

DEFI N°4

ATLANTIS LE RETOUR.

Réalisé par votre serviteur Nulentout et achevé le 29 Mars 2010.

Niveau de difficulté : ☆☆.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU DÉFI n°4.

Caractère d'originalité du vol :

Ce défi est résolument élémentaire, car il constitue un préambule à deux autres défis qui comme celui-ci impliqueront des lancements. Pas d'originalité, presque de la routine. Pour simplifier la vie aux nouveaux, le retour est laissé à votre convenance et n'entre pas dans le cadre de cette compétition. Mais il serait dommage de laisser Atlantis rouiller en orbite. Amusez-vous bien.

Parti pris pour les débutants :

- N'installer sur Orbiter de base, qu'un nouveau MFD et la scène "ATLANTIS le retour".
- Pas de charge utile à bord, de satellite à déployer ni de contrainte temporelle.
- Un lancement assez simple depuis la Terre avec mise en orbite pour apprendre aux nouveaux.
- De la navigation très simplifiée mais qui utilise les fondamentaux pour conforter ce qui a déjà été vu.
- Utilisation des MFD de base d'orbiter, pas besoin d'installer et surtout d'appréhender des calculateurs merveilleux comme TransX ou IMFD, le débutant peut s'engager immédiatement.
- Les réservoirs de carburant sont à 100%, mais cette fois pas question de tomber en panne sèche.

Choix effectués pour satisfaire les pilotes confirmés :

- On retourne dans le passé et l'on croise le fer avec les copains en n'utilisant que les MFD de base d'Orbiter.
- Un critère d'évaluation élémentaire, mais pour l'optimiser il va falloir du doigté.

Engagement moral des compétiteurs :



- N'utiliser que les MFD de base d'Orbiter à l'exclusion de tout autre dispositif, Launch Compass étant bien entendu autorisé et même conseillé.

- Naturellement, ne pas refaire le plein en cours de mission par un moyen quelconque.

Critères d'évaluation de votre performance de concurrent :

L'objectif de cette mission se résume à un critère vraiment facile à exprimer :
Amener **ATLANTIS SUR UNE ORBITE PARFAITEMENT CIRCULAIRE LA PLUS**

GRANDE POSSIBLE. Mais attention, le retour sur Terre doit impérativement rester possible. Il faut donc assez de fuel pour pouvoir effectuer le freinage de décrochage d'orbite. Le cahier des charges impose donc comme "TOP CHRONO" de fin de mission **une réserve de Fuel de 36 %**. Oui, vous avez bien lu, plus de 1/3 de réservoir. C'est que pour rentrer de 700 Km d'altitude, il n'en faut pas moins. On peut supposer que ce sera possible d'aller aussi haut avec les 64 % qui restent. C'est ça un défi !

- Une fois la valeur de **Fuel** à 36 % (**Vous pouvez valider avec plus**) **et ECC = 0.0000** on notera l'altitude. Pour chaque Km en plus de l'altitude du vol de base vous gagnez 5 orbitopoints.

Critères pour valider votre participation au jeu :

- La valeur exacte du **Fuel** qui reste dans le réservoir devant dépasser ou égaler 36%.
- La valeur exacte de **Ecc** qui doit impérativement faire 0,0000.
- Sans oublier l'altitude de l'orbite et qui détermine le nombre d'orbitopoints obtenus.

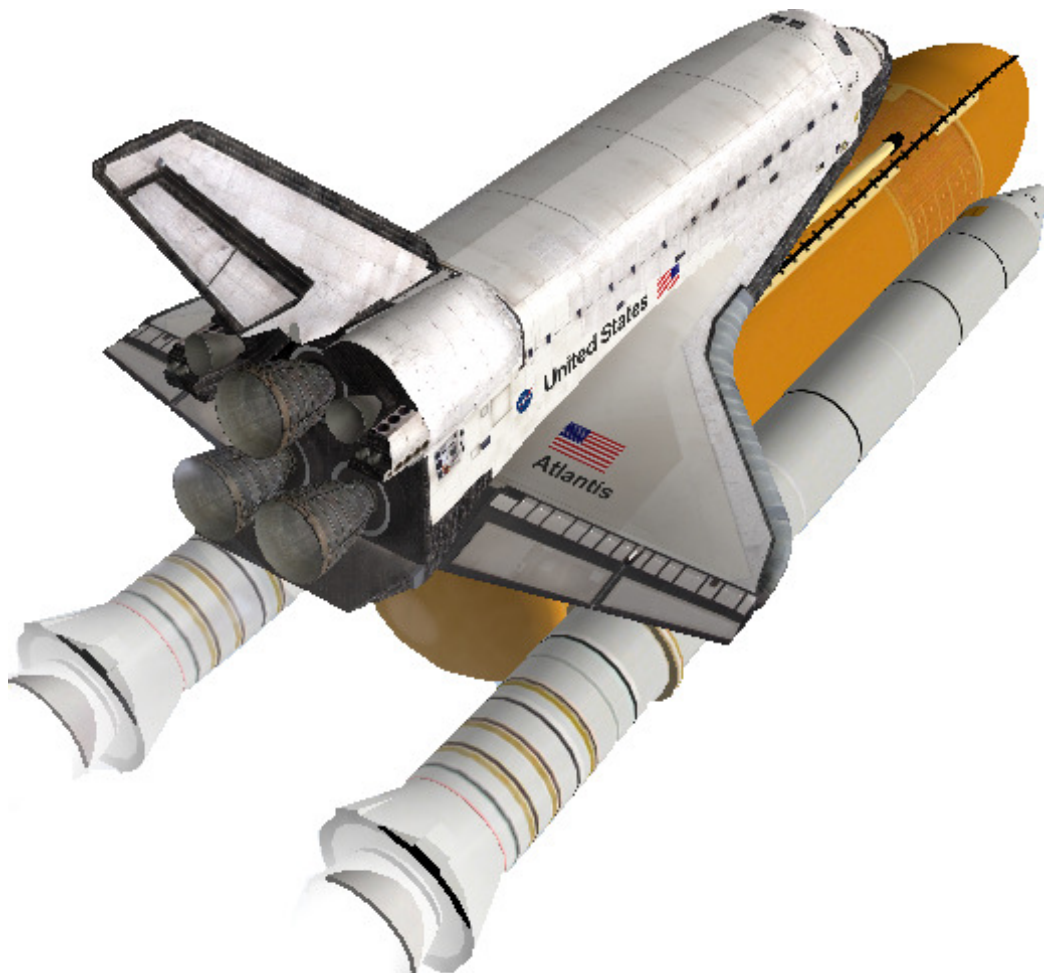
Comme pour les autres jeux, quand vous décompressez ce défi dans le répertoire d'Orbiter, tout se met en place pour vous simplifier la vie. En particulier **Launch Compass** MFD qu'il importe de valider dans l'onglet **Modules** d'Orbiter. Mais c'est "du piratage", aussi **pour pouvoir installer ce défi vous vous engagez moralement à aller sur <http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=3260> et télécharger l'ADD_ON** pour faire évoluer le compteur de téléchargement de ce module.

L'exploitation de l'espace, avec comme leitmotiv "LA RENTABILITÉ" a banalisé l'une des aventures humaine les plus remarquables. Des missions fabuleuses sont remplies régulièrement par des sondes, aux prix de prouesses technologiques impensables ... dans le plus pur anonymat. Le public éprouve pour l'astronautique autant d'intérêt que pour des élections politico-politiques. Un désengouement complet. Mais le nerf de la guerre, ce sont les crédits, et les crédits c'est le peuple. Il faut impérativement redonner aux citoyens l'envie de lever le nez, comme à l'époque de Gagarine ou des vols Apollo. Sans coup médiatique urgent, les budgets pour le projet O.N.R.E.P.A.R.T. ne seront pas votés par le Sénat, et la NASA fermera définitivement ses portes aux lancements civils. Alors il importe d'improviser en urgence une commémoration, un événement qui marquera les esprits et facilitera les tractations au Congrès. Le projet a été mené dans le plus grand secret, c'est le grand jour pour braquer à nouveau les projecteurs de l'actualité sur le KSC.

Cinquante années séparent ce décollage du tout premier vol habité de la Navette, quand les astronautes John W. Young et Robert L. Crippen prenaient place à bord du vaisseau Columbia. C'était un 12 Avril 1981, avec une météo parfaite et un public émerveillé. Ils s'envolaient au dessus de la Floride pour la première sortie d'un ensemble hybride totalement nouveau. Ces merveilles de technologie, trop complexes, trop onéreuses ont été réformées en 2015 pour en revenir à des systèmes plus rustiques, qui gagnaient en rentabilité ce qu'ils perdaient en rêverie populaire.

Pour ce 12 Avril 2031, la mythique Atlantis a été sortie du musée de l'espace dans lequel elle s'ennuyait à mourir dans le confort douillet du grand hall. Entièrement remise en état de vol, mais uniquement avec les systèmes et les instruments de pilotage de l'époque, elle retrouve sa gloire d'antan, juchée comme une reine Atlante sur le pas de tir. On est à quelques secondes du lancement, tous les voyants sont au vert.

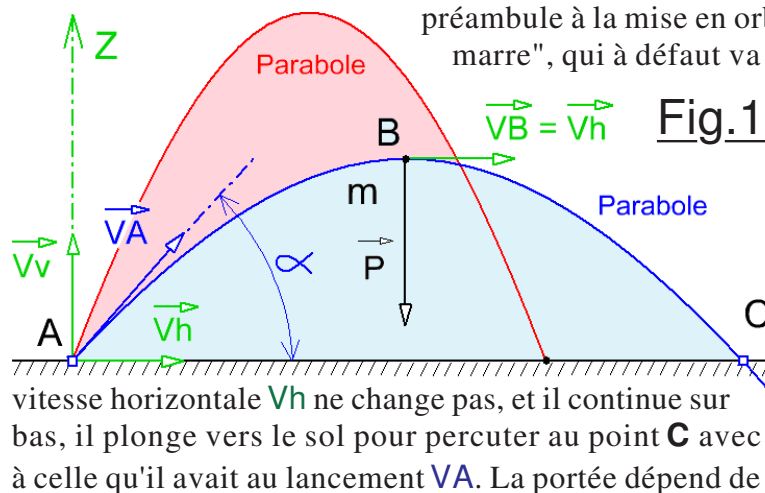
Pas d'échappatoire envisageable. Le record d'altitude doit être atteint, et en toute sécurité car à bord il y a les deux étoiles d'Hollywood les plus en vogue ... publicité oblige. Plus haut, plus loin, mais avec un retour en toute sécurité pour le grand gala prévu en conclusion de ce coup de publicité médiatique. Le mot erreur est totalement banni du langage. RECORD et RÉUSSITE constituent l'intégralité du vocabulaire associé à STS - 2031, une mission qui doit marquer les esprits ...



LE COIN DES DÉBUTANTS

Enfin, le moment est venu de procéder à un lancement en orbite, et avec Atlantis de surcroît. Mais attention, avec ce vaisseau on s'éloigne des machines futuristes du type Delta Glider. En comparaison les performances des Navettes font triste mine, les moteurs semblent poussifs et surtout les réserves de carburant confinent à la grande pauvreté. Bref, le réel est bien moins brillant, et tellement plus difficile à gérer que tout ce qui ressort de la science fiction. Comme coté carburant on est dans une misère noire, il faut impérativement optimiser les lancements ... et tirer vers l'EST. Pourquoi ça ?

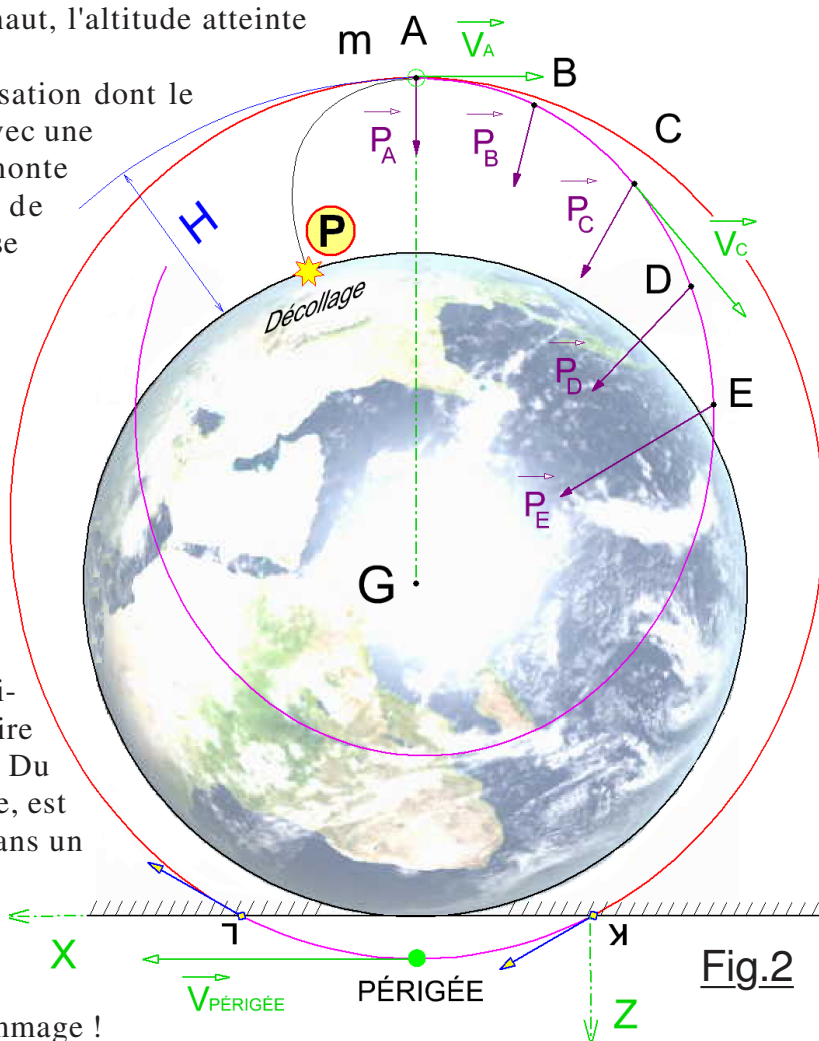
Commençons par voir le principe de la mise en orbite, nous verons les impératifs azimuthaux plus tard. En préambule à la mise en orbite, on va lancer avec la Fig.1 "un pavé dans la marre", qui à défaut va faire des ronds dans l'eau au lieu d'orbites dans



le vide sidéral. En **A** on lance un caillou de masse **m** soumis au poids **P** avec la vitesse initiale **VA**, présentant un angle α avec le sol. La composante de vitesse verticale **Vv** le fait monter, la composante horizontale **Vh** le fait aller loin. Constamment attiré vers le bas, **Vv** diminue pour s'annuler en **B**. Si il n'y pas l'air pour le freiner, sa sa lancée. Mais toujours attiré par le une vitesse **VC** identique en grandeur vitesse initiale **VA** et de l'angle α .

Notez qu'il suffirait de le monter en **B** avec un avion volant à **VB**, de le lâcher et il terminerait avec la même trajectoire bleue. Dans le champ de pesanteur considéré comme constant (Car on est dans un espace restreint) cette courbe est une parabole. Notez qu'avec une vitesse initiale de même grandeur, mais un angle de tir dirigé plus vers le haut, l'altitude atteinte augmente, mais la portée diminue.

On peut maintenant envisager la satellisation dont le principe est représenté sur la figure 2. Avec une fusée, on décolle du point **P** et l'on monte jusqu'en **A**, assez haut pour sortir de l'atmosphère et pouvoir atteindre une vitesse **VA** très importante sans chauffer ni être freiné. Notre mobile de masse **m** est toujours soumis à son poids **PA** dirigé vers le centre de gravité **G** de la Terre qui une fois de plus se voit considérée comme un vulgaire point matériel. Comme il va très vite, il continue d'avancer tout en tombant jusqu'à **B** par exemple. En ce point il va plus rapidement, comme tout corps qui tombe, et son poids augmente car il se rapproche de **G**. Comme la valeur de la gravitation n'est plus constante, supposé ci-avant, Kepler nous affirme que la trajectoire suivie est une ellipse tracée ici en violet. Du reste, cette courbe qui passe dans la Terre, est exactement ce que montre **Orbit MFD** dans un tel cas. Notre chute est de plus en plus vertigineuse, et la Terre qui n'apprécie pas du tout de se voir réduite à la condition de point matériel nous ramène à la réalité au point **E** ... PAFFF un cratère de plus. Damage !



Supposons maintenant que la fusée nous hisse à une hauteur **H** identique. Mais au point **A** on pousse plus longtemps pour obtenir une vitesse orbitale plus importante. On va alors décrire une ellipse plus grande tracée en rouge. Toujours "aspiré" par **G** on va tomber inexorablement, notre vitesse prenant de l'assurance. Sauf que cette fois, arrivé au point le plus bas, le Périgée, on est encore très haut, bien en dehors de l'atmosphère. Feintée la Terre ! Si on prolonge le sol par un plan théorique, on est exactement comme notre caillou. Au point **K** il possède une vitesse initiale. (Considérable) Il va décrire sa ~~Parabole~~ son Ellipse pour retomber en **L**, sauf qu'en **L** il ne touche pas le sol et continue sur la lancée. Rien ne le freine, il va remonter jusqu'au point **A** le plus haut nommé Apogée. Il y retrouve la vitesse **VA** puisque hors atmosphère il n'y a pas de perte. Le cycle recommence et il va ainsi tourner sans fin.

RÉSUMÉ > Pour satelliser un corps il faut :

- Le monter à une altitude suffisante, hors atmosphère si l'astre de capture en possède une.
- Lui communiquer une vitesse "horizontale" suffisante pour qu'il retombe "plus haut" que le sol.

Mais pourquoi lancer vers l'EST ? Simple question d'économie de carburant. Supposons que nous voulions une orbite parfaitement circulaire autour de la Terre à une altitude d'exactly 300 Km. La vitesse orbitale sera de 7325 m/s. Peu importe le moyen utilisé pour y monter. (Canon, catapulte, corde à nœuds ...) Peu importe la technique employée pour atteindre cette vitesse précise. Les seuls paramètres qui vont construire l'orbite sont **H** et **V**.

Hors il se trouve que la Terre tourne autour de son axe Nord/Sud à raison de un tour en 24h. Cette rotation induit à tout corps qui se trouve à sa surface une vitesse qui au point de vue de l'astronautique est une vitesse orbitale. La vitesse circonférentielle sur un corps en rotation est toujours d'autant plus grande que l'on s'éloigne de l'axe de rotation. Sur l'axe la vitesse est nulle.

Considérons la Fig.3 relative à la Terre. Avec un rayon de 6371.01 Km et un **rotation sidérale** qui avoisine 23h 56min 04s, on peut calculer l'apport de vitesse résultant de la rotation. Le point le plus éloigné de l'axe de rotation Nord / Sud pour une planète est son équateur.

$$V = L / T = \text{Périmètre} / T = (\pi \times D) / T.$$

$$23\text{h } 56\text{min } 04\text{s} = 86164 \text{ s. } D = 2 \times R \approx 12742020 \text{ m.}$$

$$V \approx (\pi \times 12742020) / 86164 \approx 464,58 \text{ m/s} \quad (\text{Vitesse} > \text{Mach } 1)$$

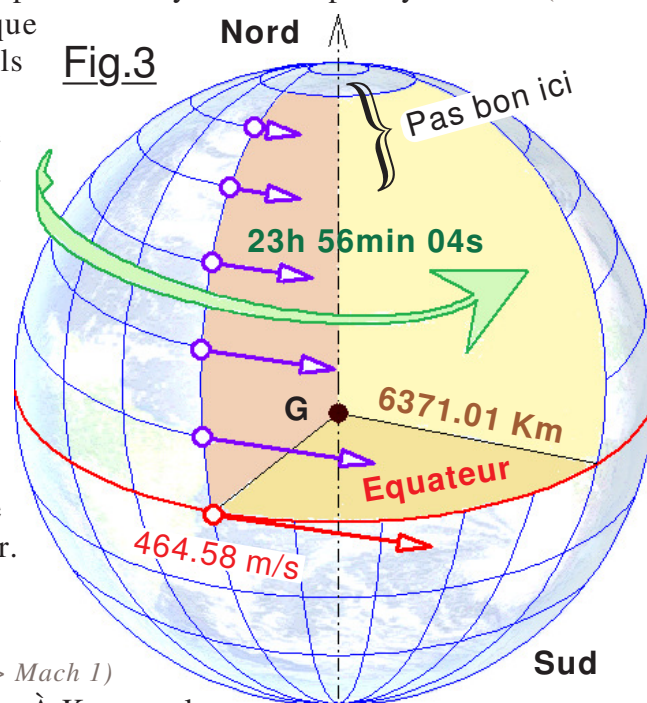
Plus on s'approche du pôle, plus cette vitesse diminue. À Kourou, la base de lancement la mieux placée actuellement dans le monde on dispose gratuitement de 462,7 m/s. Au SKC, plus éloigné du grand cercle, elle n'est déjà plus que de 407,8 m/s. Le pire, c'est pour Baïkonour trop haut en latitude, avec une misère de 323,4 m/s. On comprend alors pourquoi les nations cherchent à baser leur site de lancement le plus proche possible de l'équateur, et pourquoi la Russie a noué des accords commerciaux avec la France pour lancer depuis notre territoire.

CONCLUSION : Quand on va lancer notre Navette, dans une première approximation on va chercher à orienter notre trajectoire vers l'Est pour bénéficier de la vitesse gratuite induite par la rotation terrestre.

TECHNIQUE POUR PROCÉDER À UNE MISE EN ORBITE.

Globalement un lancement de Navette va enchaîner trois phases fondamentales. La prise de Cap le plus rapidement possible, dès que l'ensemble a suffisamment dégagé les installations de lancement. La Fig.4 en page 5 montre la Navette qui vient juste de dépasser le sommet de la tour. Première phase, une rotation en Roulis **R** pour prendre en Cap l'azimut de lancement désiré. Nous on va sensiblement pointer vers l'Est. Puis, rapidement "cabrer" pour commencer à ramener le nez vers le bas. Dans cette deuxième phase on débute l'ascension avec un angle important pour sortir rapidement de l'atmosphère. C'est en Cabrage **C** que l'on va contrôler l'angle de la montée. Mais il faut absolument obtenir la vitesse

Fig.3



La Navette monte à la verticale et vient juste de dégager la tour de lancement

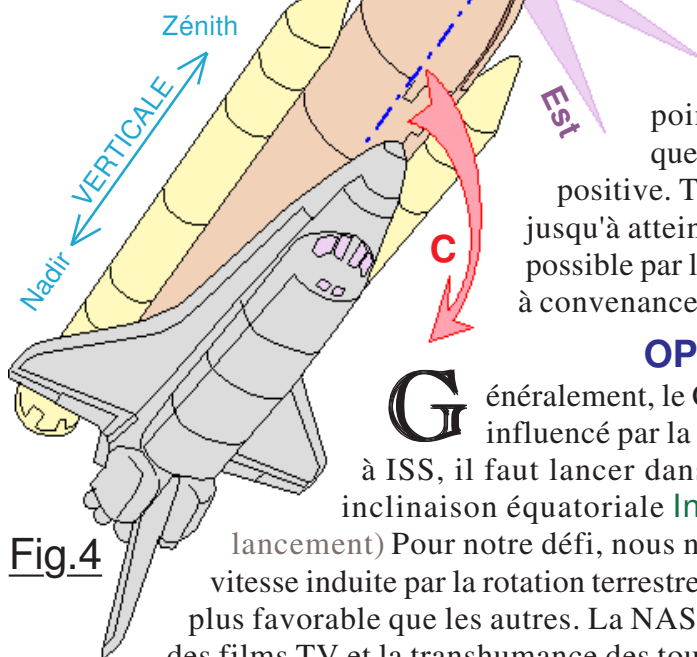


Fig.4

horizontale qui permet de rester en orbite.

Dès que l'apogée commence à atteindre les 200 km à 300 km il faut ramener l'assiette à l'horizontale pour augmenter la vitesse "tangentielle". L'erreur habituelle consiste à trop focaliser sur la valeur de l'apogée et de laisser le périégée stagner à une valeur trop négative. C'est irrattrapable une fois arrivé à l'apogée. Donc, au cours de la montée il faut assez rapidement diminuer l'angle de "PITCH" pour pointer progressivement vers l'horizon. C'est à ce stade que la vitesse va augmenter et la valeur du périégée devenir positive. Troisième phase, faire augmenter la valeur de l'apogée jusqu'à atteindre l'altitude prévue pour la mission. Il sera toujours possible par la suite de circulariser, ou d'ajuster la valeur du périégée à convenance. Reste à déterminer l'azimut du lancement.

OPTIMISER LE LANCEMENT.

Généralement, le Cap qui sera adopté pour un lancement est directement influencé par la nature de la mission. Par exemple si on veut se rendre à ISS, il faut lancer dans le plan de son orbite, ce qui impose à la fois une inclinaison équatoriale **Inc**, et un moment propice pour le tir. (La fenêtre de lancement) Pour notre défi, nous n'avons qu'une seule contrainte : Utiliser au mieux la vitesse induite par la rotation terrestre. On peut donc lancer sans se préoccuper d'un moment plus favorable que les autres. La NASA a choisi le jour et l'heure pour faciliter le tournage des films TV et la transhumance des touristes venus assister au lancement. Reste à optimiser le Cap pour cette mission, sachant que Kepler vient une fois de plus nous compliquer un peu la vie :

IL EST IMPOSSIBLE DE PLACER EN ORBITE AVEC UN AZIMUT INFÉRIEUR À LA LATITUDE DE LA BASE DE LANCEMENT.

Mais quelle est la raison de cette impossibilité ? En fait, elle avait plus ou moins été rencontrée

en Fig.3 page 5 du DÉFI num 3, mais pas vraiment explicitée. Une explication plus géométrique peut être donnée à partir de la Fig.5 sur laquelle on envisage un tir depuis la base **B** qui se trouve plus haut en **Latitude** que l'**Equateur**. Pour bénéficier au maximum de la vitesse induite par la rotation terrestre on va lancer avec un azimut de 90°, c'est à dire plein Est. Le lancement étant effectué à Cap constant, on espère suivre la **trajectoire tracée en violet**. Arrivé au point **M** le plus haut, on compte circulariser sur une **Orbite** tracée en rouge et contenue dans le plan **P**. Si il était possible d'obtenir une inclinaison orbitale **Inc** quelconque, la notre serait de 0° et le plan **P** serait alors parallèle à celui de l'**Equateur**. Mais les lois de la gravitation décrites par Kepler imposent au **plan orbital** de passer par le centre attracteur **G**. De fait, quand on va arriver au point **M**, la vitesse sera effectivement plein Est, puisque on aura maintenu le Cap, mais moteurs coupés, notre trajectoire qui poursuit sur la lancée sera celle représentée en rouge sur le dessin de profil en bas de la Fig.5, et la valeur angulaire d'**Inc** sera voisine de celle de la **Latitude** de lancement. (Dommage !)

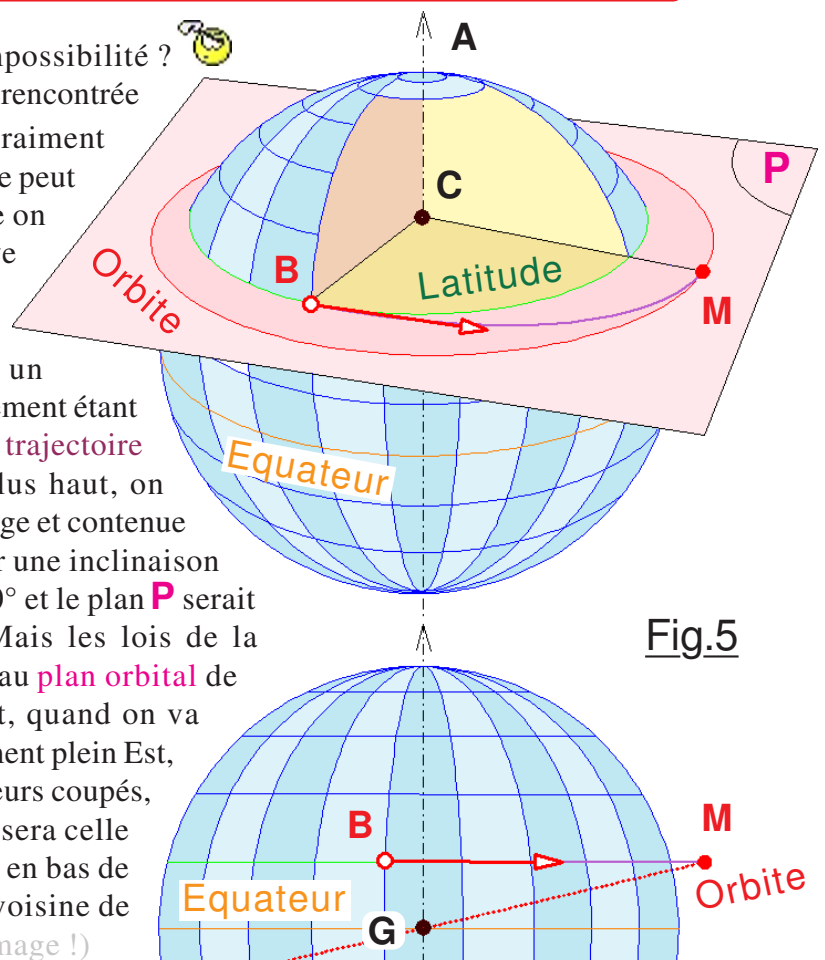
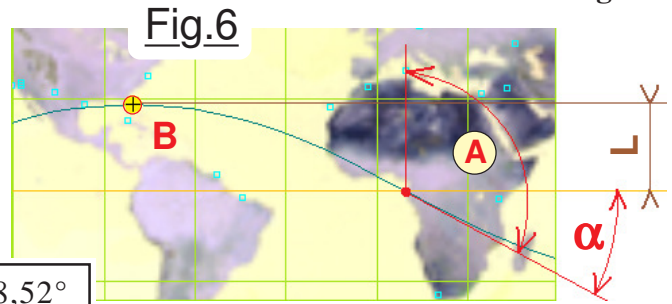


Fig.5

PRÉPARER LE LANCEMENT.

A partir de la Fig.6 il est aisé de calculer l'azimut **A** sachant que la latitude **L** de notre base **B** pour KSC est de 28,52° Nord. L'inclinaison orbitale α (En fait **Inc**) ne pourra pas être inférieure à cette valeur. Mais comme l'azimut se mesure depuis le Nord, il faut ajouter 90°.

$$A = 28,52^\circ + 90^\circ = 118,52^\circ$$



Conformément au plan de vol, dès qu'ATLANTIS aura dégagé de la tour de lancement, on engagera un roulis avec les RCS en mode **ROT** de façon à prendre ce Cap de 118,52° que l'on maintiendra jusqu'à la mise en orbite. Mais il y a une complication opérationnelle. Le cap, par définition c'est la direction orientée vers laquelle on se dirige. Hors le début du décollage se fait à la verticale. On ne se dirige vers rien, et si tout le vol se poursuivait ainsi ... on retomberait au même endroit ! Ce qu'il nous faut, ce n'est pas une indication de cap, mais une "boussole" qui nous montre la position du Nord. On peut alors tourner verticalement pour présenter notre dos vers la direction désirée. **Pourquoi le dos ?** Parce que lors des lancements, la Navette était dessous le réservoir, elle ne passait au dessus que vers la fin, avant le largage de ce gros bidon. **Du coup, pour pointer vers l'horizontale vers le bas ... il faudra CABRER.**

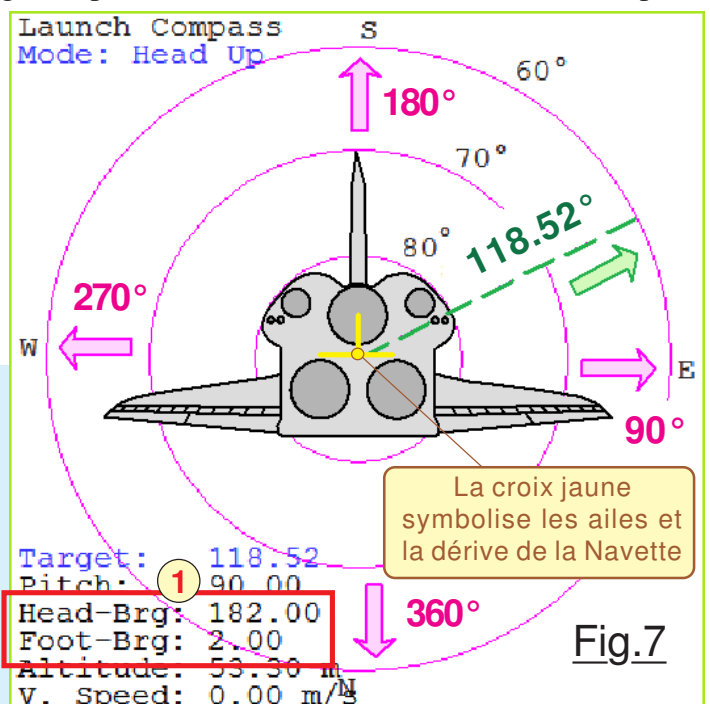
Launch Compass MFD est notre sauveur. Comme son nom le précise, c'est un compas qui montre où se cache le Nord. Son patronyme laisse également penser que cet astucieux ADD-ON est prévu spécifiquement pour les lancements. Sa structure globale et les informations qu'il donne sont effectivement optimales pour gérer une mise en orbite, mais il reste toujours avantageux d'avoir une boussole dans sa poche en toutes circonstances. Merci à son auteur **agentgonzo** de nous avoir concocté un outil aussi simple à utiliser. Pour l'interprétation et l'utilisation dans le détail de cet outil, vous pouvez aller sur <http://francophone.dansteph.com/?page=tutorials> télécharger **Livret de divers MFD**. L'onglet **Cmpas** en **p11** décrit ce MFD. Nous allons en faire un usage simple dans le cadre de cette mission. C'est parti pour le grand rond dans le vide sidéral.

- Activer la scène **ATLANTIS le retour.scn** dans laquelle nous avons à gauche **Launch Compass** MFD et à droite **Map** MFD qui nous montre une carte assez semblable à celle de la figure 6.

Pensez à valiser le module LaunchCompassMFD dans l'onglet spécifique du menu d'entrée d'Orbiter.

- Sur **Launch Compass** MFD cliquer sur **DSP** pour imposer le mode **Head Up**.

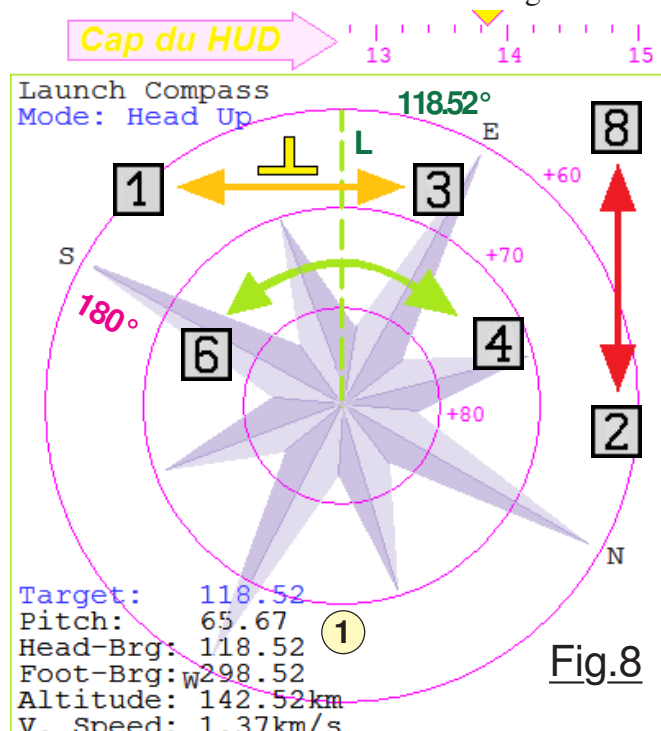
ATTENTION : L'interprétation est facile, mais il faut savoir que la rose des Caps est vue par dessous comme montré sur la Fig.7 ci-contre. On est dans la Navette, notre boussole est en fait une sphère. ATLANTIS étant verticale, quand on regarde devant, on a un PITCH de 90°, les valeurs de cabrage étant repérées par les cercles roses sur la Fig.7 et les valeurs en noir. Nos pieds sont vers le bas de l'écran, dirigés globalement vers le Nord. En effet, à KSC la tour de lancement est telle que le ventre de la Navette est orienté vers le Nord et le Dos vers le Sud. De fait, le haut de notre écran pointe donc le 180°. Le trait vers en pointillés représente l'azimut de lancement désiré. Notez qu'il sera facile au cours du vol de savoir en permanence en **1** vers où se trouve dirigé notre dos et nos pieds. Par exemple en ce moment le ventre d'ATLANTIS est au 2° et le dos au 182°.



- Cliquer sur **TAR** pour imposer l'azimut **118.52**.
- Passer le MFD de droite en mode **Map** pour pouvoir surveiller les valeurs de l'Apogée et du Périgée.
- **PRJ** pour avoir une vue orthogonale de l'orbite **Prj SHP** > bouton **DST** pour afficher les valeurs des altitudes et non les distances jusqu'au centre des astres > bouton **FRM** pour l'option **EQU**.

PROCÉDER AU LANCEMENT.

Tous les voyants sont au vert, c'est parti pour le grand saut. Commencer à vérifier en haut et à gauche de l'écran que les RCS sont bien en mode **ROT**. Avec la commande clavier **[Ctrl] + num** augmenter au maximum la poussée des moteurs principaux en vérifiant en haut et à gauche de l'écran que **Main est bien à pleine déviation**. Dès que la tour est dégagée, immédiatement avec les touches du pavé numérique on va gérer la direction du vol dans les trois dimensions. Comme le montre la Fig.8 on doit considérer {ESWN} comme une rose des Caps qui tourne en bloc, avec calé sur cette boussole la ligne verte pointillée **L** qui indique l'azimut prévu pour le lancement. Il faut gérer cette ligne en la gardant bien "verticale" vers le haut du MFD à l'aide des touches **4 num** et **6 num**. La flèche courbée verte sur la Fig.8 montre dans quel sens la font tourner ces deux touches. Il faudra maintenir verticale **L** durant toute la phase de lancement. Une fois cette condition assurée, commencer à diminuer l'angle de PITCH en cabrant avec la touche **8 num**. Le petit avion jaune va s'éloigner du centre qui correspond à 90° vers le zénith. Plus on va pointer vers l'horizon, plus il se déplace entre les cercles qui repèrent les angles spécifiques de 80°, 70° et 60°. Par exemple sur la Fig.8 le petit avion jaune se trouve entre les cercles 60° et 70°. On en déduit que le PITCH actuel avoisine 65°, que l'on peut vérifier avec la valeur précise en 1. Notez au passage que PITCH est relatif à notre orientation par rapport à l'horizon, alors que Piquer avec **2 num** et Cabrer avec **8 num** sont relatives à la Navette. La flèche rouge sur la Fig.8 montre dans quel sens ces deux touches font "monter" ou "descendre" le petit avion sur l'écran du MFD. Enfin le petit avion va se décaler latéralement. On le recentre en Lacet avec les touches **1 num** et **3 num** comme montré par la flèche orange. Par exemple ici il est décalé à gauche. On en déduit que le Cap est supérieur à 118.52° et inférieur à 180° puisque le petit avion est entre ces radiales sur la rose des Caps. À comparer avec l'indication du HUD qui donne ≈ 138,5°.



RÉSUMÉ : Maintenir la radiale verte **L** bien verticale avec **4 num** et **6 num**. Maintenir latéralement le petit avion jaune sur **L** avec **1 num** et **3 num**. Modifier la valeur de PITCH avec **2 num** et **8 num**.

PROFIL DE LANCEMENT, PLAN DE VOL.

C'est incontestablement dans l'organisation du plan de vol que l'on va pouvoir optimiser les consommations et nous permettre de circulariser le plus haut possible. Plusieurs approches sont possibles, je vous en livre deux, et l'on va en expérimenter une. Quelle que soit la solution adoptée, elle consiste fondamentalement à monter à un point **P** qui présente une altitude **H** et d'y arriver avec une vitesse de circularisation purement horizontale **V**. (*V étant directement fonction de H*)

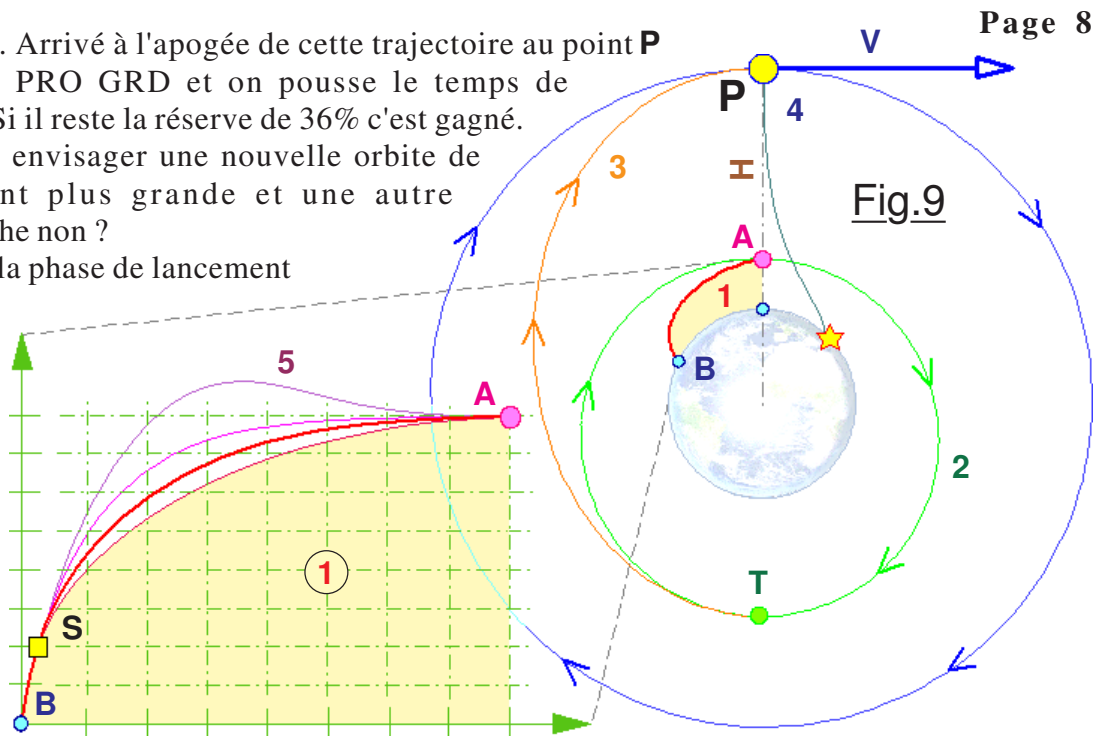
La Fig.9 résume diverses possibilités. La première idée consiste à décoller de la base **B** à la verticale jusqu'au point **P**. Puis arrivé à ce point, orienter à l'horizontale et pousser jusqu'à obtenir la bonne vitesse **V**. Oubliez, ce n'est pas du tout un bon plan. Le temps que l'on oriente en PRO GRD, le vaisseau commence à tomber. L'accélération que permet "la motorisation poussive" de la Navette est faible. Le poids nous fait prendre plus de vitesse verticale que les moteurs ne nous lancent vers l'horizon. C'est la descente inexorable montrée par la courbe grise qui se termine par la petite étoile ... fin du vol dans l'atmosphère !

Plan du vol de base proposé dans ce défi : On va s'inspirer des missions réelles. On commence par la phase de lancement **1** qui de la base **B** nous amène bien au dessus de l'atmosphère au point **A**. En ce point on possède assez de vitesse pour cheminer sur l'**orbite d'attente 2**. Durant la première boucle ou après plusieurs tours, (On peu se le permettre puisque le temps ne fait pas partie des critères d'évaluation) arrivé au point **T** diamétralement opposé à **P** on augmente notre vitesse en PRO GRD pour emprunter

l'orbite de transfert 3. Arrivé à l'apogée de cette trajectoire au point **P** en **4**, on repasse en PRO GRD et on pousse le temps de **circulariser l'orbite**. Si il reste la réserve de 36% c'est gagné. S'il y a plus, on peut envisager une nouvelle orbite de transfert légèrement plus grande et une autre circularisation. Fastoche non ?

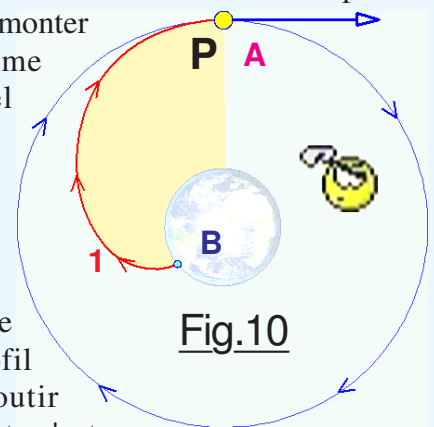
Notez au passage que la phase de lancement

qui permet de décoller en **B** et d'arriver en **A** avec la bonne vitesse constitue le **profil de lancement**. L'ensemble de la stratégie pour atteindre l'objectif donne lieu au **plan de vol** ou **profil de mission**.



PISTES POUR OPTIMISER LE PLAN DE VOL :

On imagine assez bien que la valeur des altitudes pour les points **A** et **T** doivent influencer le résultat final. Mais pas tant que ça, car dans tous les cas, arriver au point **P** va consister à acquérir de l'énergie de hauteur **H** nommée **énergie potentielle**, et de l'énergie de vitesse **V** l'incontournable **énergie cinétique**. C'est surtout cette dernière qui pénalise le bilan carburant, et on ne peut pas vraiment la minimiser. Par contre, le **profil de lancement** nous permet une foule de variantes, sa vue agrandie **1** représente diverses combinaisons. Il faut atteindre le point **S** de sécurité hors atmosphère assez rapidement avec un tir relativement vertical. Mais ensuite, on peut monter plus ou moins "raide". Pour les vols réels de la Navette on utilise même un profil de lancement **5**, tracé en violet sur la Fig.9 sur lequel momentanément on redescend. Ces trajectoires intègrent les notions de RTLS, ECAL, TAL qui n'entrent pas ici dans nos préoccupations. (Voir tutoriel sur les Navettes Niveau 2) Par contre, il est probable que le plan de vol donné dans ce tutoriel n'est pas optimisé. À vous de tester d'autres stratégie et d'expérimenter d'autres profil, y compris le plan de vol décrit sur la Fig.10 donnée ci-contre. C'est une variante du plan précédent dans laquelle on supprime l'orbite d'attente. Le profil de lancement sert également de trajectoire de transfert pour aboutir directement au point **P**. Est-ce possible de faire ça ? Mais oui, du reste c'est exactement ce que faisaient les vols Apollo dans les dernières missions, quand le LEM repartait de la Lune pour rejoindre le CSM. Et en plus il y avait le rendez-vous à gérer. À expérimenter ...









Notre route est tracée, il ne reste plus qu'à concrétiser. ATLANTIS commence à gravir les échelons. Pour notre **Profil de lancement** je vous propose l'extrait du manuel de mission donné en haut de la page 9. Ce sont des ordres de grandeur. Du reste si vous regardez le graphe d'enregistrement de ce vol de base sur la Fig.15, vous constaterez que les modifications de cabrages ont été effectuées sans finesse, par "escaliers". Pour obtenir cet enregistrement, il suffit en fin de lancement de sélectionner sur l'un des MFD la fonction **Ascent profile**. C'est la boîte noire dans Orbiter. Elle enregistre les paramètres pertinents d'un lancement en vue d'un dépouillement ultérieur ... et l'on ne va pas s'en priver.

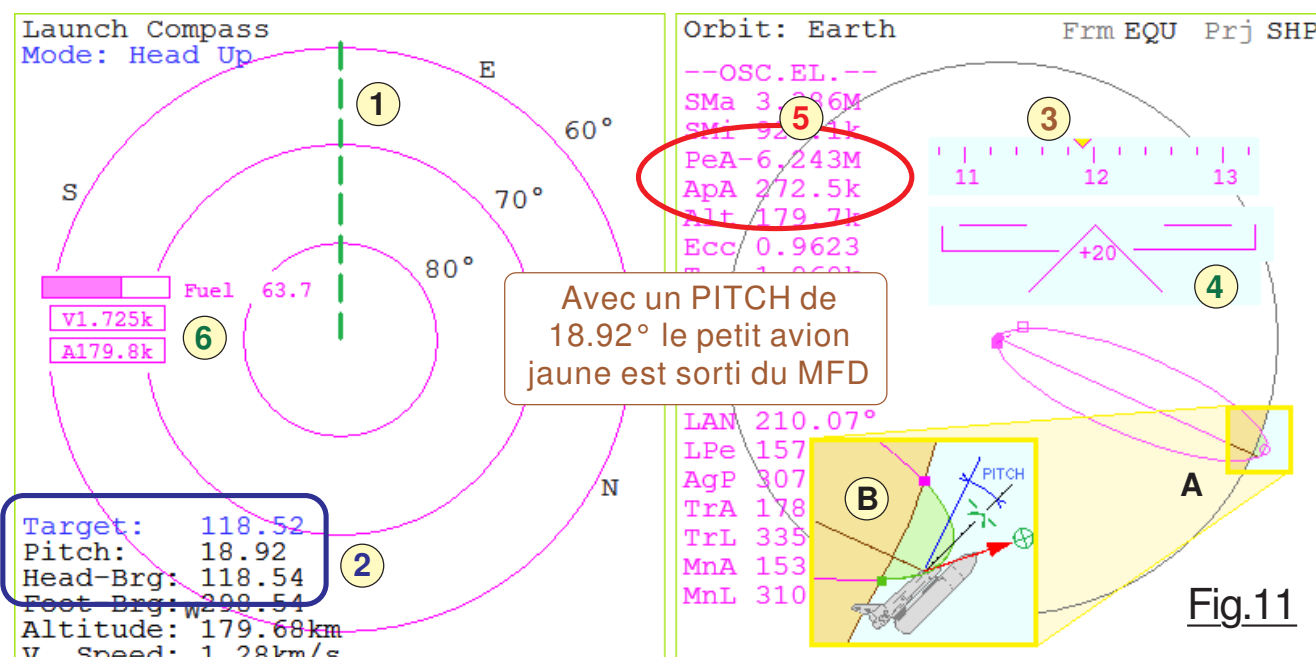
Donc, dès que l'orientation en roulis de prise de cap est effectuée, vous cabrez progressivement pour tenter de respecter les valeurs du plan de vol. Les premiers kilomètres d'altitude sont franchis rapidement, car les fusées d'appoint à poudre fournissent une accélération phénoménale. De plus on monte presque à la verticale, toute la vitesse se traduit par de la prise d'altitude. Il faut rester attentif, car on risque de se trouver continuellement à la traîne. Vers 75 Km de hauteur, il devient vital de prendre de la célérité vers

PROFIL DE LANCEMENT		
ALTITUDE	PITCH	
10K	80%	
20K	75%	
30K	70%	
40K	65%	
50K	60%	
75K	50%	
100K	35%	
150K	25%	
200K	0%	

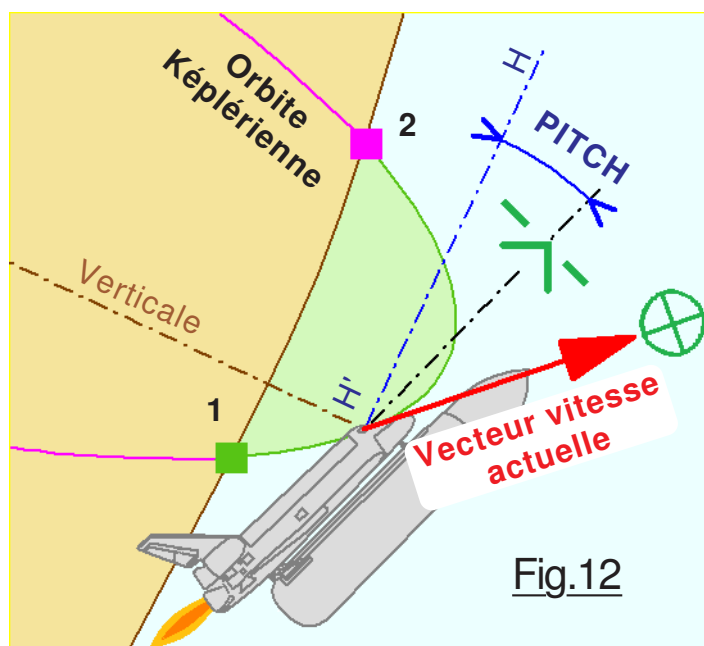
l'horizontale, il nous faut absolument obtenir la bagatelle de 7 Km/s soit 21 fois la vitesse du son.

Quand le nez pointe vers l'horizon, c'est à dire que l'index  vient se placer sur la valeur  **+00**  de l'indicateur de cabrage sur le HUD, effectuer une rotation de 180° en Roulis pour faire passer la Navette sur le dessus. On vole ainsi comme un avion, ce qui pour le pilotage en références externes est plus aisé, et le largage automatique du réservoir s'effectuera correctement. Notez au passage qu'au moment où l'on passe d'un cabrage positif à une assiette nulle, le compas s'affole un peu, ne pas s'en occuper, c'est normal. (Ce phénomène a été abordé dans le tutoriel sur les Navettes

Niveau 2) Continuer à surveiller le vecteur vitesse  sur le HUD. Il faut impérativement l'empêcher de passer sous  **+00**  si on veut que le Périgéee puisse émerger copieusement du géoïde terrestre. La Fig.11 donne une idée des informations à surveiller sur les MFD au






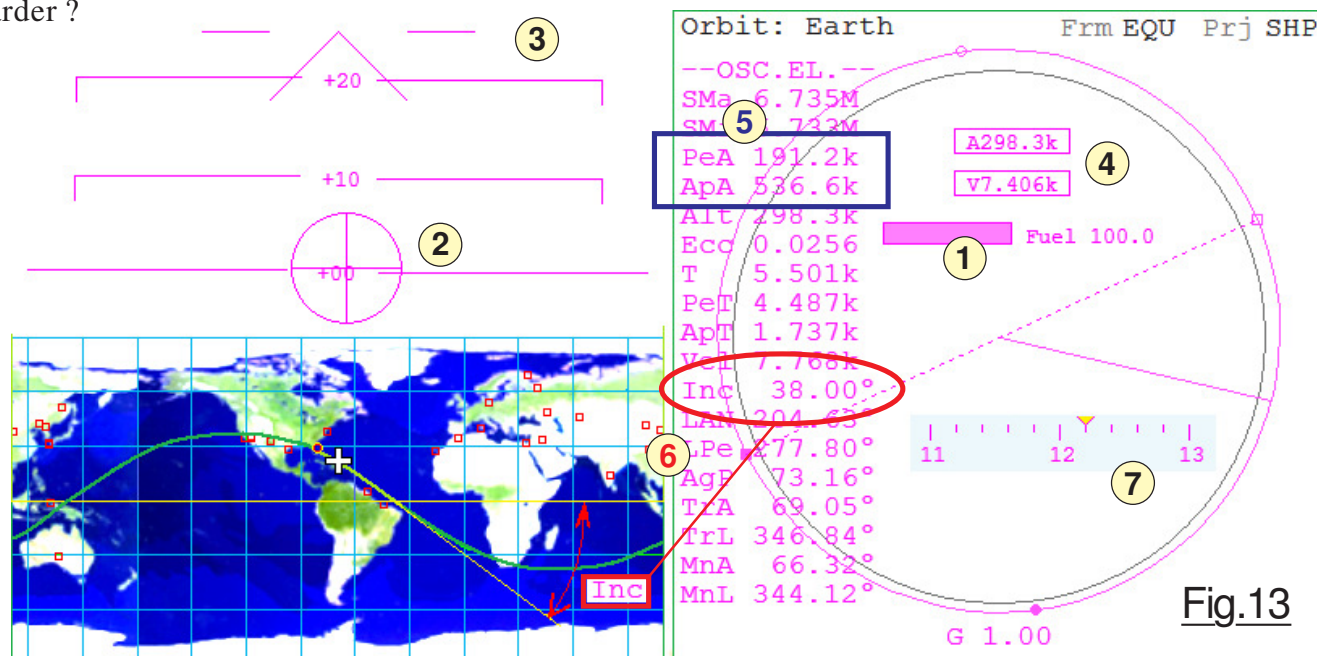
cours du lancement. En **1** tout va bien, notre ligne d'azimut est bien verticale. Le Cap réel de 118.54° correspond bien à celui désiré de 118.52° comme on peut le vérifier en **2**. Le HUD en **3** confirme ce paramètre prioritaire. On observe en **4** qu'à l'altitude d'environ 180 Km notre PITCH est proche de 19° ce qui reste parfaitement conforme au profil prévu pour le lancement. Par contre, en **5** on voit que l'apogée va nous amener à 272 Km, mais que le Périgéee reste vers le centre de la planète. En **6** il nous reste encore



63,7% de fuel pour "corriger le tir". Je vous propose maintenant de lire entre les lignes, ou si vous préférez, d'analyser dans le détail ce que nous montre Orbit MFD. C'est un peu comme un contrat d'assurance, souvent ce qui est important est écrit tout petit. On va regarder à la loupe tout ce que nous raconte la petite zone de l'encadré **A** représenté un peu plus grande en **B**. L'extrait bien visible de la Fig.12 va nous permettre d'observer une foule de détails tous très importants.

On reconnaît facilement l'intérieur de la Terre colorié en brun. Le trait d'axe marron représente notre position sous forme d'un rayon qui passe par le centre de la Terre, donc c'est aussi la **Verticale** locale. Sa perpendiculaire **H'H** est donc l'horizontale locale. L'angle que fait l'axe longitudinal de notre vaisseau par rapport à **H'H** constitue par

définition le **PITCH**. Dans le poste de pilotage, cet axe longitudinal est matérialisé par  sur le HUD. Notre orbite Képlérienne est représentée en vert sur **Orbit MFD**. Mais sur **Map MFD**, la partie sous Terre est coloriée en rose comme fait sur la Fig.12 avec en **1** le carré vert qui situe la sortie, et en **2** le carré rose qui repère le point de pénétration. Ces deux carrés sont bien évidemment fonction du sens de parcours du mobile sur son orbite. Ceci dit, le **Vecteur vitesse** n'a rien à voir avec l'axe du vaisseau. Représenté en rouge sur notre dessin, ce vecteur est toujours tangent à la trajectoire, car c'est lui qui la génère. Le symbole  sur le HUD permet de visualiser ce paramètre vital. Quand  n'est pas visible, c'est qu'il est très au dessus ou en dessous de l'écran ... Danger ! Avez-vous vu à quel point cette minuscule zone sur **Orbit MFD** concentre de l'information si on sait regarder ?



Considérons sur la Fig.13 les paramètres orbitaux en fin de lancement quand le réservoir extérieur vient d'être largué. En **1** on constate que l'on a 100% de **Fuel**. C'est normal, car l'écran affiche ce qui reste dans les réservoirs internes de la Navette sur lesquels on n'a encore rien soutiré. En **2** notre vecteur vitesse est bien au dessus de l'horizon, mais pour le maintenir "positif" nous avons terminé le lancement avec un cabrage **3** de 25°. En **4** notre altitude actuelle est de presque 300 Km. En **5** on voit que notre lancée va nous faire monter jusqu'à 536 Km, mais surtout que le Périgée se situe à 191 Km, largement au dessus de l'atmosphère terrestre. On est bien sur une orbite "sécurisée". Pour **Inc**, nous pensions conserver la valeur de 28,52° mais l'on voit en **6** que l'on a presque 10° de plus. Ce n'est pas grave, mais si cet angle avait été un vrai paramètre de mission, nous serions obligés de le corriger par un changement de plan glouton en fuel. Pour quelle raison cette différence, alors que l'on s'est évertué à garder notre cap durant toute la montée ? Il y a bien en **7** un cap final de 122° au lieu de 118°, mais cette différence ne peut justifier l'écart constaté. La vraie raison, c'est que durant la montée, nous n'avons pas tenu compte de la rotation terrestre. Conclusion : **POUR LANCER AVEC UN Inc PRÉCIS IL FAUT CALCULER L'AZIMUTH DE TIR AVEC UN OUTIL QUI TIENNE COMPTE DE LA ROTATION TERRESTRE.**

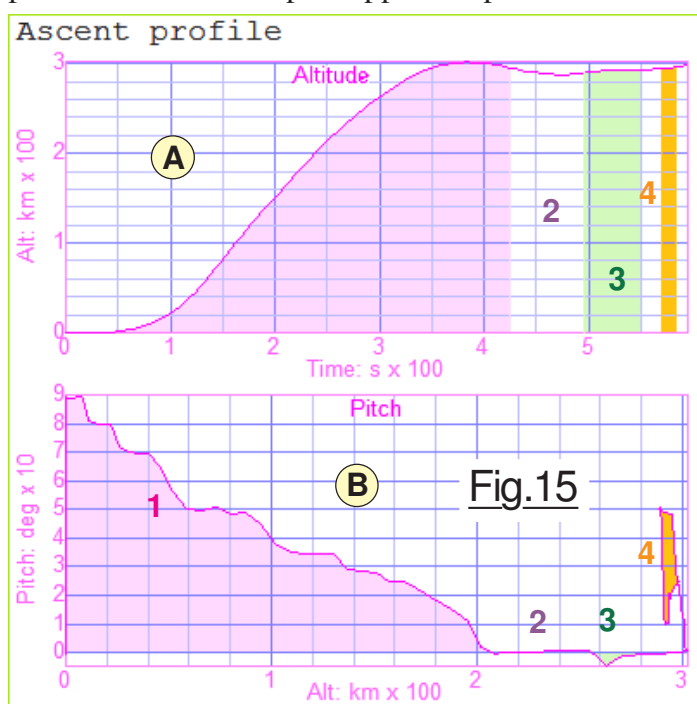
DEUXIÈME PHASE DU PLAN DE VOL.

C'est celle de l'orbite de transfert qui va nous faire monter à l'altitude à laquelle on va circulariser, sachant qu'après cette manœuvre il doit rester la réserve de carburant imposée pour le retour sur le plancher des vaches. Ne comptez pas trop sur Nulentout pour vous donner toutes les informations. Lors du DÉFI n°1 nous avons appris à modifier à convenance Apogée et Périgée. Nous savons également comment procéder à une circularisation. Il vous suffit de reprendre ces techniques simples pour terminer la mission. Pour ma part, dans ce vol je me suis contenté de circulariser vers le point le plus haut de l'orbite d'attente. La Fig.14 montre que l'on peut facilement réaliser un cercle parfait à déjà 507 Km d'altitude, alors que ce vol de base est loin de se montrer un exemple de pilotage en finesse. Il reste encore 75,4 % de **Fuel**, bien plus que la marge de sécurité imposée pour le retour. Il est donc encore très facile de relever l'orbite, mais pour cette partie aisée du plan de vol, vous avez largement les compétences. Mission accomplie, la NASA va pouvoir convaincre les débiteurs de voter les budgets pour O.N.R.E.P.A.R.T.

Logiquement, ce qui va déclencher la fin de votre tentative sera l'approche de la valeur 36 % dans le réservoir, sachant qu'il est impératif de fournir au jury une orbite parfaitement circulaire. Pour le critère de circularité, on pourrait se contenter de vérifier en 2 que $Ecc = 0.0000$ sur Orbit MFD, mais l'expérience montre que cette valeur peut être obtenue, alors que les altitudes de PeA et de ApA en 1 sont légèrement différentes. Les arbitres sont intransigeants, ils ne se contenteront pas de vérifier Ecc, mais exigent que PeA et ApA soient deux clones strictement identiques : Condition non négociable pour valider votre record. Naturellement la jauge 3 devra présenter une réserve minimale de 36 %.

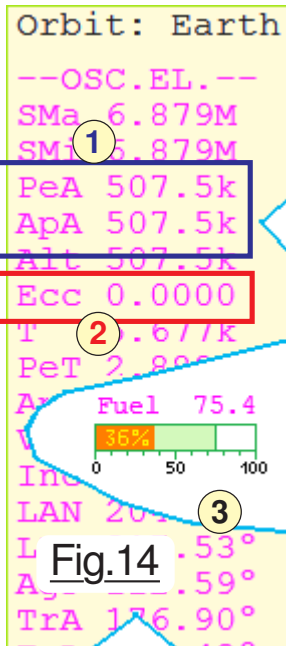
DÉBRIEFING.

L'analyse du vol une fois revenu à la base est effectuée Fig.15 sur les graphes de l'enregistreur de bord. Le graphe A présente la prise d'altitude relativement régulière. Les courbes du tracé B montrent à l'évidence en 1 que la diminution de PITCH est constituée d'une succession de "marches". Il serait plus propre de laisser diminuer l'angle de montée progressivement, quitte à se trouver parfois légèrement plus ou moins cabré par rapport au profil de lancement. La zone rose représente



toute la phase où le PITCH était positif. Dans la zone 2, le pilote a maintenu un PITCH nul, car le vecteur vitesse était nettement au dessus de l'horizon. Par manque d'anticipation, le Captain a laissé en 3 la vitesse s'orienter vers le bas, du coup l'orbite commence à s'enfoncer. Avec horreur, le pilote s'aperçoit en 4 que le Périgée reste dramatiquement "dans" la Terre, et la jauge de Fuel diminue diaboliquement. Avec précipitation, il a cabré jusqu'à 50° vers le haut comme visible sur le tracé B pour sauver la mission.

CONCLUSION : Piètre record. Il vous faudra trouver expérimentalement un tableau plus complet que celui donné en haut de la page 9 pour optimiser votre lancement, je suis certains que les copains ne vont pas s'en priver. Un profil qui donne la valeur de cabrage sur l'ensemble de l'ascension et qui par anticipation évitera le "cafouillage 4. 😊



CE QU'IL FAUT INSTALLER POUR CE DÉFI :

- 1) Orbiter de base version 2010 :
- 2) Orbiter Sound :
- 3) Launch Compass : <http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=3260>
- 4) La scène ATLANTIS le retour.scn

Note : Pour la configuration d'orbiter, pensez dans le menu d'ouverture du logiciel à activer le complément LaunchCompassMFD dans les modules du menu de base d'orbiter.

Môa môa je vais faire signer une pétition par tous les Orbiteurs, car sous prétexte qu'il n'y avait pas la place, Nulentout n'a remercié personne. C'est un véritable SCANDALE !



Et en plus la bulle de texte est mal cadrée.

BILAN DU VOL DE BASE SERVANT A L'ÉVALUATION :

Altitude de circularisation :
PeA = ApA = 507 Km.

De la bonne volonté, mais trop brouillon. Peut faire mieux avec un minimum de travail personnel.