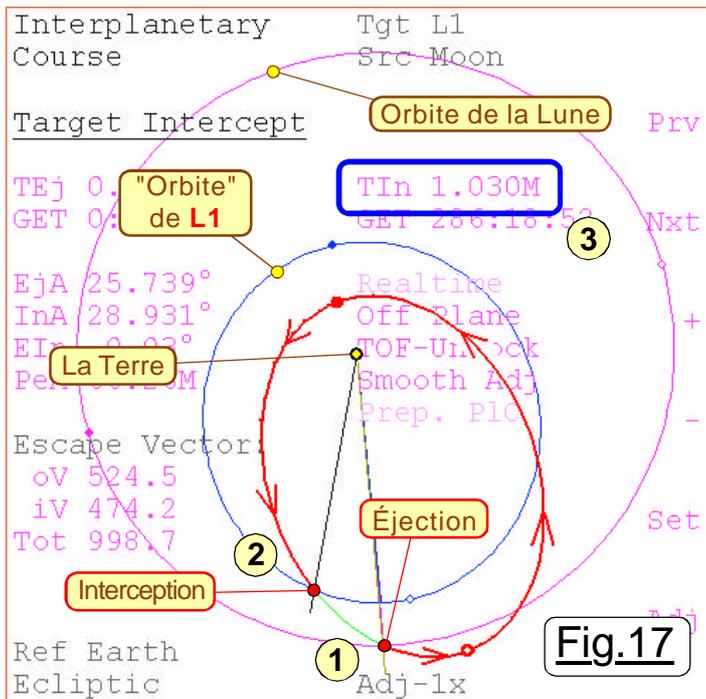
INTERCEPTER L1 AVEC IMFD.

Bien que je vais commenter toutes les manipulations effectuées pour réaliser l'éjection, ceux qui ne veulent pas pour ce jour investir intellectuellement dans cet outil peuvent se contenter de frapper les commandes sans état d'âme. Ils aboutiront correctement à notre cible. Mais personnellement je crois que l'un des outils les plus indispensables dans Orbiter est précisément ce calculateur. Il est pratiquement universel, je ne pourrais plus m'en passer. Bon, trêve de bla bla bla, passons à la mission.

On ne va pas refaire tout le vol. Jusqu'à la phase de mise en orbite d'attente circulaire avec alignement des plans, la mission était sans bavure. On va donc repartir de la scène **LAGRANGE 3.scn** et activer notre intercepteur galactique. Vaisseau paré, autorisation de lancement reçue, préparons l'éjection :

- Avec **SEL** ouvrir **Interplanetary** sur le **MFD de gauche** > **MNU** > **Course** >

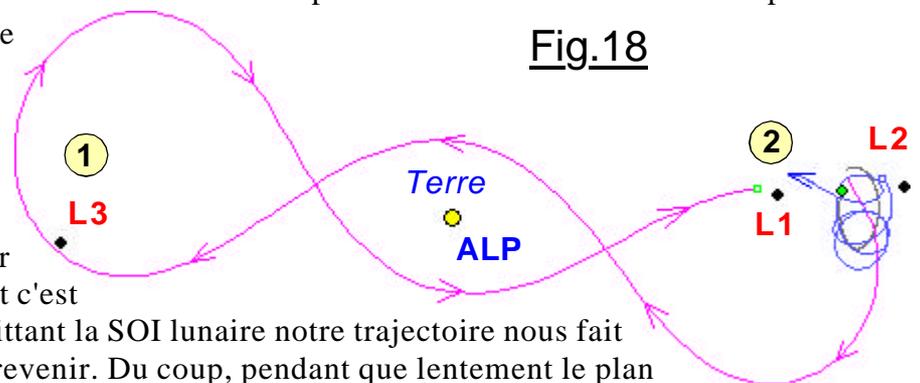
- En principe **Target Intercept** est active. Dans le cas contraire **Nxt** ou **Prv** pour l'indexer. **Page 12**



• **Set > TGT > L1** ↵ >

Examinons Fig.17 la solution proposée par IMFD : Le graphe est centré sur la Terre car elle représente **ALP** dont le calculateur prend en compte l'attraction comme on peut le vérifier avec **Ref Earth**. Sur ce graphe on voit en rose notre orbite actuelle autour de l'**ALP**, qui n'est pas autre chose que la trajectoire lunaire puisque nous restons dans la SOI sélène. IMFD représente bien le rayon position de la cible en blanc superposé au rayon position en vert de notre vaisseau. Mais comme **Orbit MFD**, IMFD s' imagine que **L1** va décrire la trajectoire képlérienne représentée en bleu. Comme par nature IMFD cherche des trajectoires économiques du type **Transfert de Hohmann**, il nous propose la route mise en évidence en rouge sur le dessin ci-contre. On lance en **1**, on continue en balistique durant presque 12 jours pour intercepter en **2**. Ce n'est pas du tout une bonne solution pour cette

mission si particulière. En effet, d'une part **L1** ne circule pas sur l'orbite bleue, et de plus sur un si long voyage il va commencer à changer de position comme on peut le constater sur la Fig.18 avec la trace bleue qui visualise ce qui se passe sur une longue période. D'autres part, et c'est



là que ce situe le gros problème, quittant la SOI lunaire notre trajectoire nous fait passer "derrière" la Terre avant de revenir. Du coup, pendant que lentement le plan **Ref** subit son changement d'orientation, on y trace le long et curieux périple tracé en rose. J'ai ajouté des flèches sur cette trajectoire pour mettre en évidence le sens de déplacement. On voit que l'on commence à s'éloigner de la Lune, donc de **L1** pour passer dans le voisinage de **L3** en **1** et finalement revenir vers **L1** en **2**. Mais ce long cheminement a exigé 25 jours, et l'on arrive assez loin du corps **L1** qui de toute façon n'est plus en position stable. Quelle solution adopter pour contourner ces difficultés ?

Un tir tendu pour effectuer rapidement le transfert. Généralement on ne se risque pas à ce type de lancement car ils est très énergivores. Mais quand on se trouve en orbite lunaire, ce n'est pas le cas et une telle solution est tout à fait acceptable. Reprenons la procédure de programmation dans l'état précédent.

- Avec **SEL** ouvrir une deuxième fois **Interplanetary** sur le **MFD de droite > MNU >**
- **PG > 0** ↵ pour coupler avec IMFD de gauche et en recevoir les données (**Shared ID-0**) >
- **Orbit-Eject >** En principe **Higher Orbit** est active > + pour valider **Course** à sa place.
- **Nxt** pour indexer **Real time** > + pour valider **Off-Axis**.

Par ces commandes on vient de donner les paramètres au pilote automatique qui permet d'effectuer la manœuvre avec les moteurs orbitaux. Voyons ce que coûterait un voyage en 12 jours :

- **PG > BV >** On voit que le temps d'allumage **BT** fait 47.9 s ce qui est faible comme en s'en doutait. Revenons sur le MFD de gauche pour diminuer le temps de voyage dans les consignes imposées.
- **Nxt** jusqu'à indexer **Tin** en **3** de la Fig.17 > **Set > 72k** ↵ pour imposer un voyage d'environ 20 heures. On remarque à droite que **BT** ≈ 138.7 s ce qui n'est pas dramatique du tout. Pour ceux qui le désirent, la scène **LAGRANGE 4.scn** nous place dans le vaisseau IMFD configuré pour pouvoir lancer.
- **AB** pour activer l'Auto Burn qui oriente le vaisseau et réalise l'éjection. **L1** nous voici !

Passer en **Wrp 1000x** et ne plus toucher à rien. IMFD réduit l'accélération temporelle et procède à la manœuvre. On voit progressivement notre trajectoire actuelle se déformer pour venir se superposer à la route calculée. Nous sommes sur des rails pour un rendez-vous avec notre mystérieux objet **L1** détecté par les radars terrestres. Mais attention, suite à un tir tendu on va "débouler" sur lui très rapidement, donc il faut préparer notre rapprochement pour ne pas le louper, ou pire ... le percuter.

Toujours pour ceux qui préfèrent à chaque étape pouvoir se trouver exactement dans les conditions du tutoriel, **LAGRANGE 5.scn** a été enregistrée juste après la manœuvre d'éjection.

- Avec **SEL** ouvrir **Docking** sur le **MFD de droite** > **TGT** >
- Indexer **L1** et valider.

On constate que l'on se trouve à 53.45M de distance ce qui correspond à la théorie. On se rapproche avec une célérité de 2 km/s. Si la vitesse était constante on intercepterait dans environ 7 heures. Mais nous sommes en permanence freinés par la Lune.

Approche finale de L1.

Effectuer un rapprochement n'est jamais une phase anodine et demande souvent du doigté. Mais pour cette mission la manœuvre sera d'autant plus délicate à conduire que l'on veut "accoster" un objet dont la **masse** quoi que **considérable** en valeur absolue reste **dérisoire** par rapport à l'**attraction gravifique qu'elle produit**. C'est notre "microbe" au sens Lagrangien, le fameux corps d'épreuve ou particule-test. Du coup, **Orbit MFD** ne le détecte pas et l'on ne peut pas l'utiliser pour construire une quelconque orbite autour de cet objet piégé dans la zone **L1**. **La circularisation promise en bas de page 9 ne fonctionne pas**. On va donc contourner cette impossibilité en s'immobilisant tout proche à environ 200 m. C'est l'étape la plus critique de cette mission. Une fois stabilisés à proximité, on va pouvoir de façon classique tourner autour et l'observer par du pilotage aux RCS, exactement comme autour d'une station orbitale. IMFD va nous être d'une aide précieuse pour cette l'étape de loin la plus délicate de ce vol.

- **Docking** sur sa colonne **DST** va nous permettre de surveiller l'éloignement qui sépare notre DG de la cible.
- Passer à **Wrp 1000x** et surveiller cette distance.
- **Quand DST ≈ 1M**  réduire **Wrp 100x**.
- À **DST ≈ 500k** réduire **Wrp 10x**. Vers **DST ≈ 400k** revenir à l'écoulement normal du temps puis :
- Sur IMFD à gauche **PG** > **Src** > **x**  pour désigner le vaisseau comme "source" dans les calculs.
(Vérifiez que l'information initiale **Src Moon** devient **Src GL-01** en haut à droite du MFD)
- **BV** pour constater qu'il faudra 65 secondes d'allumage > **BT** pour **effectuer une correction de trajectoire** qui va éviter de passer trop loin de la cible. Fin de brulure on se trouve à environ 357 km de **L1** et l'on s'en rapproche à quelque chose comme 17.5 m/s soit 63 km/h. Plus de quoi s'alarmer.
- **Wrp 1000x** jusqu'à **DST ≈ 50k** puis **Wrp 100x** jusqu'à **DST ≈ 20k** où l'on repasse en **1x**.

ORIENTER LE VAISSEAU VERS LA CIBLE.

On va utiliser l'une des fonctions d'IMFD prévue dans ce but :

- Sur **Interplanetary** à gauche > **MNU** > **Orbital** >
- **TGT** > **L1**  > Vérifier l'affichage de **Tgt L1** en haut à droite. (*Important pour la dernière manœuvre*)
- **Fnd** pour affichage de **3. Find Target** en haut à gauche.

À l'aide des RCS en mode **ROT** faire tourner le vaisseau pour ramener la croix en plein centre du collimateur. Elle devient blanche. La cible de **TGT** est alors exactement en face. Nous allons le vérifier, car on se trouve encore aux environs de 16 km et l'on ne voit toujours rien.

- **[F4]** > **Visual helpers ...** > Onglet **Planetarium** > Cocher **Vessels** > **[F9]** pour contrôler.
- **[F9]** pour annuler l'affichage du planétarium. Couper également le HUD qui ne nous est pas utile.

APPROCHE FINALE.

- **Wrp 100x** jusqu'à **DST ≈ 5k** puis **Wrp 10x** jusqu'à **DST ≈ 2k** où l'on repasse en **1x**.

Il convient à ce stade de nous immobiliser par rapport à la cible. On peut encore utiliser une autre fonction spécifique d'IMFD, module du pilote automatique qui réside également dans **Orbital**.

- **OvM** pour affichage de **4. Orbit Vel. Match** en haut à gauche.
- Vérifier que l'on a toujours l'affichage de **Tgt L1** en haut à droite. (*Important*)
- **AB** quand **CVEL** décroît à 10m/s sur **Docking MFD**.

Notre vaisseau est totalement immobilisé à environ 1,5 km de distance de **L1**. Il nous reste 72.7% de Fuel dans le réservoir principal. Quand la poussée d'éjection a été achevée, nous étions le 20 mai à 6h 31min. Nous sommes le 21 mai à 1h54 min. Le trajet a donc nécessité 19 heures pour une consigne de 20 h. Au regard de la précision habituelle d'IMFD c'est franchement médiocre. En temps normal l'écart pour un si court trajet devrait être infime. Mais n'oublions pas que l'on a franchi la "limite du raisonnable", et que ces zones Lagrangiennes sont des marécages sataniques. Alors y être parvenu aussi facilement, c'est déjà une superbe prouesse pour ce calculateur merveilleux.

Allons voir de plus près cette menace fantôme, ce côté obscur de la force.

Les adeptes du "prêt à porter" peuvent charger **LAGRANGE 6.scn** disponible en promotion.

• Toujours avec **Interplanetary > Orbital >** et **Tgt L1** en haut à droite on reprend la fonction **Fnd** pour le module **3. Find Target** en haut à gauche. Avec les RCS en mode **ROT** on réoriente le vaisseau.

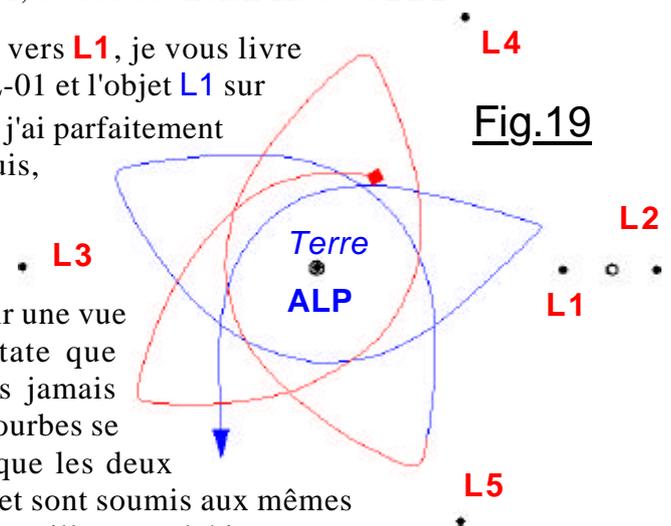
ATTENTION : Chaque fois que l'on recharge une situation, **Orbital** revient en option **1. Circularise** et sélectionne **Tgt Ecliptic**. Il faut donc réinitialiser ces deux paramètres avant toute manœuvre.

OUPS ! Il a l'air bien gros ce "microbe" visible bien en face ! Vaut mieux pas lui faire du "bisou bisou". Commencer par prévoir les freins. Avec le tableau de bord 2D ou le C.V. 3D passer **RETRO DOOR** sur la configuration **OPEN**. Puis, par quelques petites touches rapides sur **+ num** augmenter notre vitesse d'approche jusqu'à 20m/s histoire de ne pas y passer des heures. L'approche est assez impressionnante. À bord personne ne parle, chacun retient son souffle. Au fur et à mesure que l'on approche, diminuer la vitesse relative avec **- num**. Stoppez à exactement 200 mètre. OUF, on y est. Il aurait été possible d'utiliser la fonction **OvM** pour stabiliser la position relative. Mais comme elle utilise les moteurs principaux, le temps d'orienter on risquerait la collision. Par ailleurs, l'usage des rétrofusées permet de conserver **L1** bien en face, c'est une présence visuelle plus intimidante et favorable au grand frisson.

Il ne reste plus qu'à sortir les caméras et le matériel scientifique et analyser "la chose" sous toutes ses coutures. C'est votre maîtrise du pilotage de proximité aux RCS qui va maintenant servir nos passagers. En s'écartant latéralement, quitte à recaler la vitesse orbitale, on peut distinguer d'un côté la Lune, de l'autre la Terre et tout proche **L1**. La vue extérieure justifie pleinement le déplacement. Je vous laisse admirer. Pour le retour, je vous pouvez vous débrouiller, à vous de choisir KSC ou BBB.

A vant de clore ce paragraphe relatif au voyage vers **L1**, je vous livre Fig.19 les routes que tracent notre vaisseau GL-01 et l'objet **L1** sur

une très longue période dans le plan **Ref**. Au préalable j'ai parfaitement stabilisé le Delta Glider à proximité du "microbe". Puis, accélération temporelle à **Wrp 10000x** J'ai laissé **Lagrange MFD** tracer les routes suivies sur une très longue période. La Fig.19 est un montage dans lequel j'ai "ajouté" les deux courbes rouge et bleues pour avoir une vue plus complète de la belle pâquerettoïde. On constate que lentement notre vaisseau va s'éloigner de **L1**. Mais jamais beaucoup à l'échelle du graphe au point que les deux courbes se superposent en permanence. C'est assez normal vu que les deux mobiles présentent des conditions initiales identiques et sont soumis aux mêmes accélérations. Les mathématiques sont parfois d'une merveilleuse esthétique ...



LA FAMILLE LAGRANGE.

Maintenant que nous sommes incollables sur tout ce qui concerne l'individu **L1**, on peut envisager d'aller rencontrer ses autres frères. Oublions **L2** dont il sera question à la fin de cet exposé. Pour les trois autres individus **L3, L4** et **L5** il est préférable de lancer depuis une orbite basse terrestre. **L4** et **L5** sont des "jumeaux symétriques". Savoir rejoindre l'un est équivalent à rendre visite à l'autre. Les procédures sont analogues. Pour nous amuser à réaliser de telles expéditions, **LAGRANGE 7.scn** place notre monture en orbite basse terrestre, pratiquement circulaire et surtout alignée avec les plans de **L3** et **L4**. En **L3** se trouve une "Anti-Terre" pour illustrer la littérature romantique sur le thème de la famille **L**. Pour des raisons techniques l'objet est toujours nommé **L1**. En **L4** on pourra se rendre à l'une des stations orbitales à poste stable si chères aux romans de science fiction. J'ai utilisé LUNA-OB1 qui pour la circonstance est nommée **L4** dans le scénario et la scène fonctionne correctement. Mais si vous installez le complément disponible sur <http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=2737> la station sera infiniment plus belle, à la fois en structures et en textures. Cet ADD-ON fonctionne avec Orbiter 2010 et n'interfère en rien avec **LAGRANGE 7.scn**, Cette modification est transparente, mis à part la beauté de LUNA-OB1 quand on arrive sur les lieux. Il n'est donc pas obligatoire du tout de l'installer. Nous allons commencer par tenter un voyage vers **L3**, mais sans utiliser IMFD cette fois, histoire de corser un peu le pilotage.

La technique proposée en page 10 peut être tentée, car un transfert vers l'une de ces deux destinations ne nous fait pas changer d'astre attracteur principal. Si on procède au lancement au bon moment, on doit pouvoir y arriver sans le secours d'IMFD. C'est "chaud" et pifométrique, mais comme toute méthode empirique, elle présente l'avantage de mieux nous faire comprendre ce qui se passe. Alors qu'avec des merveilles comme IMFD, ce sont des équations qui régissent le vol, et l'on ne réalise pas vraiment les éléments qui interviennent dans le déroulement de la mission.

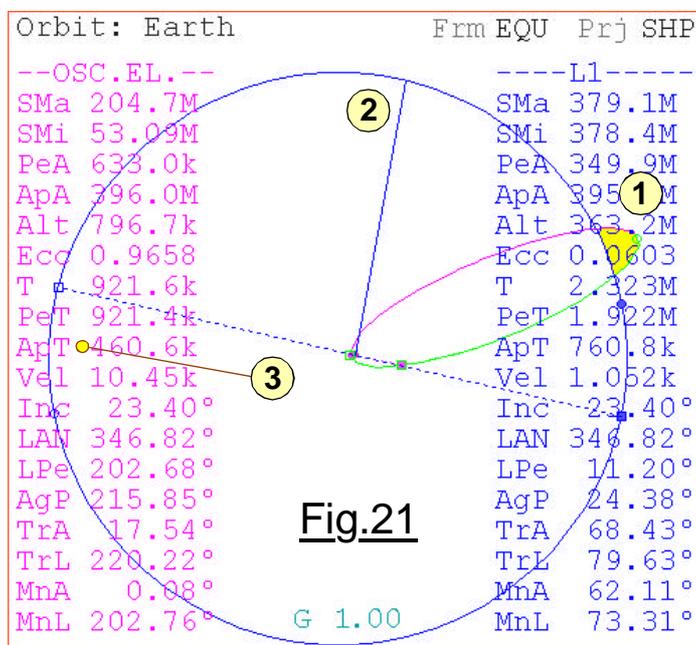
Trève de baratin, allumons **Pifomètre** MFD et procédons à l'éjection vers **L1**. La scène **LAGRANGE 7.scn** étant activée, on vérifie bien que les plans sont alignés. À gauche **Rinc** = 0.00° et à droite en **1** les inclinaisons orbitales sont identiques. On observe en **2** que l'orbite est parfaitement circulaire et d'altitude 621 km environ. On constate également que **L1** est actuellement à **Alt** de 363 M, mais au cours du temps il va "grimper" jusqu'à **ApA** de 395.6 M comme visible en **3**.

- Avec **SEL** ouvrir **Orbit** sur le **MFD de gauche** >
- **DST** pour afficher **PeA**, **ApA** ... >

Notre première approche consiste à allonger l'orbite actuelle jusqu'à l'altitude de 396 M.

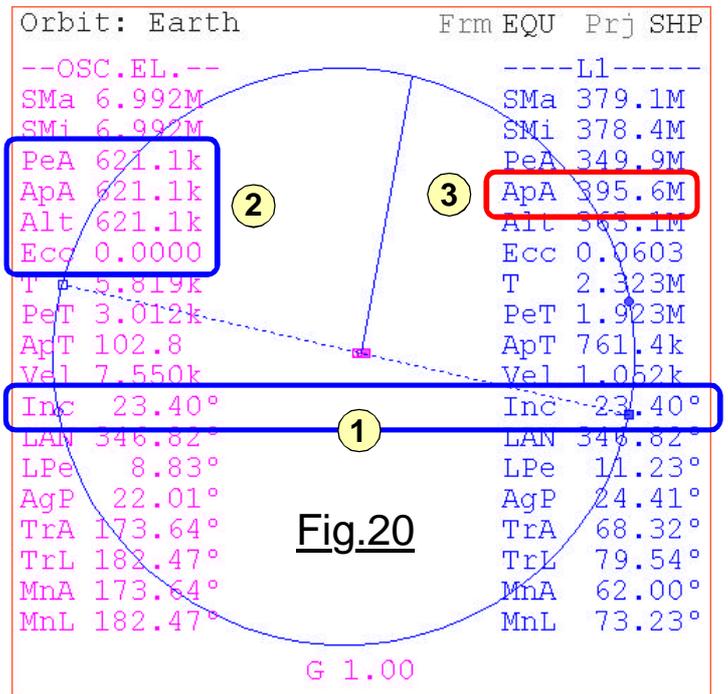
Orientation **PRO GRD** et moteurs au maximum. Possibilité d'utiliser l'accélération temporelle, mais attention, vers la fin de la poussée la valeur de l'apogée augmente vite. Terminer comme chaque fois aux RCS. Il est commode de regarder l'allongement de l'orbite sur le MFD de droite.

Quand on arrive exactement à la valeur de 396 M notre orbite dépasse nettement celle de **L1**, comme mis en évidence Fig.21 par le coloriage en jaune. C'est normal puisque l'excentricité de sa trajectoire est notable et que l'on a décidé d'intercepter vers l'apogée. Actuellement notre cible est en **2**. Ne plus toucher à rien et

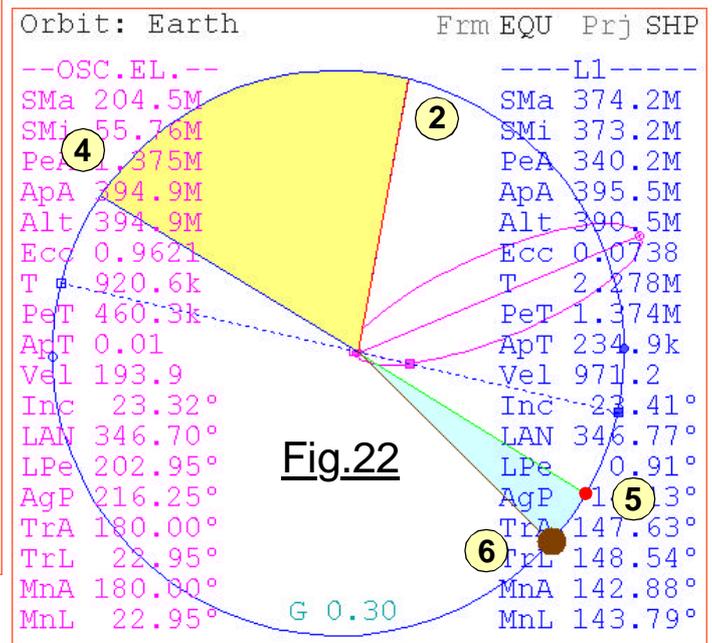


La Fig.22 montre les conditions balistiques quand on arrive exactement au périégée. L'objet **L1** était en **2** et s'est déplacé en **4**. Il a balayé sur l'écran un angle d'environ 65°.

CONCLUSION : Nous savons que pour déformer une orbite il faut pousser "en face" de l'apogée désirée, c'est à dire au point repéré par le petit cercle rouge **5** sur la Fig.22 dont le rayon position **4** a été prolongé diamétralement. Donc, si en **5** on pousse en **PRO GRD** pour monter à 396 M, le temps d'atteindre l'apogée en face, (Point **4**) on devrait y trouver notre cible. Mais il y a une petite subtilité. Durant le temps de la manœuvre qui est notable on se déplace sur l'orbite. Donc en fin de



attendre d'arriver exactement au point le plus haut en surveillant la diminution d'**ApT** en **3**.



poussée on sera relativement loin du point **5** et l'on va passer trop éloigné du but. Donc il faut en tenir compte. La théorie affirme que l'angle d'anticipation, colorié en bleu clair sur la Fig.22 doit correspondre à la moitié du temps de combustion. "Pifométriquement" j'ai estimé sa position en **6**, repéré par le gros disque marron. Ce point correspond au passage entre les lignes d'information TrA et TrL.

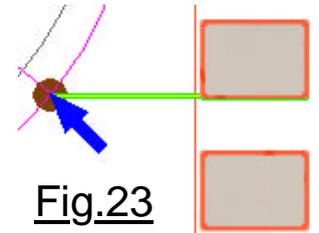


Fig.23

Relancer la scène **LAGRANGE 7.scn** et attendre de se trouver exactement au point **6**. Pour le repérer je me suis contenté de placer le curseur de la souris contre l'orbite comme montré sur la Fig.23, à une hauteur correspondant à la base du bouton latéral le plus proche. Passer en **PRO GRD** et pousser jusqu'à **ApA** \approx 396 M. **Penser à couper PRO GRD.**

- Avec **SEL** ouvrir **Docking** sur le **MFD de gauche** > **TGT** > Indexer **L1** et valider > **HUD** >
- La distance actuelle est d'environ 371 M, mais la cible "circule" sur une orbite elliptique et n'est pas encore au périégée. **CVEL** de 10.4k nous précise qu'on fonce à trois fois la vitesse du son en rapprochement.
- Avec **SEL** ouvrir **Lagrange MFD à droite** > on a bien le couple **Earth & Moon** >
- **TGT** > **L1** > (Cet état est sauvegardé et disponible dans **LAGRANGE 8.scn**)

Il n'y a plus qu'à passer en **Wrp 10000x** et réduire progressivement l'accélération temporelle pour observer le déplacement de notre vaisseau dans le plan **Ref** et par rapport à **L1**. Quand on arrive au plus proche, c'est à dire que **CVEL** s'annule comme montré sur l'extrait Fig.24 ci-contre, on voit que l'on se trouve à 6015 km de notre cible. Avec un lancement copieusement "évalué", notre imprécision est de l'ordre de 1,5% ... pas mal non ?

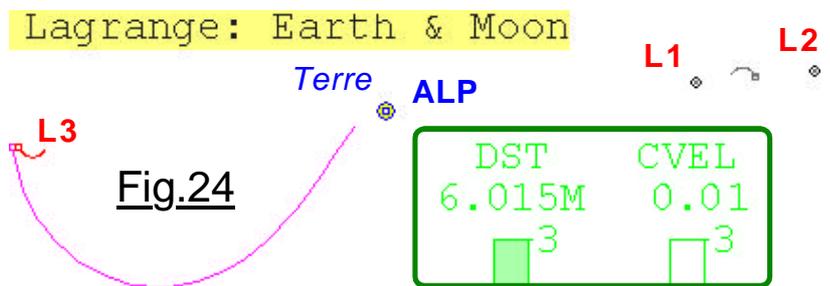


Fig.24

Pour s'y rendre et s'y stabiliser, le plus simple reste encore la méthode de l'interception suivie de l'approche finale en utilisant **IMFD** comme expliqué en détail page 12 à page 14.

LA STATION LIMA IV BASÉE EN L4.

Programmer et réaliser un lancement vers **L4** (ou L5) avec une méthode aussi approximative que celle employée pour se rendre en **L3** est aussi efficace. Il suffit sur **Orbit MFD de droite** d'indiquer **L4** comme cible, d'évaluer l'angle d'anticipation et d'éjecter en **P** jusqu'à obtenir une **ApA** indiquée de 438 M valeur obtenue expérimentalement comme nous l'avons fait dans le chapitre précédent. Toujours à partir de la scène **LAGRANGE 7.scn** on procède à une poussée en **PRO GRD** quand on se trouve au point **P** montré sur la Fig.25 qui correspond simplement à la position occupée au moment du lancement de la situation. Le fichier **LAGRANGE 9.scn** nous place en fin de lancement. Il n'y a plus rien à faire si ce n'est de passer en **Wrp 100000x** et d'observer les trajectoires. Quand notre vitesse relative s'annule, comme montré en Fig.26 on voit que l'on est à environ 6537 km soit une imprécision du même ordre de grandeur que pour le tir vers **L3**. Attention, si on ne fait rien pour voir où nous conduira la balistique Képlérienne, on revient percuter la Terre. Pour l'approche finale vers **DST** \approx 17M il faut encore utiliser **IMFD** en mode **Course**. Mais il nous propose comme à chaque fois une trajectoire genre HTO avec durée de voyage

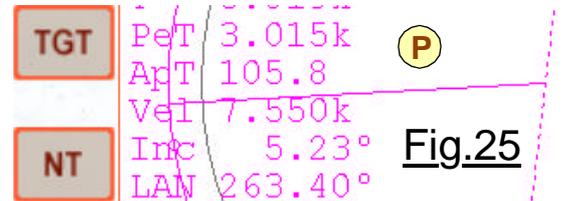


Fig.25

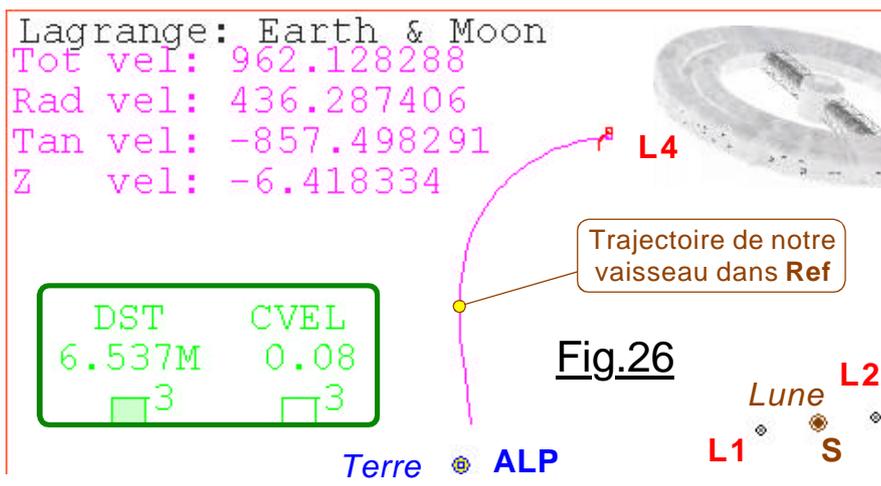
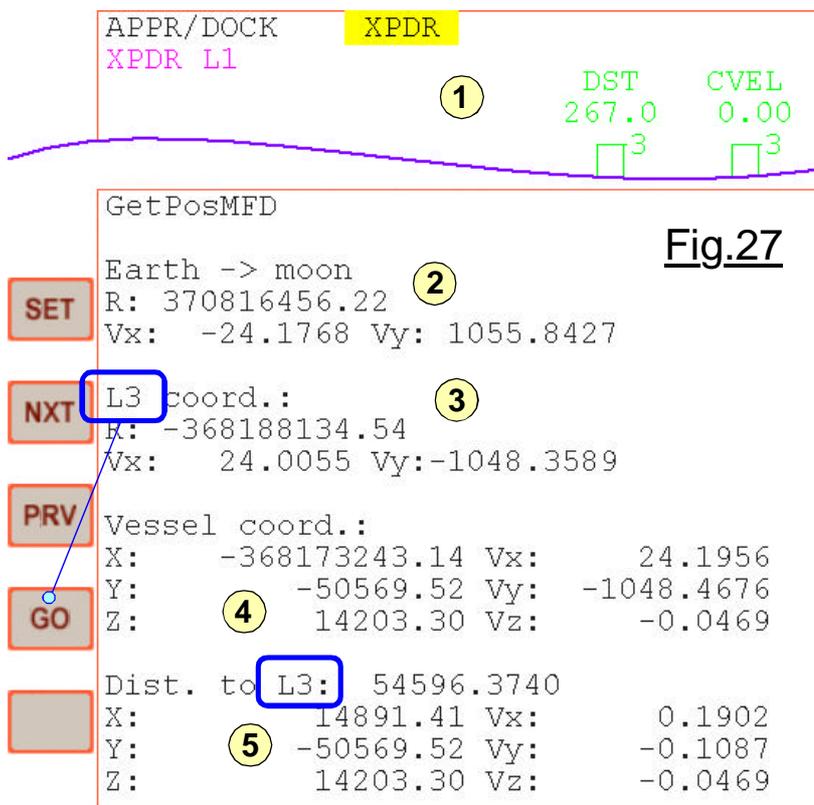


Fig.26

TIn de \approx 1.25M bien trop importante durant laquelle **L4** va dériver. Il faut imposer un **TIn** d'environ 50K pour parer ce petit problème. Dès que la distance **DST** commence à diminuer vers 6 k, passer en mode **OvM** pour placer notre vaisseau en vitesse relative nulle. On termine ensuite l'approche avec les **RCS**, mais maintenant ... c'est de la routine. Les résidents de LIMA IV sont ravis de nous voir arriver avec du fret et du courrier dans la soute. **Page 17**

L'OUTIL MFD nommé *Lagrange*.

Jusqu'à présent nous avons somptueusement ignoré la présence sur notre tableau de bord de l'outil *Lagrange* MFD. (Récupéré sur <http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=4582>) Ce module calcule la position et la vitesse des points de Lagrange dans Orbiter. Il affiche en numérique la position et la vitesse relative de notre vaisseau par rapport à l'un quelconque des points **L** dans le système solaire. C'est donc un outil précieux pour effectuer une navigation quand IMFD ne peut pas être utilisé. Par exemple quand au point considéré ne figure aucun objet dans orbiter. C'est précisément le cas lorsque l'on veut placer une sonde exploratrice en un lieu jamais visité, et que l'instabilité le rend naturellement désert. Ne pas oublier non plus que dans Orbiter, d'une façon générale les points **L** sont ignorés et n'y figurent aucun astéroïdes sauf si on crée une scène spécifique. En particulier, *Lagrange* MFD qui n'est pas spécialement convivial à utiliser pour effectuer une navigation, se montre trivial pour positionner instantanément un vaisseau en un point **L**. Il suffit de sélectionner l'un des cinq pôles d'un couple astral quelconque et de cliquer sur **GO**. Le vaisseau piloté est immédiatement placé en ce point. Vous pouvez



ensuite galérer joyeusement pour y voyager comme nous l'avons fait dans les pages qui précèdent.

La Fig.27 montre en **1** que la copie d'écran a été effectuée au moment où notre vaisseau était à peine à 267 mètres de l'objet **L1** mis à poste en **L3** au lancement de la scène. L'écran *GetPosMFD* de l'outil *Lagrange* MFD nous précise en **2** les coordonnées de **S** ainsi que sa vitesse relative dans le plan **Ref**. En **3** nous avons des données équivalentes concernant le point **L** référencé. En l'occurrence **L3** dans notre exemple. Les informations fournies en **4** détaillent en coordonnées cartésiennes la position et la vitesse du vaisseau. En résumé, toutes ces informations sont des positions et des vitesses exprimées dans le plan de référence **Ref**. Mais c'est surtout la position et la vitesse relative donnée en **5** qui sont utiles pour effectuer une navigation vers un point de Lagrange quelconque.

ARIANE : Le vol V188.

Depuis Kourou, un lanceur Ariane 5 arrachait à l'attraction terrestre le jeudi 14 Mai 2009 à 15h 12 heure de Paris les 5323 kg de sa précieuse charge utile. Aux masses de 3 402 kg pour Herschel et de 1921 kg pour Planck s'ajoutait celles de l'adaptateur et du SYLDA 5 qui portaient le total à six tonnes de charge utile. C'est bien inférieur aux 9500 kg que la fusée géante peut placer sur une orbite GTO d'inclinaison 6°, mais le lanceur était pratiquement à charge maximale au regard de la mission qui lui était confiée. En effet, il s'agissait cette fois de propulser les deux satellites siamois vers le point **L2** du couple SOLEIL/TERRE situé à 1,5 millions de km de l'orbite basse. (*GTO : PASSAGE EN ORBITE GÉOSTATIONNAIRE*) Herschel est prévu pour observer l'Espace dans la bande infrarouge, et Planck, quant à lui va permettre d'établir la carte du "vide sidéral" de manière beaucoup plus précise que ce qui a été fait jusqu'à présent. Pour ces deux expériences scientifiques, l'ennemi n°1 réside dans la chaleur solaire, d'où l'idée de les **placer loin en un lieu de stabilité quasi gratuite car l'expérience doit durer des mois.**

L2 satisfait les critères imposés par cette mission. Compte tenu des dimensions colossales de notre système local, ce point de Lagrange n'est pas trop éloigné et permettait à une fusée Ariane de pouvoir y lancer une masse notable, caractéristiques de tous les satellites contemporains, qu'ils soient

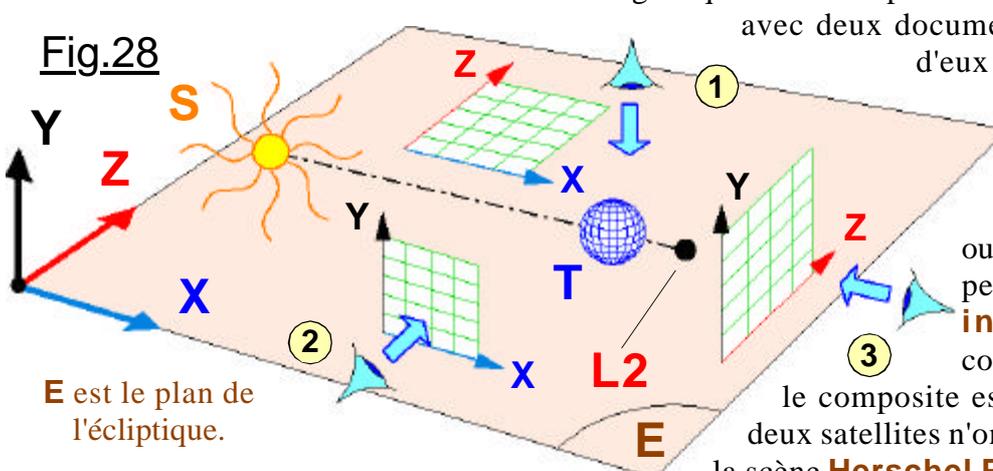
commerciaux, militaires ou scientifiques. L'intérêt de cette position réside dans son éloignement du Soleil qui ainsi ne chauffera pas les télescopes qui ne peuvent fonctionner qu'à des températures extrêmement basses, proches du zéro absolu. Le miroir d'Herschel est le plus grand jamais envoyé dans l'Espace, une merveille de technologie. Réalisé intégralement en carbure de silicium il a été conçu par une PME française Boostec qui œuvre dans les environs de Tarbes. Cocorico.

Procéder au lancement et naviguer jusqu'à **L2** du couple SOLEIL/TERRE ne sera pas vraiment un défi. Au contraire, un petit plaisir où nous allons assister au décollage et au vol de V188 comme si nous étions devant l'écran du P.C. connecté après avoir activé la ligne internet et branché le navigateur sur http://www.videocorner.tv/videocorner2/live_flv/index_fr.php?langue=fr qui diffuse en direct les images de chaque lancement. Quel privilège de pouvoir ainsi assister à tout décollage de Kourou.

Il suffit de charger **Herschel Plank Launch 14 May** l'une des trois scènes fournies dans le superbe ADD-ON de BrianJ. Attendre le jour J et l'heure H exacts moins 22 secondes et frapper **P** au clavier pour engager la séquence autonome de lancement. (Le 14 mai 2009 à 13h 12 min T.U.)

Le précieux chargement va être éjecté dans la bonne direction pour s'éloigner du globe à une vitesse de 10,37 Km/s, presque la vitesse de libération. L'ellipse orbitale est très allongée et va conduire nos sondes à environ 655 000 km de la Terre. Outre de magnifiques modèles pour Orbiter, le complément est fourni

avec deux documents rédigés en français. L'un d'eux explique l'utilisation du MFD **Herschel Plank L2 display**, l'autre précise en détail le but de la mission et comment la réaliser avec les outils disponibles dans Orbiter. On peut aussi utiliser le fichier **End injection 14 May** qui correspond à la fin du lancement, le composite est alors sur des rails, mais les deux satellites n'ont pas encore été séparés. Dans la scène **Herschel Plank in orbit 2010** les deux sondes sont libérées et séparées. Elles sont à 1.534G de la Terre, valeur annoncée sur **Orbit** MFD. Elles se trouvent dans la zone de **L2**, notre travail va consister à les y maintenir durant plusieurs mois.



Le MFD de visualisation spécifique à L2.

Le module **HerschelPlanck L2 Display** est initialement conçu pour enregistrer la trajectoire des satellites de V188, mais on peut l'utiliser dans toute scène pour laquelle on désire se diriger vers **L2** du couple SOLEIL/TERRE. Plusieurs missions y ont déjà été consacrées.

- S'il n'y a pas de vaisseau nommé Herschel ou Planck c'est le vaisseau piloté qui sera pris en compte.
- La trajectoire est tracée sur une grille orientée par rapport à la ligne Soleil **S** / **L2**.
- La route de **Planck** est tracée en rouge, celle de **Herschel** en vert. Deux croix blanches "+" précisent la position des vaisseaux. La position de la **Terre** est indiquée par un petit rond bleu "o".
- Données numériques : Position et vitesse relative du point **L2** par rapport au vaisseau, exprimées dans les axes de référence de ce dernier. (*Fonction de l'orientation du vaisseau*) Distance jusqu'au point **L2** et l'angle compris entre les points **L2**/Terre **T**/vaisseau.

La Fig.28 montre les directions sous lesquelles on peut observer **Ref**.

ATTENTION : Les scènes <HERSCHEL & PLANCK> ont besoin de plusieurs compléments. Outre **spacecraft3.dl** disponible sur <http://users.swing.be/vinka/> et **multistage2.dll** disponible sur <http://users.swing.be/vinka/> il faut :

- * **Ariane5 v4** par Well & Nomatter
 - * **Kourou CSG v3** par Mustard & Papyref
 - * **Kourou CSG Update 3 (DLL)** par BrianJ
- Tous disponibles sur <http://orbiter.mustard-fr.com/addons/addons.html>

Fortement recommandé : InterplanetaryMFD5.5 (IMFD) disponible sur <http://koti.mbnet.fi/jarmonik/Orbiter.html>

COMMANDES DISPONIBLES :

Presser **P** à T-22s pour activer la séquence synchronisée qui va placer l'ensemble en orbite de façon automatique. Toute nouvelle utilisation de **P** durant le vol désengage l'autopilote si on désire passer en mode manuel, mais il ne peut plus être réactivé.

L'automatisme est déconnecté 20s après l'arrêt du moteur du deuxième étage. Par contre, l'ajustement final des paramètres de l'orbite et le largage des charges utiles doit être conduit manuellement.

ARIANE 5 ECA

Pavé numérique pour commander les RCS et le moteur principal. Il y a allumage des SRB quand le moteur principal atteint 95% de poussée.

F : Largage de la coiffe.

(Automatique avec l'autopilote)

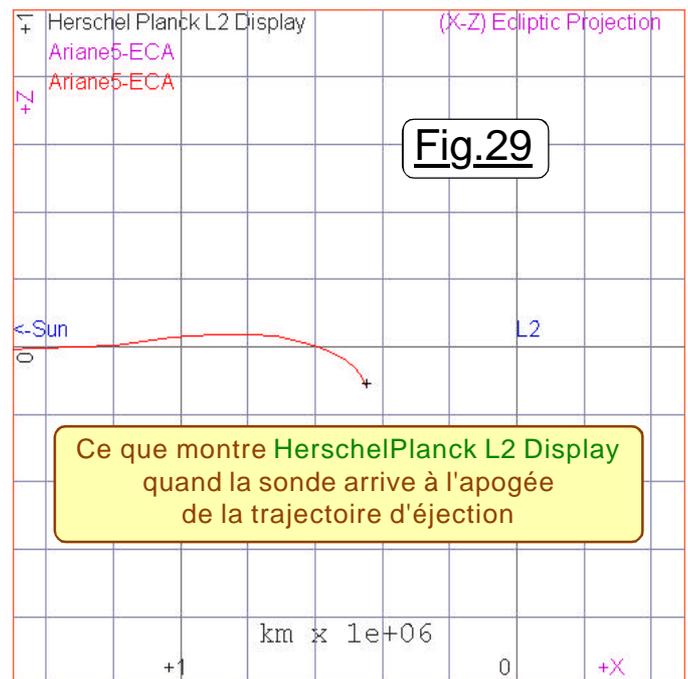
J : Séparation de Herschel.

J : Largage de l'adaptateur Sylda.

J : Séparation de Planck.

HERSCHEL & PLANCK

Avec les commandes standard du pavé numérique les RCS en mode ROT ou LIN agissent sur les 3 axes. Un moteur principal "fictif" est ajouté pour faciliter les manœuvres de navigation.



Comme pour tout tutoriel, on n'a fait qu'ouvrir une petite parenthèse, effectué qu'un modeste voyage. Il y aurait une foule d'autres aspects à aborder concernant les points de Lagrange dans Orbiter. Ce document ne fait que défricher un peu cette facette passionnante du monde de la balistique gravitationnelle. Il est évident que je ne peux prétendre avoir fourni une quelconque référence en la matière. Le seul but visé est de faire découvrir aux bétotiens ces individus étranges que sont les points **L**. Je désire surtout vous avoir séduit, et donné envie de tenter ces vols si particuliers qui nous égarent largement des "sentiers battus", c'est du moins ce que j'ai ressenti quand j'ai désiré "me faire mon premier **L**". Si ces quelques pages vous ont divertis, alors mes objectifs seront pleinement atteints.

J'ose croire au passage, que vous inciter à ces quelques expéditions curieuses constitue un hommage au travail considérable effectué par ceux qui ont transpiré des heures et des heures pour que nous puissions ainsi nous faire plaisir à si bon compte.

Alors je suis pleinement heureux une fois de plus d'exprimer mon admiration qui est sans limite pour tous ces programmeurs passionnés.



Môa môa je prétends que Plank avec Lagrange c'est pas du tout une bonne planque, car ya pas moyen d'y rester.

ERRATA : Désolé les amis, mais dans le tutoriel pages 5 et 6 j'ai omis un point important :

J'ai totalement oublié de vous dire qu'il fallait décompresser le fichier <MOD Objets LAGRANGE> qui place dans mes scènes une surprise en L1 et L3.

Soit vous utilisez JSGME, soit vous décompressez le contenu dans la racine d'Orbiter.

C'est impératif si vous voulez éviter un CTD en lançant mes scènes.