

UTILISER L'A.G.C. POUR RÉALISER LA T.L.I. :

Indubitablement, à un moment ou à un autre il faut bien y aller, quitter le giron de l'orbite basse et s'éjecter loin loin loin jusqu'à atteindre la sphère d'influence prépondérante de l'attraction lunaire. (*La fameuse SOI connue de tous*) Ce que les initiés nomment la **TLI** : Trans Lunar Injection. C'est une phase critique de la mission qui impose un certain nombre d'impératifs. Il faut naturellement que la motorisation du S IV B soit activée et que nous ayons suffisamment de carburant. Puis, il faudra orienter correctement le train spatial dans une attitude de type PRO GRADE. Si on veut espérer pénétrer dans la SOI lunaire, non seulement il faudra **allumer le moteur du S IV B au bon moment**, mais également le faire fonctionner **pendant une durée précise** pour obtenir un "Delta V" très précis. (*Nommé **dV** dans ce qui suit*) Nous allons point par point satisfaire ces divers impératifs, le but de cet exercice consistant à passer en revue de détail les nombreuses actions à conduire. Elles seront bien évidemment toutes incluses dans les check-lists de la mission et sont une simple application de la procédure *Préparation vaisseau et réalisation de la T.L.I.* en **Page 32**, mais avant de pouvoir se contenter de réaliser les divers items le moment venu, comme pour tous les pilotes confirmés, nous devons transiter par une formation spécifique. On suppose que le lancement vient juste de se terminer et que l'orbite d'attente est nominale. Les ingénieurs ont initialisé le simulateur de la NASA et c'est maintenant à nous de gagner nos galons d'astronautes : Chargez la situation **32) Pour préparer la TLI.scn et mettre en PAUSE.**

Bien entendu, avant de passer aux exercices pratiques qui suivent vous avez révisé (*Visé ???*) le manuel de la Saturn V et tout particulièrement le chapitre **CONTRÔLE DU LANCEUR** en page 64 du document technique **TECHNOLOGIE 2.pdf**.

Vérifier et surveiller la quantité restante dans les réservoirs d'ergols :

S'engager dans une procédure T.L.I. moins d'une demi-heure avant la mise à feu n'est pas raisonnable. Comme nous sommes en formation et que je désire vous amener directement à ce qui est nouveau, le travail de préparation est déjà effectué dans la situation proposée. On va se contenter ici de vérifier la conformité, puis on libèrera l'écoulement du temps et l'on passera directement au vif du sujet.

En premier, si l'on veut que les jauges de carburant soient fonctionnelles, il faut commencer par :

- Vérifier 8 : **[STAB CONT SYSTEM] cb AC1 et AC2 armés.**
- Vérifier 7 : **sel FDAI/GPI POWER** sur **BOTH** puis 1 : **[LV/SPS IND] sw** sur **SII/S IV B.**


Sur le tableau 1 les huit jauges **SIVB OXID** et **S-IVB FUEL** doivent indiquer un minimum de 36 / 50. (**On dispose alors d'une durée de combustion BT d'environ 420s et un dV d'environ 3400 m/s**)

Contacter la Terre pour télécharger les données de la manœuvre :

Utiliser les divers MFD d'Orbiter est totalement contraire à l'esprit de NASSP qui se veut du APOLLO pur et dur. À cette époque les Orbit MFD, HUD et autres IMFD étaient des vues de l'esprit. S'en servir trahi l'histoire. Lorsque nous serons sur une vraie mission, il sera totalement exclus sauf exception de se servir de ces outils. Par contre, en phase de formation, comme nous n'avons pas toutes les "facilités" du vrai simulateur de la NASA, il n'est pas du tout incohérent d'user ponctuellement des MFD d'Orbiter pour bien assimiler ce qui se passe. De même que passer en vue extérieure qui s'avère un atout incontestable sera interdit pour des raisons de réalisme quand on passera aux "vraies missions". Il y aura toutefois une dérogation qui s'imposera : celle qui consiste à utiliser **LunarTransferMFD** pour déterminer les paramètres relatifs à l'éjection lunaire. Par contre, si c'est acceptable en vol réaliste pour simuler les télémesures issues de la Terre qui guidaient les astronautes, il n'est pas question d'utiliser le pilote automatique de ce module pour effectuer la poussée d'éjection. Une fois acquises les informations à fournir au DSKY on redeviendra des "Apollo pure race". Dans ce qui suit nous utiliserons la version actuelle 1.4 de **LunarTransferMFD**, mais au préalable il faut avoir préparé les récepteurs VHF.

- Vérifier 3 : **[S BAND NORMAL] sw [PWR AMPL]** sur **PRIM** et **sw LOW** sur **HIGH.**

Comme on se trouve à proximité de la Terre la réception se fait à fort niveau. On peut privilégier des transferts rapides de données.

En principe le drapeau 3 : **PWR AMPL** devrait afficher  pour signaler que l'étage de puissance du transmetteur qui accuse réception lors des transferts numériques est bien opérationnel. Mais il faut une minute et trente secondes pour qu'il en soit ainsi. On a activé ces éléments en dernière minute. Donc il ne faudra pas oublier une fois la procédure d'éjection engagée de vérifier cet indicateur. L'ensemble des configurations principales étant respecté, on peut passer à la phase active de cet exercice.

Page 102 Libérez la PAUSE mais surtout à partir d'ici il ne faut pas trainer dans vos manipulations.

Vérifier le bon fonctionnement du calculateur de bord :

Il est **000 18 49** sur 2 : [MISSION TIMER] et le DSKY montre en continu la valeur de l'heure MET. Il y a cohérence, mais il est préférable de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de navigation en se faisant afficher les données orbitales :

Y16 N43 E P00 V16 N43

- 029.29 (Latitude x100)

+137.84 (Longitude x100)

+0174.5 (Altitude en km x10)

Les valeurs se modifient. Tout va bien, l'AGC fonctionne au nominal.

Vérifier la disponibilité intégrale du S IV B :

- Vérifier 1 : sw [LV/SPS IND] positionné sur **α** : l'indicateur **LV α / SPS Pc** affichera l'AOA : Conditionner le lanceur par les inverseurs qui influencent le LVDC : (Launch Vehicle Digital Computer)
- 2 : [LAUNCH VEHICLE] sw **GUIDANCE** sur **IU**. (Refermer la sécurité)
- Vérifier 2 : [LAUNCH VEHICLE] sw **SII/S-IVB** sur **OFF**. (Sécurité en place)
- 2 : [LAUNCH VEHICLE] sw **XLUNAR** sur **INJECT**.

Valider la télémétrie et les transferts vers le CMC :

- Placer les deux inverseurs 2 : [UPTLM] sw **CM** et **IU** sur **ACCEPT**.

(Dans ce qui suit c'est la version actuelle 1.4 de LunarTransferMFD qui est utilisée)

Comme il ne s'agit pas ici d'un tutoriel concernant l'utilisation de l'outil LunarTransferMFD, pour alléger au maximum le propos qui nous occupe nous allons nous contenter du "minimum vital". Juste déterminer un **dV** pour s'éjecter, et une durée d'allumage. Prenons provisoirement le poste confortable d'un ingénieur balistique du département "DYNAMIQUE" qui devant sa console dans la grande salle de CAP COM dispose des télémétries de poursuite radar et des calculateurs de la NASA :

Les S IV-B en fin de lancement disposent normalement d'une réserve d'énergie de l'ordre de 36/50. Cette quantité d'ergols permet une durée de combustion de l'ordre de 420 secondes ce qui permet d'engendrer un **dV** d'environ 3450 m/s. On cherchera par mesure de sécurité une solution de tir qui n'exige pas plus de 3400 m/s, quitte à corriger la trajectoire plus tard avec le SPS.

NOTE IMPORTANTE : Dans la manipulation proposée ici on arrive directement à une telle valeur. Mais si le plan de l'orbite lunaire est trop décalé la durée de combustion peut dépasser notre potentiel moteur. Dans ce cas il vaut mieux attendre une prochaine fenêtre de tir.

[F8] deux fois pour passer en cockpit simplifié sur lequel les MFD sont plus lisibles.

Préparation de MFD 0 :

- **SEL > LunarTransferMFD >**
- Cliquer sur **PRG > NXT** jusqu'à indexer **Program TLI > SET > EXE >**

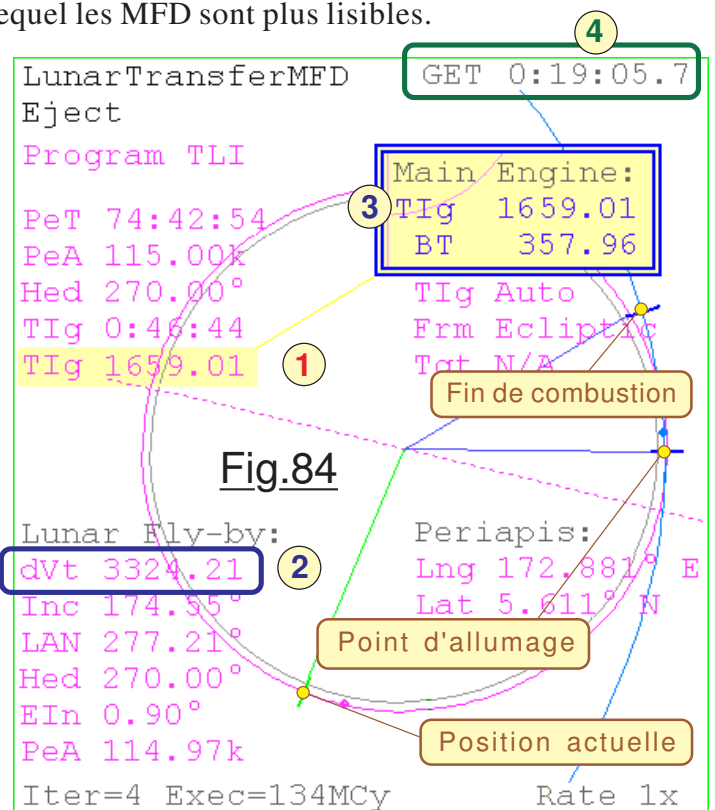
La Fig.84 nous montre LunarTransferMFD avec en **1** pour **Tlg** le délai avant allumage.

En **2** on constate que la variation de vitesse totale à fournir **dVt** sera d'environ 3324,21 m/s, valeur compatible avec nos réserves de carburant.

Éventuellement en **4** nous avons la valeur complète du compteur de mission.

- **DV** pour obtenir avec **BT** la durée de combustion en **3** soit ≈ 357.94 secondes soit 5 min 58 s. Nous avons tous les éléments pour programmer le CMC.
- **DV** pour réafficher les données utiles. Tant que nous y sommes ouvrons à droite **Orbit MFD** qui nous sera bien utile pour des observations futures.

Pour ceux qui le désirent la situation fournie **33) Programmer la TLI.scn** nous place dans les conditions énumérées dans ce paragraphe. Vous pouvez ainsi effectuer ces manipulations avec exactement les mêmes conditions que celles prises en compte dans ce chapitre du tutoriel.



Engager le programme de manœuvre T.L.I. automatique :

Nous sommes maintenant bien exercés à l'utilisation du DSKY. Une fois activé, les événements attendus du programme P15 vont s'enchaîner automatiquement ... à condition toutefois que les informations fournies soient acceptables par le calculateur. Si durant la programmation sur le DSKY une donnée saisie n'est pas correcte, soit **PROG** ou **OPR ERR** s'allumeront, soit l'enchaînement automatique des demandes de saisies (*Clignotement*) ne se produira pas. Dans les deux cas il faut ... analyser la fausse manipulation commise et la corriger. Passons maintenant à la pratique.

NOTE IMPORTANTE :

Le programme P15 est un peu spécifique. Il nous demande en premier sur R1, R2 et R3 dans combien de temps il va devoir allumer le moteur orbital. Puis dès que l'on valide la valeur temporelle avec la touche **PROG** immédiatement il déclenche son décompte interne. Ensuite, il va nous réclamer la valeur du **dVt** à fournir que l'on indiquera sur R1. On doit donc donner pour **N33** un délai suffisant pour nous permettre de cliquer sur les touches du DSKY afin de saisir la valeur de **dVt**.

Si vous avez rechargé la situation, **Lunar TransferMFD** redémarre sur la page d'attente pour effectuer les calculs car les données ne sont pas sauvegardées. Cliquez sur **EXE** pour retrouver leur affichage. **[F8]** pour revenir sur les tableaux de bord de NASSP.

V37 E 15 E P15 ~~V06-N33~~ Pour activer le programme P15 de gestion de la TLI.

+00000 (Heures)	}	☞	V06 N33 clignote signalant la requête d'une information :
+00000 (Minutes)			
+00000 (secondes x 100)			
			V06 > Données en Décimal et N33 > Délai avant la mise à feu.

Comme sur **Lunar TransferMFD** on observe que le délai actuel **Tlg** avoisine **1600** secondes soit environ 27 minutes, on peut donc se réserver une bonne marge d'anticipation. Par exemple 25 minutes.

V22 E puis **+00025** (*V22 pour changer sur R2 la valeur des minutes du délai avant allumage*)

NOTE IMPORTANTE : Le programme P15 impose au minimum 10 minutes comme délai pour l'allumage du moteur, car il faut impérativement un minimum de temps pour réchauffer les systèmes, effectuer la poussée de ULLAGE etc. Si la durée représentées par R1, R2 et R3 est inférieure à 600 secondes il ne la validera pas et allumera la lampe de **PROG** pour nous prévenir. (*ERREUR 603*)

Attention : À ce stade cliquer sur **PROG** va valider le délai et surtout **déclencher le compte à rebours**.

☞ ATTENDRE que Tlg arrive exactement à $60 \times 25 = 1500$ pour cliquer sur la touche PROG

du DSKY. Possibilité d'utiliser 100 x puis 10 x pour atteindre rapidement ce délai. Il sera plus aisé de le lire en mode "écran simplifié" puis de revenir avec **[F8]** "dans NASSP" quand on ne sera plus qu'à environ 30 secondes de la valeur 1500. À partir de l'activation de **P** le chronomètre interne affecté à l'événement P15 est déclenché et décrémente sa valeur toutes les secondes. **PROG** vient de préciser au calculateur QUAND il doit provoquer l'allumage. Mais ce dernier désire maintenant connaître la durée de combustion et nous le signale par clignotement de **~~V06-N14~~** et nous incite à en saisir la valeur désirée :

V21 E puis **+03580 P** (*Valeur de dVt désirée. Non acceptée si dépasse la possibilité en ergols*)
P15 ~~V06-N95~~ (**P** active le programme P15 de gestion de la TLI)
+21 12 (*Délai avant mise à feu au moment de la validation en Minutes et secondes*)
+03580 (*Valeur de dV encore à fournir en m/s*)
+11369 (*Valeur finale en m/s de la vitesse orbitale attendue*)

Si **V06 N95** ne clignote pas c'est que le **dVt** saisi dépasse la possibilité actuelle des réserves d'ergols. L'écran affiche un état ressemblant à celui de la figure 85. (Page 105) On constate en **3** que le délai affiché par le DSKY pour arriver à l'instant de l'allumage n'est plus que de 21 minutes et non 25 comme programmé. C'est normal, car durant la saisie de l'information de durée de poussée le chronomètre décomptait. Au moment où l'on valide la valeur de **dVt** le DSKY affiche la valeur actuelle du décompte. Pas question de faire une confiance aveugle au silicium. (*Encore qu'à cette époque beaucoup de composants électroniques utilisaient du germanium*) Nous allons commencer par faire visualiser sur le DSKY le décomptage pour la mise à feu en donnant au calculateur l'instruction suivante : **V16 E**. L'information **V16 N95** en **2** ne clignote plus, mais en **1** **COMP ACTY** scintille et nous informe d'une activité du CMC.

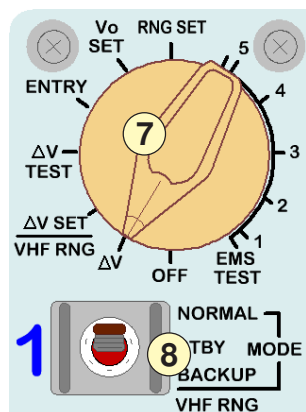
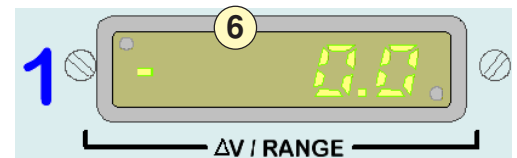
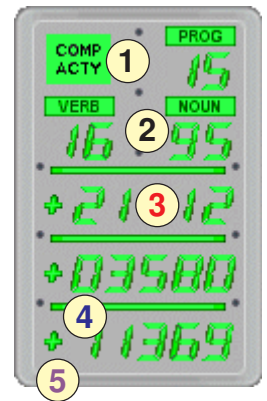
En l'occurrence c'est **V16** pour laquelle il affiche en permanence le contenu de la variable **N95**. En **3** le décomptage pour la mise à feu s'anime. En **4** nous avons la **valeur du dVt qui reste à effectuer**. Comme la situation n'évolue pas encore, la valeur est figée. Mais dès l'allumage pour la poussée d'éjection effectif, cette valeur va se décrémenter jusqu'à zéro. Enfin en **5** est indiquée la vitesse orbitale finale de la manœuvre que l'on pourra vérifier sur **Orbit MFD**.

Préparer la surveillance de la manœuvre de T.L.I :

Surveiller la poussée de ULLAGE.

A vant de pouvoir allumer le moteur orbital, il faut pressuriser les réservoirs, réchauffer les systèmes, mais ce n'est pas suffisant. Le moment est venu de réviser nos connaissances en rhéologie sans gravitation. En préambule à ce paragraphe revoir le chapitre **FAIBLE POUSSÉE POUR LA PHASE "ULLAGE"** dans le document **TECHNOLOGIE 1.pdf** en page 24. Nous allons activer l'indicateur **ΔV / RANGE** du système de gestion des rentrées atmosphériques représenté en **6** qui se trouve sur le tableau **1**. Nous sommes dans la routine : Commutateur **7** sur la position **ΔV** et l'inverseur **8** vers le haut sur **NORMAL**. Le système d'aide au pilotage indiquera

Fig.85



toute variation de vitesse obtenue par intégration de la mesure de l'accélération longitudinale du train spatial. Comme actuellement nous sommes en vol balistique, l'accélération est nulle et **6** affiche **- 0.0** sur l'indicateur **ΔV / RANGE**. Remarquez au passage que le petit signe **-** à gauche s'illumine quand on bascule l'inverseur **8** sur la position **NORMAL**. Ce n'est pas spécifiquement un signe négatif, mais une information d'activité du module de mesure.

Surveiller l'orientation du vaisseau.

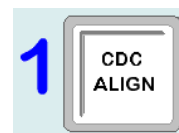
Q uand nous serons en mission réelle il ne sera pas question d'utiliser les MFD d'Orbiter, mais pour corrélérer les informations fournies par le FDAI nous allons dans cette phase d'apprentissage nous aider de **Surface MFD** que l'on va ouvrir à gauche à la place de **Lunar Transfer MFD**. Quand le train spatial sera correctement orienté, nous serons en attitude **PROGRADE**, mais les procédures de la NASA imposent d'avoir la tête en bas et les pieds vers le ciel. On imposera donc pour la forme, et le moment venu, l'affichage d'un **ROL** de 180°, d'un **PITCH** de 0° et d'un **YAW** de 0° sur le FDAI de droite. *(Ce n'est pas indispensable du tout au bon déroulement de la T.L.I, c'est juste une influence sur l'attitude affichée. Cette manipulation a pour but de revoir comment agir sur la calibration du FDAI)* Pour anticiper ces valeurs, les coder avec les molettes du sous-tableau **ATTITUDE SET** qui se trouve en bas à gauche du tableau **1**. Tout est paré pour cette manœuvre qui conditionne l'avenir de la mission. Il n'y a plus qu'à attendre. Pour bien comprendre ce qui va se passer et ce qu'il faut vérifier, nous allons détailler les événements qui vont s'enchaîner automatiquement. Terminons la préparation de nos outils de surveillance et d'observation : **H** pour activer le HUD (*Action prohibée en mission réelle naturellement*) on pourra ainsi vérifier que l'attitude finale sera bien de type **PRO GRADE**. Utiliser **H** jusqu'à passer en mode **ORBIT EARTH** et éventuellement **[ALT] H** pour choisir la couleur bleue par exemple. On a bien le symbole **↖** en plein centre, mais le symbole du vecteur vitesse **⊕** n'est pas encore visible car l'écart angulaire est trop important. Du reste à un moment on voit passer le symbole **⊙** du vecteur **RÉTRO GRADE** qui est visible et qui montre que l'on circule presque à contresens. *(En réalité en fin de lancement il n'en est pas ainsi, la fusée est en orientation PROGRADE, mais j'ai "triturer" l'orientation du vaisseau pour vous montrer que sous certaines circonstances une manœuvre de retournement peut exiger beaucoup de temps et qu'il faut bien anticiper)* C'est ce que fait le programme **P15**. Notez au passage que dès que les deux symboles du vecteur vitesse ne sont plus présents sur l'écran l'index **↖** en indique leur direction. Pour ceux qui le désirent, et **je vous le conseille fortement**, pour avoir exactement des conditions identiques, la mission est sauvegardé quand on est à 11 minutes de l'allumage dans la scène **34) Réaliser la TLI.scn**. Par contre nous savons qu'au rechargement la valeur dans **ΔV / RANGE** est perturbée et il importe de l'annuler avec **7** sur **OFF** sans oublier de le repasser sur la position **ΔV**, puis la commande **V16 E** pour rétablir l'affichage dynamique.

Surveiller la manœuvre de T.L.I. en automatique :

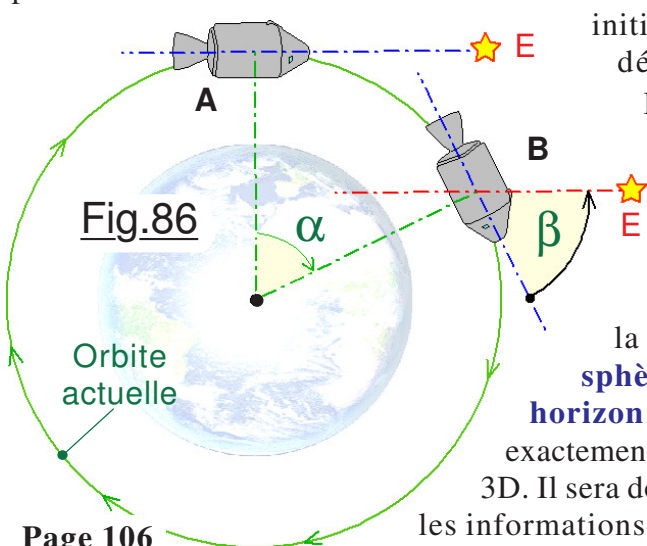
Pour les "nerveux", rien n'interdit de passer en accélération temporelle si on doit patienter sur une longue période, mais ne pas dépasser **10 x**. Si vous ne faites rien, l'écoulement normal du temps va se rétablir automatiquement dès le premier événement attendu. Mais pour bien en observer la valeur du décompte repassez à **1 x** vers 10 minutes sur le registre R1. (*Rien n'empêche non plus de repasser en 10 x durant les diverses autres étapes de la T.L.I., mais outre que ce n'est pas conseillé sur les P.C. poussifs, c'est également peu conforme au réalisme et ne nous permet pas de tout surveiller*)

Le premier événement attendu est l'allumage du témoin **UPLINK ACTV** et de la lampe **S II SEP** sur **LV ENGINES** qui se produisent lorsque le décompte affiché sur le registre R1 du DSKY arrive à **09 : 38**. Immédiatement sur les deux FDAI les aiguilles de taux de rotation s'écartent du centre des échelles et les sphères d'attitude commencent à tourner traduisant le début de la phase d'orientation du vaisseau. La lampe de **UPLINK ACTV** s'éteint à **09 : 28**. Sur **Surface MFD** le ciel est vers le haut et l'horizon commence à s'incliner confirmant que le vaisseau tourne par rapport à la verticale locale. Le HUD est l'information de rotation la plus "visuelle". La lampe **S II SEP** sur **LV ENGINES** s'éteint à **08 : 59**. Compte tenu de la masse considérable du train spatial, les vitesses de rotation ne sont pas très nerveuses. Il faut beaucoup de temps pour orienter, *raison pour laquelle cette action est anticipée d'au moins dix minutes par rapport à la mise à feu*. Sur le FDAI de gauche la zone de blocage de la centrale inertielle (*Zones rouges*) est évitée. Les aiguilles de taux de variation se déplacent avec paresse sur les échelles latérales des FDAI puis **⊕** devient visible et **PG** s'efface. Vers environ **05 : 02** le symbole **⊕** rejoint **^** et le vaisseau est en PROGRADE. Les aiguilles de taux de variation angulaires sont toutes recentrées sur les échelles linéaires des FDAI.


C'est à ce stade que nous avons sur les instruments de bord une contradiction. L'horizon artificiel sur **Surface MFD** atteste bien d'une orientation conforme au plan de vol, c'est à dire le haut du vaisseau dirigé vers la Terre. Par contre, sur le FDAI de droite on constate une représentation quelconque. C'est du au fait qu'initialement l'orientation de cet instrument n'était pas correctement réalisée. On va rétablir l'apparence instrumentale, ce qui du reste n'est utile je vous le rappelle que pour les pilotes, car le calculateur informé par la centrale inertielle sait exactement ce qu'il en est. Du reste le train spatial a bien été correctement orienté. Cliquez sur le bouton : **GDC ALIGN** situé sur le tableau 1. La sphère obtempère rapidement et se place en orientation conforme. (*Celle programmée sur les molettes*) Maintenant ses informations sont utilisables. Notre vol est un long fleuve tranquille. Il ne se passera plus rien jusqu'à la mise à feu. Accélération temporelle **10 x** possible mais revenir à **1 x** quand le décompte affiche **02 : 00**. Durant toute cette phase de préparation de la mise à feu du moteur orbital les automatismes ont réchauffé les divers systèmes impliqués, les réservoirs d'ergols sont pressurisés ... tout va pour le mieux dans le meilleur des mondes. (*CHUTTTTT, ne jamais prononcer cet adage à la C.. dans un vaisseau spatial ... ou ça finira en Apollo 13 !*)






Pour nous préciser que tout le processus progresse de façon nominale, à **01 : 45** l'écran du DSKY s'éteint, puis vers **01 : 40** il se rallume. Notez au passage que les gyroscopes de bord ainsi que le plateau de la centrale inertielle conservent une direction fixe dans l'Univers. Par exemple sur la Fig.86, on pointe exactement dans l'axe de roulis une étoile **E** sur le fond du ciel au moment où en **A** nous avons




initialisé l'orientation de la sphère du FDAI. Le vaisseau se déplace sur l'orbite tout en y conservant l'attitude PROGRADE, le rayon position balaye un angle α quand il passe en **B**. Les trois axes de la centrale inertielle (Donc du FDAI qui lui est "cloné") conservent dans l'Univers une direction constante. L'axe qui initialement passait "à l'infini" par **E** continue de la pointer et a tourné par rapport au vaisseau d'un angle β identique à α , d'où la variation angulaire en cabrage affiché par le DFAI. **La sphère du FDAI n'est donc pas exactement comme un horizon artificiel utilisé en aviation**, elle se comporte plus exactement comme un "conservateur de cap", mais qui fonctionne en 3D. Il sera donc vital d'en tenir compte pour interpréter correctement les informations de cet instrument fondamental sur le vaisseau Apollo.

Pour refermer cette parenthèse notez au passage que pour me simplifier la vie, sur le dessin ci-contre je n'ai représenté que le CSM et "oublié" la présence du S IV-B. On peut vérifier que le vaisseau est resté parfaitement en PROGRADE aussi-bien sur le HUD que sur le vrai horizon artificiel de **Surface MFD**. Pendant que nous faisons cette observation le compteur événementiel arrive à **01 : 24** et la lampe  s'allume à nouveau indiquant une action sur les moteurs de la fusée. La phase ULLAGE est amorcée et l'on peut en vue extérieure observer l'allumage des moteurs auxiliaires. On perçoit à l'intérieur du C.M. leur doux chuintement. Immédiatement sur l'indicateur **ΔV / RANGE** on constate une petite variation de vitesse prouvant que le train spatial subit bien une légère accélération. Constatez également que l'aiguille sur l'indicateur **LV α / SPS Pc** qui indique la valeur de l'angle d'incidence reste inerte, nous restons bien en orientation PROGRADE, **constat qui ne va pas varier durant toute la durée de la manœuvre**. Si tout se passe bien dans la motorisation, la poussée restant nominale on doit vérifier sur **ΔV / RANGE** des valeurs de variation de vitesse conformes à celles du tableau de prédictions ci-dessous.

01 : 14	01 : 12	01 : 06	00 : 59	00 : 52	00 : 46	00 : 40	00 : 33	00 : 27	00 : 20	00 : 14	00 : 06	00 : 00
- 0.1	- 0.2	- 0.3	- 0.4	- 0.5	- 0.6	- 0.7	- 0.8	- 0.9	- 1.0	- 1.1	- 1.2	

À à **00 : 18** la lampe  s'éteint, la phase ULLAGE est nominale on peut allumer le moteur principal. À à **00 : 10** le compte à rebours vocal est déclenché. *Notons au passage que la valeur de TEj quand il arrive à zéro est de 179 secondes d'anticipation. C'est la durée de combustion divisée par deux. Il y a donc de façon classique répartition symétrique de part et d'autre du point calculé de mise à feu.* Quand le décompte arrive à **00 : 00** l'allumage du moteur principal du S IV-B est confirmé par l'éclairage la lampe . Cette fois on entend le bruit important du moteur orbital. Surtout on constate que le chronomètre sur R1 est repassé à la durée programmée et se remet au travail. Cette valeur indique le temps restant de combustion pour atteindre le **dV** imposé au calculateur. On voit qu'il correspond assez bien à ce que nous avons prévu dans la page 104. En cockpit 3D on se fait somptueusement secouer. **ΔV / RANGE** fait tourner rapidement ses afficheurs. La valeur va se figer à **- 1000** et l'on peut repasser son commutateur rotatif sur la position **OFF**. Tant que nous y sommes, **[CTRL] H** pour éteindre le HUD hypothétique dont les informations maintenant devenues inutiles surchargent le tableau de bord. On peut vérifier sur **Surface MFD** que la valeur de l'**AOA** reste faible (**-0.2°**) ce qui confirme une attitude PROGRADE maintenue par le système de guidage du S IV-B. On observe en outre sur l'affichage de R2 que la valeur de **dV restant à fournir** diminue progressivement. La sphère du FDAI de droite pointe de plus en plus vers "le sol", mais nous savons qu'il n'en est rien, que c'est par rapport à un repère inertiel qu'elle nous indique l'attitude du vaisseau. Il ne faudra surtout pas l'oublier quand nous n'aurons plus **Surface MFD** à notre disposition ... attention aux erreurs d'interprétation !

NOTE : On constate que la valeur de la vitesse finale sur le registre R3 montré en **5** sur la Fig.85 diminue lentement. C'est normal, car nous sommes en train de nous éloigner de la Terre, son attraction étant plus faible la vitesse pour atteindre la cible diminue en conséquence. Dans la réalité la NASA calculait la vitesse finale en tenant compte de ce phénomène. Mais le programme sur Orbiter ne le fait pas. Il calcule en temps réel et effectue un rafraichissement des valeurs du moment sur le DSKY.

Sur **Orbit MFD** l'ellipse de notre trajectoire autour de la Terre s'allonge, c'est bon signe. Lentement l'aiguille de l'accéléromètre sur le tableau 1 se déplace pour indiquer **1 g** vers **01 : 10**. Comme le train spatial se déleste rapidement d'une quantité importante d'ergols, sa masse diminue. La poussée du moteur orbital étant constante il est normal que la valeur de l'accélération soit en augmentation régulière. Sur les jauges de carburant, les index **SIVB OXID** et **S-IVB FUEL** descendent de façon inquiétante. Aurons-nous assez de réserve pour terminer cette phase incontournable des missions lunaires ? En principe oui, d'autant plus que le CMC a accepté le **dV** qu'on lui demande. Mais ... vivement la fin de cette manœuvre ! Quand le décompte arrive à **00 : 00** on subit **1,3 g** au maximum à peine plus que la valeur de notre poids sur Terre. Pour la variable **Vel** lue sur **Orbit MFD** on note une valeur de **11.01k** ce qui correspond parfaitement à ce qui avait été prévu par le CMC valeur affichée sur R3.  reste allumé encore quelques secondes puis s'éteint. La T.L.I. est achevée, on est lancé vers la Lune et plus rien ne peut nous arrêter. À bord on peut ouvrir la bouteille de champagne prévue à cet effet.



Bande de NAZES, ça va pas non ! Du Champagne dans un vaisseau spatial ? De quoi me foutre des bulles explosives dans toute la cabine et du bon vin partout !!! CONFISQUÉ LA BOUTEILLE DE CHAMPAGNE !!!

Houououou lalala, l'a raison Chef Chef, mais je l'aurais bien gardée Môamôa la bouteille de CHAMP.



Profil bas ... on reprend le travail sérieux pour se faire oublier de Chef Chef Grand Chef :

V34 E P00 ~~V37 N00~~ (Le CMC attend de nouvelles consignes)

V16 E N43 E P00 V16 N43

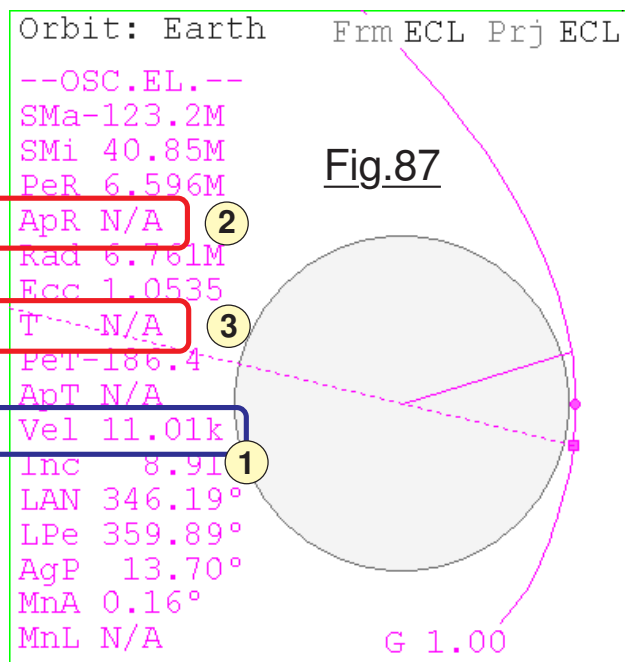
+0nnnn (Latitude mise à jour toutes les secondes)

-0nnnn (Longitude mise à jour toutes les secondes)

+595nnn (L'altitude augmente rapidement, on s'éloigne de la Terre)

On replace le CMC en sommeil avec **V37 E 06 E P**. L'écran s'efface et **STBY** s'allume : de la routine.

Quelques remarques s'imposent. On constate en **1** sur la Fig.87 que sur **Orbit** MFD la valeur de **Vel** (La vitesse orbitale actuelle) est exactement celle affichée sur le registre R3 du DSKY en fin de manœuvre de T.L.I. ce qui prouve la cohérence des instruments de bord. On observe surtout en **2** que indication d'apogée affiche **N/A** ce qui traduit une orbite ouverte. En **3** la période orbitale **T** est également incalculable (**N/A**) ce qui confirme que nous nous éloignons définitivement de la Terre, ce qui est logique puisque nous avons dépassé la vitesse de libération qui au niveau du sol avoisine les 11 k/s. On part définitivement de la Terre, pas très conforme aux plans de vol de la NASA qui prévoit une trajectoire "de retour libre". De plus nous n'avons pris aucune précaution pour le sens d'insertion rétrograde en orbite lunaire, sur le choix de l'inclinaison orbitale à l'arrivée etc. Bref, nous avons juste fait le minimum pour programmer et réaliser la T.L.I. sous le complément NASSP. En "mission réelle" il faudra impérativement effectuer des corrections de trajectoire ou l'on va creuser un nouveau cratère à la surface lunaire. Comme un certain nombre de remarques s'imposent à ce stade de l'éjection, on gère en priorité les abandons de T.L.I et l'on reviendra à ce chapitre immédiatement après.



NOTE IMPORTANTE : Parfois quand j'active de **Lunar TransferMFD** ou que je relance une scène sur laquelle il fonctionnait bien j'obtiens le message d'alerte : **Earth or Moon is missing from CSol**. Je crois que ça se produit en particulier quand, le **Launchpad** est ouvert et que l'on modifie le contenu d'une situation qu'ensuite on recharge sans sortir d'Orbiter. Il suffit dans ce cas de relancer le **Launchpad**.

DODO le CMC :

Bien que la manipulation que nous allons expérimenter ici concerne beaucoup de programmes du CMC, nous allons effectuer les observations sur l'engagement du programme P15. Rechargez la situation **34) Réaliser la TLI.scn**. P15 est activé et dans environ 11 minutes ce sera la poussée d'éjection. Il n'y a plus rien à faire et rien n'interdit de mettre le calculateur en veille. Comme déjà signalé, au rechargement de la scène il faut replacer **ΔV / RANGE** à zéro et consigner **V16 E** au DSKY. Puis attendre de voir sortir le vecteur vitesse réciproque de l'écran pour s'assurer du bon fonctionnement du pilote automatique. On peut alors passer le calculateur en sommeil : **V37 E 06 E** puis **P**. L'écran s'efface et **STBY** s'allume signalant la mise en veille du DSKY. Plus rien à faire, la procédure du programme activé suit normalement son cours bien que le DSKY soit inerte et rien n'empêche du reste à passer en écoulement temporel **10 x**. Ne plus agir sur le DSKY et faire confiance. À l'heure prévue **000 34 35** la manœuvre pour ULLAGE débute comme prévue. On peut laisser le travail se faire en aveugle, mais aussi réveiller le DSKY durant la poussée avec **P** suivi de **RSET** et d'une commande quelconque. Par exemple **V16 E N95 E** pour réafficher les paramètres concernant le déroulement de la TLI ou tout autre comme **N73, N65** etc, le tout pendant que P15 se réalise "en arrière plan".

NOTE 1. Si durant les diverses manipulations on rencontre des problèmes, le mieux consiste à tout reprendre depuis le début. Dans ce but il faut arrêter le programme P15 en frappant : **V34 E**.

P00 ~~V37-N00~~ précise alors que le CMC est en attente de nouvelles consignes.

Reprendre entièrement la procédure depuis **V37 E 15 E**. C'est précisément dans ce cas que l'on sera content d'avoir anticipé. Si vraiment la panique s'installe à bord car les délais sont devenus trop justes, il est alors préférable d'annuler le programme en cours, de boucler une orbite de plus et de reprendre les calculs dans LTMFD. Mais dans ce cas adieu au respect des horaires historiques.

NOTE 2. ATTENTION : Une fois que la séquence de T.L.I. est programmée il ne sera plus possible de l'interrompre avec **V34 E**. L'écran du DSKY s'efface, mais si on code **V16 E N 95 E**, les données affichent bien le compte à rebours et à l'instant programmé la mise à feu est effectuée. Dans ce cas pour inhiber la mise à feu passer 2 : **[LAUNCH VEHICLE] sw SII/S-IVB** sur **LV STAGE**. La séquence sera déroulée avec les deux chronométrages, mais le moteur du S-IVB ne sera pas actionné. Frapper la consigne **V37 E 00 E** pour repasser le calculateur en attente de consignes. Penser à repasser l'inverseur **SII/S-IVB** sur la position **OFF**.

NOTE 3. ATTENTION : Une fois que la T.L.I. est commencée (*Le moteur du S IV-B est allumé et effectue la poussée*) l'inverseur 2 : **[LAUNCH VEHICLE] sw SII/S-IVB** placé sur **LV STAGE** ne permet de l'interrompre que durant les 12 premières secondes. Une nouvelle manœuvre reste possible. Repasser l'inverseur sur **OFF** puis **V37 E 00 E** pour reprendre la main. Par contre, passé ces 12 secondes d'allumage, l'inverseur 2 : **[LAUNCH VEHICLE] sw SII/S-IVB** placé sur **LV STAGE** provoque le mode de "poussée réduite" pour vidanger les réservoirs. Cette solution extrême est prévue pour éviter qu'une situation initiale catastrophique ne diverge. Par exemple vaisseau mal orienté pouvant se terminer par une rentrée atmosphérique intempestive ...

LES DIVERS MODES D'ABANDON DE LA T.L.I. :

Tout me laisse à penser que la check-list est ouverte en Page 33 et que vous avez bien relu le document **TECHNOLOGIE 2.pdf** en page 49 à 53. Toujours dans le cas de la maîtrise des T.L.I. nous allons expérimenter les divers cas présentés dans l'encadré ci-dessus. On commence par expérimenter le **cas de la NOTE 1**. Recharger la situation **33) Programmer la TLI.scn** et reprenons la procédure, mais nous allons "cafouiller" sérieusement imposant une reprise complète de la programmation : **EXE** pour retrouver l'affichage des données puis **[F8]** pour revenir au cockpit 2D.

V37 E 15 E P15 ~~V06-N33~~

V22 E puis **+00055 P**

Erreur ! On a validé immédiatement et le programme P15 nous demande une valeur de **dVt**.

On tente de modifier la variable en NOUN 33 :

V16 N33 E

Berkkk, il ne revient pas en arrière. Allez, n'insistons pas :

V34 E pour arrêter la procédure d'affichage en cours.

V37 E 15 E P15 ~~V06-N33~~ (*On peut entièrement reprendre la procédure*)

Attention, pour les paramètres d'éjection il faut réactiver les calculs dans **Lunar TransferMFD** en cliquant sur **PRG**, en indexant à nouveau **Program TLI** et en validant avec **EXE** suivi de **DV** ...

Test de l'abandon de T.L.I. en configuration de la NOTE 2 :

Recharger la situation **34) Réaliser la TLI.scn** et ... on recommence :

V16 E tout semble se passer conformément à la procédure. Mais les télémessures vers la Terre présentent des divergences inquiétantes et CAP COM nous donne pour consigne d'annuler l'éjection.

On tente **V34 E** qui réaffiche un écran "propre". Pour vérifier on donne la directive :

V16 N95 E

Le registre R1 continue ses décrémentations, la grenade est dégoupillée, rien à faire.

Pour constater que presque jusqu'à la mise à feu on reste maître, attendre jusqu'à ce que le décompte sur R1 affiche environ **00 : 20**. La faible poussée de ULLAGE est en cours, nous ne sommes plus très loin de l'allumage du moteur principal. Il convient d'agir sans plus tarder :

2 : **[LAUNCH VEHICLE] sw SII/S-IVB** sur **LV STAGE**. : Immédiatement les moteurs auxiliaires s'arrêtent.

V34 E qui réaffiche un écran "propre". Pour vérifier on donne la directive :

V16 N95 E mais le décomptage continue. P15 va aller jusqu'au bout de la procédure. Les deux chronométrages vont s'effectuer. Ce n'est plus bien grave, les moteurs restent inertes et l'on peut reprendre entièrement une nouvelle procédure P15, mais probablement lors de la prochaine orbite.

Test de l'abandon de T.L.I. en configuration de la NOTE 3 :

Activer la situation **34) Réaliser la TLI.scn** qui nous place à 11 minutes de l'allumage. On va la réutiliser pour les deux exercices qui suivent et dans les deux cas faire un **RESET** sur **[MISSION TIMER]**.

Première expérience :

P15 est en cours et nous attendons l'allumage. Passer en **10x** pour gagner du temps, le **1x** va automatiquement s'activer au début du compte à rebours vocal. Quand il arrive à zéro activez **[MISSION TIMER]** avec 2 : **sw MSN TIMER** en le plaçant sur la position **START**. (Voir chapitre suivant l'utilisation du chronomètre de mission) Puis, quand il affiche exactement **11 secondes** :

2 : **[LAUNCH VEHICLE]** **sw SII/S-IVB** sur la position **LV STAGE**.

Immédiatement la combustion s'arrête. P15 poursuit son décomptage jusqu'à zéro, mais la reprogrammation du DSKY est à nouveau possible. La mission lunaire n'est pas compromise.

Surtout ne pas oublier de repasser **[LAUNCH VEHICLE]** **sw SII/S-IVB** sur **OFF**.

Pour basculer l'inverseur avec précision il suffit d'ouvrir son capot de protection et de maintenir le curseur de la souris dans la zone à cliquer en haut de l'inverseur **[LAUNCH VEHICLE]** **SII/S-IVB**.

Deuxième expérience :

Partir de la même situation, mais cette fois attendre que le chronomètre de mission affiche exactement **13 secondes** pour passer 2 : **[LAUNCH VEHICLE]** **sw SII/S-IVB** sur la position **LV STAGE**.

Immédiatement la combustion s'arrête et l'indicateur d'accélération du tableau 1 retombe à zéro. Le témoin **1** s'illumine, il se passe bien quelque-chose sur le moteur. L'indicateur **ΔV / RANGE** signale une petite variation de vitesse. En fait, la motorisation est passée en poussée réduite jusqu'à épuisement complet du carburant. Cette faible poussée va toutefois modifier complètement notre orbite comme on peut le vérifier sur **Orbit MFD**. Par contre méfiance : Si on laisse aller la procédure jusqu'à la fin, on se retrouve progressivement sur une orbite de plongée dans l'atmosphère très inclinée. Il est donc préférable dès l'annulation de la poussée sur le **S IV-B** de passer en procédure de séparation. Il devient possible de réaffecter complètement le plan de la mission. Par exemple récupérer le LM, effectuer des modifications d'orbite, des manœuvres de rendez-vous etc. (Ne pas sortir de ce vol pour l'exercice présenté ci-dessous)

Réinitialisation du chronomètre de mission :

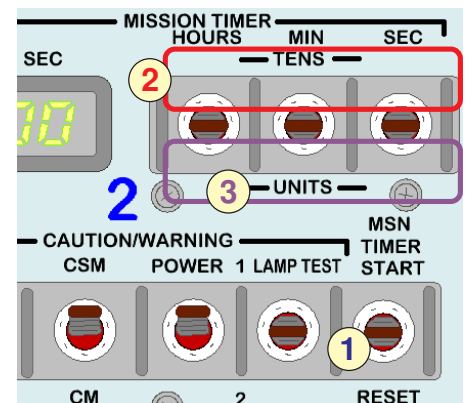
Utiliser le **[MISSION TIMER]** pour des chronométrages particuliers comme ce qui a été fait dans les deux derniers exercices est assez naturel, il a été conçu dans ce but. Par exemple pour chronométrer des temps de réchauffage des buses de purge, le temps de filtration des piles à combustibles etc. Très nombreuses sont les opérations à bord qui imposent un chronométrage. Du reste il est également possible d'utiliser celui du tableau 1 quand on a besoin de **visualiser un décomptage**, mais il est alors limité à un intervalle de temps d'une heure compte tenu de son affichage limité aux minutes et aux secondes. Pour ajuster l'horloge de bord conservée par le calculateur il suffit de faire afficher le GET actuel sur le DSKY, nous l'avons déjà souvent expérimenté :

V16 N65 E P00 V16 N65

+00012 (HEURES)
+00025 (MINUTES)
+000.00 (SECONDES x100)

Fig.88

Placer l'inverseur **1** sur **RESET** pour remettre le compteur à Zéro car on ne peut qu'incrémenter son affichage. La position **RESET** est instable. Comme représenté sur la Fig.88 il revient naturellement au centre sur la configuration arrêt. Avec les trois inverseurs **[MISSION TIMER]** **sw HOURS**, **MIN** et **SEC** précharger une valeur légèrement "future". Quand l'affichage du DSKY arrive exactement à cette valeur, basculez l'inverseur **1** sur **START**. Notez au passage que l'on peut ajuster l'horloge alors qu'elle est en train de compter. Si pour une quelconque raison elle n'est pas synchrone au GET il suffit de la faire avancer un peu, de placer l'inverseur **START** sur la position centrale puis de le repositionner vers le haut au bon moment. En cliquant vers le haut en **2** sur les trois inverseurs on augmente la valeur de 10. En cliquant vers le bas en **3** on augmente la valeur de 1.



Exercices de complément sur la phase de transfert :

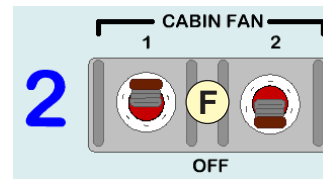
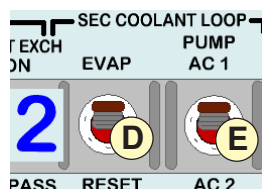
Page 108 je vous avais promis que suite aux études sur l'abandon de la T.L.I. nous passerions en revue certains détails concernant notre voyage vers la nouvelle contrée tant convoitée. Pour les exercices élémentaires qui suivent, il suffira de recharger la scène **35) TLI achevée.scn** pour chaque nouvelle expérience. Nous sommes en route, la poussée d'éjection vient de se terminer. Pour ce qui est du rendez-vous avec la Lune, compte tenu de la précision des informations fournies par **Lunar TransferMFD** on va directement creuser un nouveau cratère à sa surface. Pour vous en convaincre, effectuer un KILL ROT par l'entremise de **Project Apollo MFD** et passez en vue extérieure. Orientez la caméra pour voir la Lune quitte à **[F4] > Visual helpers ... > Planetarium > [x] Planetarium mode (F9) > [x] Bodies** . Passez en **10000 x** puis quand l'astre nocturne commence à devenir bien visible **1000x** et enfin **100x**. Fabuleux comme précision, car pour programmer la TLI nous n'avons pas spécialement finassé.

Durant ce saut spatiaux-temporel les trompettes de la mort on sonné. Vous avez entendu le klaxon tonitruant qui annonce la perte de l'équipage ... dommage ! Que s'est-il passé ? Pour le savoir, on recharge la situation, mais cette fois nous restons dans le module de commande face au tableau de bord. Multipliez la rapidité d'écoulement du temps en **100x** et observons ce qui se passe et tout particulièrement sur les instruments de la Fig.91 située en page 113. Les index de **1** et de **2** relatifs à la température dans la combinaison et dans la cabine montent lentement. Laissons faire. Vers **002 53 00** sur **[MISSION TIMER]** on observe que l'index de température habitacle arrive en butée haute. La température dans le scaphandre pour son compte continue à augmenter. Son index se bloque à son tour en butée supérieure vers **004 30 00**. Aux environs de **007 13 00** l'affichage des télémesures biométriques sur **Project Apollo MFD** passe de l'information **A** sur la Fig.89 à l'affichage **B**. C'est un coup à transpirer ça ! Comme cet exercice est du genre "bourrin" que même Popol il ne sait plus quoi dire, on persiste, et ce d'autant plus facilement que nous ne sommes pas réellement dans la cabine Apollo. L'agonie virtuelle va se poursuivre jusqu'à **019 20 00**, heure à laquelle le couperet **C** tombe sans prévenir, le deuil claironne même dans le vide sidéral réputé pourtant totalement insonore et trois familles sont dans le malheur. Comme pour tout accident tragique il faut impérativement tirer des conclusions pour éviter qu'il ne se reproduise. En première remarque, on peut objecter qu'il s'est écoulé plus de 12 heures avant que l'on passe de **CRITICAL** à létal. Donc nous avons largement le temps de réagir. Croyez-vous ? Si on passe en vue extérieure ou que nous n'ayons plus **project Apollo MFD** sélectionné, les informations biologiques ne seront plus visibles. De plus, en vue extérieure on ne verra pas monter les index sur **1** et **2**. Pour peu que l'on passe en **1000x** vous avez constaté que le drame survient assez brutalement.

CONCLUSION : Dans NASSP on peut accélérer le temps jusqu'à des cadences relativement importantes pour peu que l'ordinateur ne soit pas celui de grand-père. **Mais ne le faire, et surtout en vue extérieure, que si vous avez la certitude qu'en ce qui concerne l'environnemental tout soit OK**, autant du point de vue respiration que de celui de la "climatisation". Relancez le vol, on va voir qu'il suffit de peu de chose pour éviter cet accident bien regrettable. En accélération temporelle ramener les deux curseurs **1** et **2** en butée haute puis réduire à **100x**. Passez les deux inverseurs **D** et **E** en position haute. L'index de **SUIT** en **1** dégringole à la norme. Passez en actif l'un des deux systèmes de ventilation cabine en **F** est c'est **CABIN** en **2** qui redevient conforme. Par contre si **D** et **E** ne sont pas correctement initialisés, **F** sera sans effet. On se rend compte dans ce petit exercice que dans NASSP la différence entre un vol correctement géré et une sanction de type **DEAD** ne tient parfois qu'à l'oubli d'un ou deux positionnements d'inverseurs. Mais c'est le prix du réalisme, c'est toute la différence entre des loisirs simplifiés comme du vol en Deltaglider, et des compléments au réalisme poussé. Dans ce domaine NASSP tient le haut du pavé. On est servi. Naturellement, un chapitre sera consacré à tout ce qui concerne la climatisation et l'air conditionné. Mais nous n'en avons pas encore fini avec ce chapitre, il reste plusieurs détails à observer.



Sans baver sur le sens des controverses, Môamôa je dit qu'un inverseur pervers qui renverse à l'inverse c'est bouleversant !

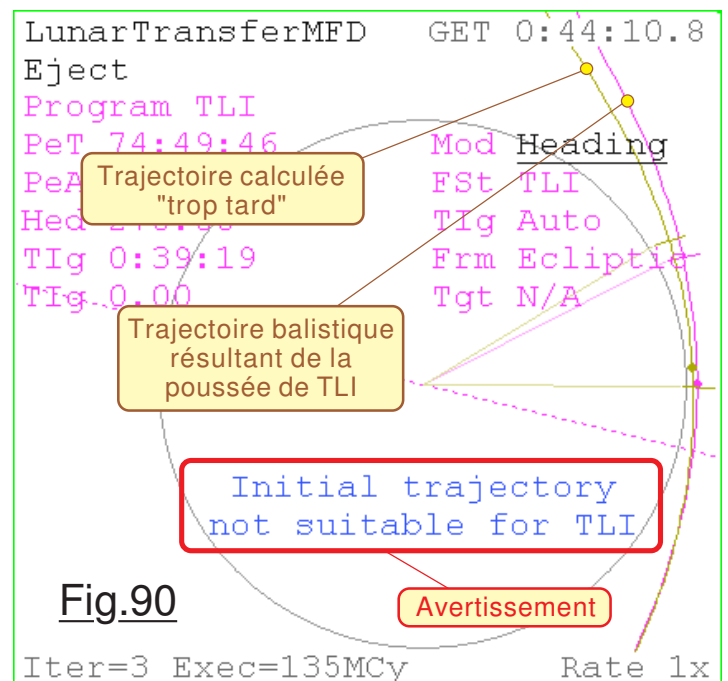


Expérience suivante : on recharge la situation précédente et l'on positionne les trois inverseurs **D**, **E** et **F** pour survivre à la canicule du dernier exercice. On accélère en **1000 x** pour nos observations. On voit sur **1** l'index fluctuer entre deux valeurs parfaitement admissibles, la régulation de température fonctionne correctement. Durant notre plongée vertigineuse vers le néant, vers **003 10 00** repassez rapidement en **100 x**. Vers **003 20 00** l'alarme sonore se déclenche. Un Premier témoins **SM RCS B** s'illumine. Puis un voisin, et si l'on ne fait rien, les quatre compères de la ligne sur le tableau des alertes déblatèrent en groupe. Ce n'est pas grave, juste les RCS du module de service qui ont un peu froid. Couper l'alarme sonore pour calmer les décibels. Pour notre quiétude, dès que l'un des témoins de cette ligne s'illumine, activez les quatre inverseurs de réchauffage, car si l'un des groupe de RCS déclenche l'alarme, les trois autres "Quads" de RCS ne vont pas tarder à grelotter non plus. Dans ce but positionner les inverseurs **2** : **[SM RCS HEATERS]** cw **A**, **B**, **C** et **D** sur **PRIM** par exemple. Ceci montre bien qu'avec NASSP, comme lors des vols réels, de nombreuses alertes se déclenchent alors que tout est normal à bord. C'est la particularité de NASSP qui par nature impose très souvent des actions "routinières". Par contre on voit qu'il est prévu, pour les longues périodes balistiques, de pouvoir accélérer l'écoulement du temps sans pour autant perdre les avertissements du système **C/W**. Ceci dit, dans Apollo un grand nombre de celles présentes avec Orbiter n'avaient pas lieu car les équipages intervenaient avant qu'elles ne se produisent. Tous les organes du vaisseau étaient auscultés en permanence au moyen des télémesures par les ingénieurs au sol. Dès qu'une intervention devenait utile l'équipage à bord recevait les directives, sans compter qu'un nombre copieux d'actions étaient programmées dans les check-lists. Enfin, pour clore ce petit "divertissement", si vous retournez en page 15, nous avons abordé l'éventualité de ne pas réchauffer les RCS pour des raisons d'économie d'énergie, l'incident de ce chapitre n'est donc pas nouveau.

Protestation de Lunar TransferMFD :

Allons donc, les MFD d'Orbiter auraient des états d'âme maintenant ? Pas vraiment, mais parfois on leur en demande trop et ils ne peuvent donner que ce qu'ils ont, à l'instar de la plus belle fille du monde. N'oublions pas qu'il y a indépendance totale entre les prévisions fournies par des calculateurs comme **Lunar TransferMFD** et la trajectoire du vaisseau qui dépend de nos actions sur la propulsion. Une fois la manœuvre en cours engagée, de tels calculateurs nous montrent graphiquement la trajectoire prédictive, souvent en bleu, et la balistique actuelle généralement en vert. La trajectoire balistique est celle que suivra le vaisseau si la propulsion est immédiatement coupée et qu'il devient le jouet de la gravitation universelle. La trajectoire prédite est celle que nous désirions quand dans le calculateur nous avons soumis divers paramètres à notre convenance. Il ne faut pas confondre désirs et réalités. Si la poussée n'est pas strictement conforme à celle que nous suggère le calculateur, il y aura une différence entre la prédiction et le résultat final. Par exemple si dans le programme P15 on pousse insuffisamment, (*Problème sur le moteur*) pas assez ou trop longtemps, (*Une erreur s'est produite quand on a indiqué la durée sur le DSKY*) la route finale ne sera pas celle calculée. Il se peut aussi que le train spatial ne soit pas totalement orienté, car nous n'aurions pas assez anticipé. Bref, le moteur pousse, et en temps réel **Lunar TransferMFD** nous gratifie d'une représentation graphique. Si ce calculateur détecte une différence entre ce qui résultera en fin de combustion et ce qui était prévu, comme montré sur la Fig.90 il nous prévient à sa façon. En fin de combustion le tracé bleu ne sera pas superposé au tracé vert.

Activez la situation **34) Réaliser la TLI.scn** et remplacez le MFD situé à gauche **Surface MFD** par **Lunar TransferMFD** que vous reprogrammez comme nous avons appris à le faire. Vous constatez qu'il faudrait pousser durant 393 secondes, et ce dans 800 secondes, si on programmait la poussée maintenant. Laissez la TLI se réaliser entièrement. Il y aura forcément divergence comme montré sur la Fig.90 entre prédiction trop "tardive" et la réalité.

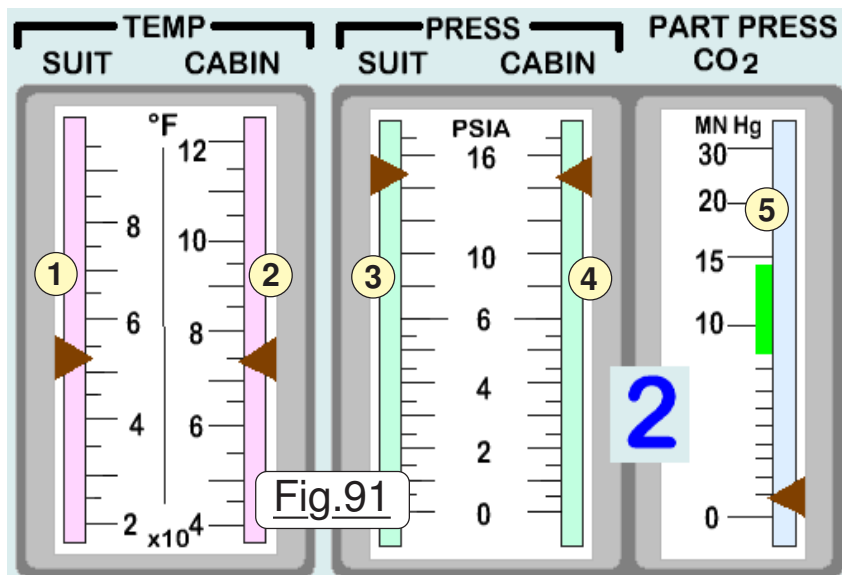


SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT :

Fondamental pour la longévité et la fiabilité du matériel, et surtout pour la survie de l'équipage, l'ECS intègre un grand nombre de systèmes intimement imbriqués, tant électriques, électromécaniques que rhéologiques. Cette complexité inévitable disperse les divers inverseurs, commutateurs, vannes et instruments de mesure sur plusieurs tableaux du module de commande ce qui n'en facilite pas la gestion. Pour vous faciliter le repérage de cette foule d'éléments, **sur les planches de repérages des tableaux de bord**, tout ce qui concerne **l'environnement est colorié en vert**. Réaliser une mission complète dans NASSP sans "incommoder" l'équipage crée toute la différence entre un logiciel réaliste poussé à l'extrême et des compléments plus ludiques comme AMSO par exemple. Dans AMSO, une fois l'équipage hors service le vaisseau devient impilotable, inutile d'insister sur les commandes. Dans NASSP c'est la philosophie inverse qui est privilégiée. À mon avis c'est un bon choix. En effet, une fois la sanction **DEAD** affichée sur **Project Apollo** MFD, on peut effectuer une "expertise" pour chercher à trouver l'origine du problème et ainsi parfaire notre formation, vérifier la cohérence des check-lists, comparer avec celles de la NASA ...

Home, Sweet Home - LA CLIMATISATION : (1)

Suite à l'expérience effectuée en page 111 qui a conduit à la perte de l'équipage, certains vont faire remarquer qu'il semble idiot d'avoir un tableau de bord qui prévient pour des RCS qui fondamentalement ne mettent pas en cause la suite de la mission, et de ne rien signaler concernant un paramètre qui peut conduire au trépas des passager du vaisseau. La raison en est fort simple ... nous sommes dans un simulateur qui ne nous immerge que dans l'aspect technique et non physiologique. On peut subir des 15 G en tout confort. Mais à bord il est parfaitement inutile de signaler par un témoin que le passager grille ou se congèle. Dès que ce dernier ressent un inconfort thermique, sa première réaction va consister à consulter les indicateurs **1** et **2** de la Fig.91 et d'agir sur les commutateurs de gestion environnementale. Par contre, pour des dangers plus subtils qui pourraient ne pas être détectés assez rapidement, des témoins comme **O2 FLOW HI**, **SUIT COMPRESSOR** et **CO2 PRESS** ne manqueront pas de "se faire entendre" le moment venu.



Quittant provisoirement toutes ces préoccupations de guidage, de motorisation et de calculateurs en tout genres, on va pour changer un peu, aborder le chapitre relatif au confort de l'équipage. Oui, nous savons que la capsule Apollo n'est pas le RITZ et que le petit déjeuner ne sera pas servi au lit. (*Encore que les équipages mangeaient dans leur dodo !*) Mais ce n'est pas la Sibérie non plus. Compte tenu des contraintes moyenâgeuses imposées par les vols orbitaux de cette époque, il importait de maintenir un minimum syndical, d'autant plus que les missions lunaires étaient très longues. Des systèmes de gestion très complexes de l'air et de la température encombraient la machinerie du module de service, autant pour rendre acceptable le séjour des humains que pour réguler à des valeurs acceptables les ensembles techniques, qu'ils soient électroniques, électriques, ou constitués "de plomberie véhiculant des fluides". Avant de commencer quelques exercices d'introduction à la gestion environnementale, il me semble indispensable de lire en détail le chapitre page 57 de **TECHNOLOGIE 2.pdf**. Le schéma donné en Fig.88 est inspiré d'un dessin de la NASA. Quand je suis "tombé" sur ce document entièrement détaillé en anglais et fourni en noir et blanc, j'ai ressenti comme un "mal de l'espace". Tous ces circuits qui s'entrecroisent avaient vraiment de quoi perturber mes chakras. Il m'a fallu exploiter de nombreuses sources toutes aussi confuses les unes que les autres, pour vous proposer cette version en couleur qui permet, du moins je le crois, de mieux distinguer les divers circuits et en appréhender les fonctions de base.

(1) *Home, Sweet Home* qui signifie "Foyer, doux foyer", est une locution anglo-saxonne traditionnelle qui fait allusion à la douceur ambiance du foyer familial.

EXERCICE n°1 : Comportement de la boucle primaire Eau/Glycol.

P arcourant **PRÉ-LANCEMENT.pdf** lors de la préparation au décollage, en Page 5 on trouve rapidement, après avoir effectué la mise en énergie du vaisseau, l'appel à la procédure **Activation système ECS et circuits GLYCOL**. Il faut en effet refroidir les systèmes électroniques et électriques dès le début de leur mise en service. Dans cet exercice, le vaisseau est en croisière et l'on va expérimenter l'influence de certaines commandes. Chargez la scène **36) Apollo 7 à 135 h.scn** qui s'avérera pour vous particulièrement utile pour effectuer divers exercices basés sur le long terme. Cette scène est "parfaite" au point de vue de l'initialisation globale du vaisseau. L'ensemble des commutateurs et inverseurs sont positionnés "idéalement" de façon à n'engendrer aucun problème sur l'environnement ou le bon comportement de tous les systèmes techniques. En utilisant l'accélération temporelle **10 x** le vol se poursuit jusqu'à + 244 heures sans aucun incident, pas plus sur le tableau des alertes que sous la surveillance de **Crew status** dans **Project Apollo MFD** qui affiche **OK** en permanence. On peut donc avec cette scène se livrer à de multiples expériences imposant de longues périodes avec accélération temporelle. On va commencer par expérimenter "le chauffage central".

C liquez sur **ECS** de **ProjectApollo** qui passe au module du contrôle de l'environnement et affiche en **A** de la Fig.92 dans l'encadré bleu **Crew status** l'état "biométrique" de l'équipage, ce qui n'est pas franchement nouveau. Mais en dessous de ce compte rendu relatif à l'équipage, on trouve en **B** la zone **Glycol Coolant Loops**. C'est une fonction expérimentale qui permet d'effectuer des exercices d'école **en modifiant artificiellement certaines contraintes dans le CSM indépendamment des configurations actuelles des inverseurs et commutateurs sur les tableaux de bord**. Entre autre on va modifier la charge thermique dans les systèmes du CMS. L'écran spécifique ECS **B** montre la puissance calorifique apportée par la charge fonctionnelle appliquée aux deux boucles de refroidissement. Cliquez sur le bouton **PRM** et saisissez la valeur négative correspondant à celle de la charge actuelle pour annuler pratiquement l'apport de calories dans la boucle primaire. Dans le cas de la Fig.92 la charge thermique était de 2443W et l'on a apporté son "contraire en négatif" de 2440W. Il reste donc vu de la boucle primaire un résidu calorifique de 3W. La valeur saisie n'est pas totalement identique à celle de **Actual** car la valeur affichée est affectée de petites fluctuations rapides.

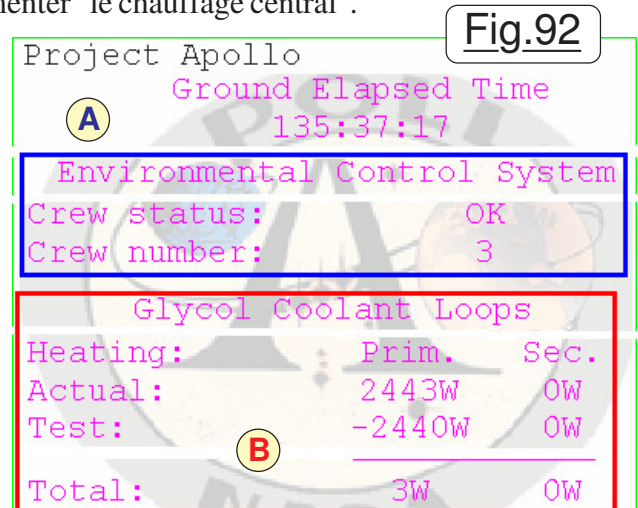
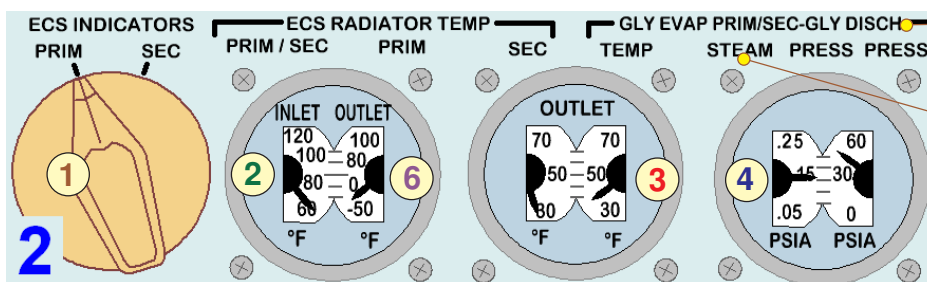


Fig.92



Pour "DISCHARGE" :
(Évacuation)

(STEAM : Vapeur)

Fig.93

Placez en **1** l'inverseur **2** : **[ECS INDICATORS]** sel sur **PRIM** pour s'assurer que les appareils de mesures sont bien assujettis par les capteurs de la boucle primaire de refroidissement.

Passer à une accélération temporelle de **10 x** et attendre que les divers indicateurs soient stabilisés.

L'appareil de mesure **2** : **[ECS RADIATOR TEMP]** ind **PRIM/SEC INLET** indique en **2** une température inférieure à 60 °F et **2** : **[ECS RADIATOR TEMP]** ind **PRIM OUTLET** indique en **6** environ -10 °F.

2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **TEMP OUTLET** en **3** indique environ 45 °F.

2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **STEAM PRESS** en **4** est légèrement sous 0,15 PSIA indiquant que la commande de la soupape qui gère la pression dans l'évaporateur est fermée.

Comme la boucle de refroidissement primaire n'a que la faible charge thermique engendrée par l'équipage à évacuer, il n'y a pas d'évaporation et les radiateurs ont seulement une petite quantité d'énergie thermique à rayonner. La conduite OUTLET doit être chauffée pour maintenir une température minimale. Si on laisse en **5** de la Fig.94 l'inverseur **2** : **[ECS RADIATORS]** **HEATER PRIM** sur **OFF** (Au centre) on constate

la baisse de température en **6** sur **OUTLET**. Rester en accélération **10 x** pour

l'ensemble de cet exercice. Vers -25 °F le témoin d'alarme **GLYCOL TEMP LOW** s'allume et

MASTER ALARM se déclenche. Coupez cet avertissement tonitruant.

Positionner l'inverseur **5** sur **PRIM 1** (Ou sur PRIM 2 qui aurait le même effet) et rapidement le témoin lumineux s'éteint. Cliquez sur le bouton **PRM** de ProjectApollo MFD et imposez la valeur zéro pour

revenir à une production normale de chaleur et attendre jusqu'à la stabilisation des diverses informations mesurées et affichées sur les indicateurs analogiques. 2 : **[ECS RADIATOR TEMP]** ind indique en **2** des températures d'environ 70 °F à 80 °F sur **INLET** et en **6** environ 20 °F à 40 °F sur **OUTLET**.

2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **TEMP OUTLET** indique en **3** un retour aux environs de 45 °F et la pression en **4** se stabilise aux frontières de 0,15 PSIA, l'évaporateur n'étant pas encore nécessaire. Toute l'énergie thermique est actuellement rayonnée vers l'espace par les radiateurs ECS confirmé par la température de sortie **OUTLET** sur l'indicateur **6**.

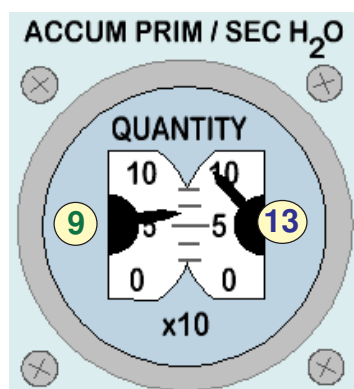
Au passage on peut donner **V37 E 00 E** comme consigne au DSKY pour en épurer l'affichage qui attire inutilement notre vue et qui dans ce contexte n'est pas du tout pertinent. Autant le mettre en attente.

Sur le document **TECHNOLOGIE DES MISSIONS APOLLO** en **21** de la Fig.88 située page 57, on voit que l'on peut shunter les radiateurs externes **20**. Sur le tableau de bord 325 c'est le levier de la Fig.95 qui permet cette configuration. Tirez sur ce levier pour "bypasser" les radiateurs externes. Rapidement la température en sortie sur **6** devient égale à celle en entrée sur **2**. Cette position sera la bienvenue quand la température dans les circuits devient trop faible. Repoussez la tirette, rapidement la température sur **6** reprend sa valeur nominale. On va maintenant augmenter la charge thermique à évacuer.

Cliquez sur **PRM** et ajoutez 2000W pour générer une quantité considérable de calories à évacuer dans l'espace. Rester en accélération temporelle et attendre la stabilisation des mesures affichées.

2 : **[ECS RADIATOR TEMP]** ind affiche alors des températures stabilisées à environ 110 °F sur **INLET** et environ 52 °F sur **OUTLET**. Dans ces conditions les radiateurs ne sont plus capables d'extraire vers l'espace toutes l'énergie thermique du liquide de refroidissement eau-glycol et le mode évaporateur de refroidissement est activé. 2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **TEMP OUTLET** sur **3** indique environ 40 °F et 2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **PRESS STEAM** en **4** avoisine 0,12 PSIA ce qui signifie que la vanne de régulation de pression de vapeur est partiellement ouverte et l'évaporateur retire l'énergie thermiques restante par diffusion gazeuse des eaux usées dans l'espace.

Principe fondamental de fonctionnement de tout réfrigérateur, l'idée consiste à évaporer par détente brutale un liquide, une telle transformation exigeant de la chaleur. Cette énergie "consommée" par la transformation d'état du fluide est ressentie par notre corps comme du froid. Dans Apollo c'est exactement le même principe qui est mis en œuvre, sauf qu'au lieu de vaporiser du fréon comme dans les machines frigorifiques, on évapore l'eau usée dans l'espace. C'est tout l'art de transformer ce "déchet" résiduel encombrant, masse envoyée à grands frais en orbite, en un "produit dérivé". Une sorte de recyclage au sens écologique du terme ...



Revenons à notre pollution : Cliquez sur **PRM** et saisissez la valeur exagérée de 3000 W qui permet de générer la charge thermique maximale possible. Les températures grimpent. L'indicateur **2** va en butée haute alors que **6** indique 75°F. Attendez quelques minutes en **10 x** et vous observerez en **4** que 2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **PRESS STEAM** est encore en baisse et chute vers 0.07 PSIA. Attendez et voyez si et encore combien de temps l'évaporateur (Avec les radiateurs toujours en service) peuvent retirer toute cette chaleur du liquide de refroidissement. Surveillez aussi sur l'indicateur **9** placé sur le tableau 2 les quantités d'eaux usées dans les réservoirs de confinement car l'évaporateur les utilise pour le refroidissement. Quand toute l'eau est consommée l'évaporateur passe en

Fig.94

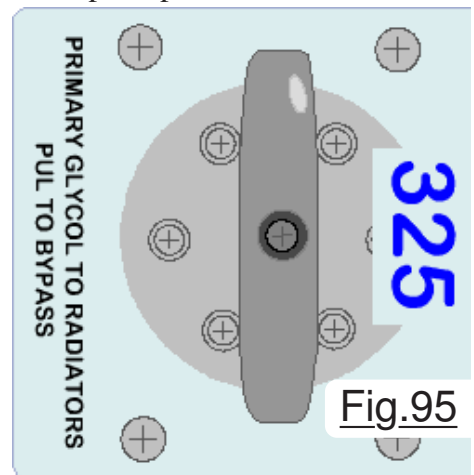
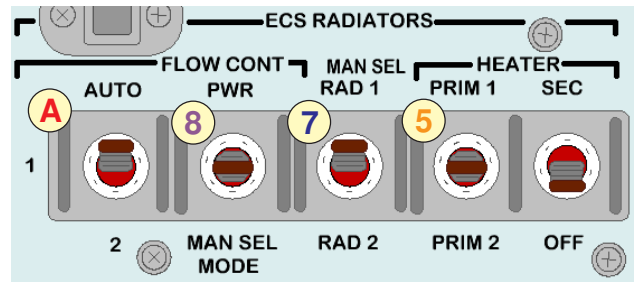


Fig.95

dysfonctionnement. Ce ne sera pas le cas ici car la charge de 2443 W dans le vaisseau sollicite copieusement les piles à combustibles et la fourniture en eau est maintenue. L'indication sur **9** ne descend pas en dessous de la valeur 50. Avec le bouton **PRM** revenir à la valeur qui résulte de la configuration du vaisseau en "ajoutant zéro apport artificiel de calories". Les températures vont alors revenir à des valeurs normales.

EXERCICE n°2 : Contrôle manuel de la boucle de refroidissement.

Dans le chapitre précédent nous avons "perturbé" la quantité de chaleur à évacuer avec la boucle primaire eau-glycol de refroidissement. Les radiateurs et les évaporateurs étaient contrôlés automatiquement par le sous système ECS en fonction de la charge thermique à évacuer à l'aide du liquide de refroidissement. Mais il est également possible de contrôler les deux systèmes manuellement en cas de dysfonctionnement de l'automatisme. Bien qu'actuellement la génération de panne dans ces systèmes n'est pas émulée on va expérimenter ce type de maîtrise qui s'intègre impérativement dans la formation de tout pilote qualifié sur vaisseau Apollo. Et surtout, nous allons avec cette petite expérience appréhender plus en détail le but de certains inverseurs du tableau de bord. Reprendre la scène **36) Apollo 7 à 135 h.scn** pour repartir dans des conditions identiques et sans chaleur artificielle générée dans la boucle primaire de refroidissement eau-glycol. La valeur totale sur **ProjectApollo** MFD doit avoisiner les 2420W correspondant à une génération thermique ordinaire pour le CMS. ((@)Pensez à chaque rechargement de cette scène de replacer l'inverseur 2 : **[ECS INDICATORS]** sel sur la position **PRIM**)

Les radiateurs sont suffisants pour éliminer toute la chaleur, sur le tableau 2 les indicateurs couplés 2 : **[ECS RADIATOR TEMP]** ind indiquent des températures d'environ 70 °F à 80 °F sur **INLET** et environ 10 °F à 40 °F sur **OUTLET**. L'évaporateur n'est pas nécessaire et 2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **TEMP OUTLET** indique environs 45 °F avec une pression en **4** stabilisée aux frontières de 0,15 PSIA. La vanne de régulation de pression de l'évaporateur est donc fermée.

Désactivons manuellement les radiateurs **par contournement** avec les inverseurs **7** et **8** :

- 2 : **[ECS RADIATORS]** cw **MAN SEL** sur **OFF**. (Position centrale) (Inverseur **7**)
- 2 : **[ECS RADIATORS]** cw **[FLOW CONT]** sur **MAN SEL MODE**. (Inverseur **8**)

Les radiateurs sont contournées et l'indicateur 2 : **[ECS RADIATOR TEMP]** ind **PRIM OUTLET** augmente en **6** à la valeur de 80 °F en quelques minutes. Maintenant l'évaporateur entre en action pour évacuer l'excédent de calories. (Détente adiabatique de l'eau usée en vapeur vers le vide sidéral)

2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **PRESS STEAM** en **4** indique environ 0,09 PSIA et 2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **TEMP OUTLET** indique en **3** environ 50 °F ce qui traduit un fonctionnement à plein régime de l'évaporateur. Il devient incapable de refroidir le fluide Eau/Glycol. Revenir au fonctionnement normal en repassant les inverseurs de contournement en position normale :

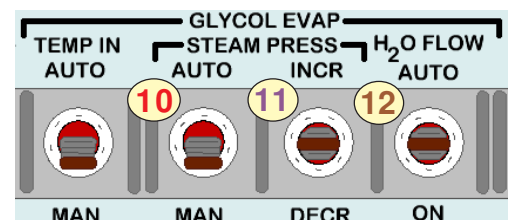
- 2 : **[ECS RADIATORS]** cw **MAN SEL** sur **RAD 1**. (Inverseur **7**)
- 2 : **[ECS RADIATORS]** cw **[FLOW CONT]** sur **PWR**. (Inverseur **8**)

Nous allons maintenant tester la gestion manuelle de l'évaporateur avec **10** :

- 2 : **[GLYCOL EVAP]** cw **[STREAM PRESS]** **AUTO** placé sur **MAN**.

Maintenant il est possible d'agir manuellement avec **11** sur la vanne de régulation de pression de l'évaporateur avec l'inverseur au deux positions instables 2 : **[GLYCOL EVAP]** cw **[STREAM PRESS]** **INCR** ou **DECR**. Maintenir sur **DECR** pour ouvrir progressivement la vanne. L'indication en **3** sur 2 : **[GLY EVAP PRIM/SEC-GLY DISH]** ind **TEMP OUTLET** chute rapidement en dessous de 40 °F signifiant qu'il y a plus de refroidissement que nécessaire. Vous pouvez ainsi tester différentes pressions dans l'évaporateur et observer l'indicateur de température pour voir les effets qui en résultent. La position **INCR** présente l'effet inverse. Repasser 2 : **[GLYCOL EVAP]** cw **[STREAM PRESS]** sur **AUTO** pour rétablir le contrôle automatique.

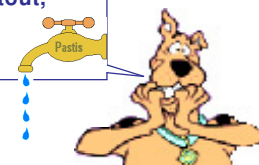
Pour conclure cet exercice, en **12** placez 2 : **[GLYCOL EVAP]** cw **H2O FLOW AUTO** sur la position centrale **OFF**. En stoppant le flux vers l'évaporateur, immédiatement **4** passe en butée supérieure. Forcez alors **12** sur la position basse instable **ON**. Tant qu'il y est maintenu la pression en **4** diminue indiquant le refroidissement par vaporisation avec un effet de seuil aux environs de 0.09. Remplacez **12** sur la position standard **AUTO**. L'indicateur **4** revient à sa valeur d'environ 0.15 qui correspond à la stabilisation standard. Avec ces divers exercices, nous avons un peu transpiré et "pris un coup de chaud".



EXERCICE n°3 : Gestion de l'eau potable.

Boire un petit coup c'est agréable, expression polaire bien française que l'on entend régulièrement dès que les beaux jours reviennent et que l'on s'installe à la terrasse du troquet du coin. Pour nos prisonniers de l'exploration spatiale, pouvoir se désaltérer avec de l'eau fraîche ou se préparer un bon café chaud participait grandement à rendre le séjour dans leur boîte de conserve moins spartiate. Le document **TECHNOLOGIE DES MISSIONS APOLLO** en **17** de la Fig.88 située page 57 fait référence aux "robinets" qui permettent à l'équipage de "se servir à discrétion". Les piles à combustible, compte tenu de la puissance électrique fournie et des fluides cryogéniques consommés fournissaient en nominal entre 190 et 230 litres d'eau au cours d'une mission. Pas de quoi prendre un bain tous les jours, mais largement suffisamment pour subvenir aux besoins vitaux de l'équipage. Les raccords rapides symbolisés en **17** et les vannes de soutirages sont disponibles sur le tableau 352 relativement mal placé. Ce choix est justifié par l'impératif de placer bien en vue et en positions ergonomiques les appareils de mesure et les commandes vitales, alors que les activités nourricières quoique fondamentales n'exigent pas une haute priorité d'action. Naturellement dans Orbiter on ne va pas se servir à boire, mais comme tous les organes sont représentés sur les tableaux de bord il importe d'en situer la position et d'avoir une idée, fut-elle simplifiée, de leur fonction. Dans le cadre de notre formation, il est logique d'en savoir un minimum, pour ne pas s'acharner en vain sur "la production d'eau potable" alors que dans l'urgence on cherche à rétablir un débit d'oxygène ou à diminuer la température dans le scaphandre. Enfin bien que l'on pourrait annoncer "fontaine je ne boirais pas de ton eau", la gestion d'eau potable est en partie émulée dans Orbiter.

J'ai cherché partout, partout, sur le 2D, le 3D la BD, pas moyen de localiser le



Continuons notre exploration environnementale avec la scène **36) Apollo 7 à 135 h.scn** que l'on réinitialise et placer la vue du tableau central 2 de façon à voir simultanément les inverseurs de la Fig.96 et la zone de gestion électrique sur le tableau 3. (*Penser à @ page 116*) Placez le bouton rotatif **3 : DC INDICATORS** **cw MAIN BUS** sur la position **A**. On note sur l'indicateur **DC AMPS** une consommation d'environ 40 ampères sur MNA. Placez alors l'inverseur **1** sur la position **OFF**. La consommation électrique diminue d'une graduation sur l'instrument de mesure soit de 4 A ce qui n'est pas rien. Passez le commutateur rotatif sur **B** qui permet de constater que sur MNB on consomme environ 23 ampères. Un petit clic de souris pour passer **1** en position basse. À nouveau 4 ampères de plus sur MAIN BUS B. Est-il bien raisonnable de laisser la machine à café sous tension en permanence, alors qu'il ne suffira que de quelques minutes pour chauffer l'eau au moment de son soutirage ? Ces 4 ampères pompés en permanence vont inexorablement gaspiller une énergie si indispensable à bord qui risque de manquer cruellement à un moment ou à un autre, surtout si un incident de "type Apollo 13" survient à l'improviste. N'oubliez jamais que toute consommation, et surtout "celle qui ne se voit pas", diminue en permanence la quantité disponible des liquides cryogéniques qui constituent le sang du vaisseau. C'est comme votre lampe de poche oubliée allumée dans le tiroir ... elle sera inutilisable le jour où vous en aurez besoin. Dans **PRÉ-LANCEMENT.pdf** en bas de la page 2 l'une des premières actions dans le CM consiste précisément à couper "la machine à café". Mais il reste toujours envisageable par la suite d'avoir basculé inopinément cet inverseur et d'en oublier ensuite les conséquences. Alors bon entendeur ... salut !

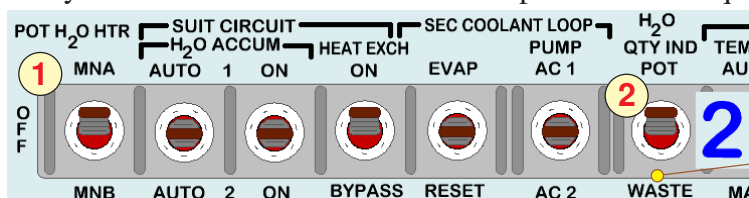
EXERCICE n°4 : Pipi caca !

Puisque nous en sommes à ces question de consommation d'eau, on peut au passage signaler que l'inverseur **2** permet de surveiller la quantité d'eau disponible dans les réservoirs. Il est facile de se rendre compte qu'en position haute on mesure sur **13** (*Page 115*) la quantité d'eau disponible pour la consommation de l'équipage, et en position basse sur **WASTE** celle contenue dans le réservoir d'eau usée. Nous allons y revenir dans l'exercice suivant. On se doute qu'à bord d'une capsule Apollo, les problèmes d'hygiène et tout ce qui relève des contraintes d'aisance ont constitué un problème majeur à résoudre. Les excréments étaient conservés dans des conteneurs de stockage et ramenés sur Terre pour analyse en laboratoire. La vie dans l'espace n'en était qu'à ces débuts et les scientifiques étaient avides de

toute information pouvant servir à mieux cerner la vie en microgravité. Les urines par contre étaient éjectées dans l'espace, ce que dans le film

Fig.96

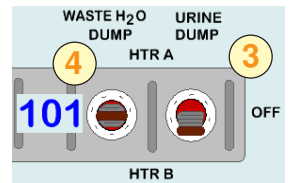
(WASTE : Déchets)



"Apollo 13" le comédien nomme "la constellation urinion". Dans cette optique de réalisme poussé à l'extrême, les programmeurs de NASSP ont prévu les protocoles pour vidanger les urines et décharger le réservoir d'eau usée, raison pour laquelle vous trouverez ces procédures dans les check-lists. On va dans cet exercice simuler ces actions, qui, à l'instar de toutes les autres ont pour conséquence de consommer de l'énergie à bord. Rien n'est gratuit, pas même la "Dame pipi".

Première action du protocole, réchauffer les buses d'éjection qui instantanément gèleraient le fluide dès qu'il serait envoyé dans les canalisations avec au meilleur des cas une vidange interrompue, et dans le pire des cas un endommagement des gicleurs par dilatation de la masse congelée. On commence par armer le sectionneur 5 : **[ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM] cb WASTE H₂O URINE DUMP HTR MNB** par exemple, histoire d'équilibrer un peu la charge sur les bus principaux et par incidence directe sur les piles à combustible. Puis on engage le réchauffage de la buse de sortie en basculant en **3** l'inverseur 101 : **cw URINE DUMP** sur **HTR B**. En principe il y aurait un délai pour atteindre l'équilibre thermique, mais dans NASSP l'effet est immédiat. Passer en vue extérieure. Rien à observer. Logique, car chauffer les canalisations et le gicleur n'ouvre pas les vannes. Il faut passer sur le tableau malcommode 251 et placer sur la position **OVBD DRAIN DUMP** le gros bouton rotatif 251 : **[WASTE MANAGEMNT]**. Actionner deux ou trois fois cette vanne tout en retournant en vue extérieure pour en visualiser l'effet. Notez au passage qu'il est hors de question de laisser une fuite incontrôlée vers la sortie, il importe donc de terminer la procédure en refermant cette valve. Quand le circuit est en purge, basculer

Fig.97



et rétablir l'inverseur de réchauffage à plusieurs reprises pour en constater en vue extérieure l'effet instantané. Effectuez une manipulation analogue avec le sectionneur sur le tableau 5.



C'est rigolo le SMCLSM truc, zont la clim, zont le chauffage central mais pour le pipi c'est dehors !

Un dernier petit détail : dans NASSP cette visualisation est

sans limite, elle peut durer des heures, donc limiter ces séquences à des durées raisonnables et crédibles de l'ordre d'une demi-heure comme on va le voir dans l'exercice qui suit.

EXERCICE n°5 : Décharge du réservoir WAST.

Laisser le réservoir d'eaux usées, repéré **14** sur le document **TECHNOLOGIE 2.pdf** en Fig.88 de la page 57, s'engorger pourrait avoir des conséquences fâcheuses sur le comportement des systèmes de gestion environnementale. Il importe donc régulièrement d'en effectuer la vidange dans l'espace. La procédure ressemble à celle utilisée pour l'évacuation des urines et exige au préalable d'armer le même sectionneur 5 : **[ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM] cb WASTE H₂O URINE DUMP HTR** la configuration **MNB** étant conseillée. Avant d'ouvrir la vanne effectuez une remise à zéro avec l'inverseur **RESET** du **[MISSION TIMER]** puis le réenclencher sur la position **START**. On place ensuite **4** de la Fig.97 sur **HTRB** pour réchauffer les sorties vers le vide sidéral. Enfin **[CTRL]** pour passer rapidement sur le tableau 352 et tourner la valve **5** sur **DUMP A**. Vérifiez que **2** de la Fig.96 est bien en position basse sur **WASTE** puis passez en vue extérieure. Le jet de particules immédiatement glacées dans la froidure cosmique est bien visible, mais de couleur blanche et non jaune cette fois. Revenir en face du tableau de bord et passez en accélération temporelle de **10 x**. Laissez faire, vous allez constater qu'il faut environ 35 minutes pour vider un réservoir qui initialement était entièrement saturé. Au fait, vous avez pensé à **V37 E 00 E** pour ne pas que le DSKY accapare en parasite votre attention ? Non ? Heureusement que Popol est occupé dans son bureau à rédiger des rapports administratifs parfaitement inutiles, vous avez de la chance pour cette fois !

Fig.98

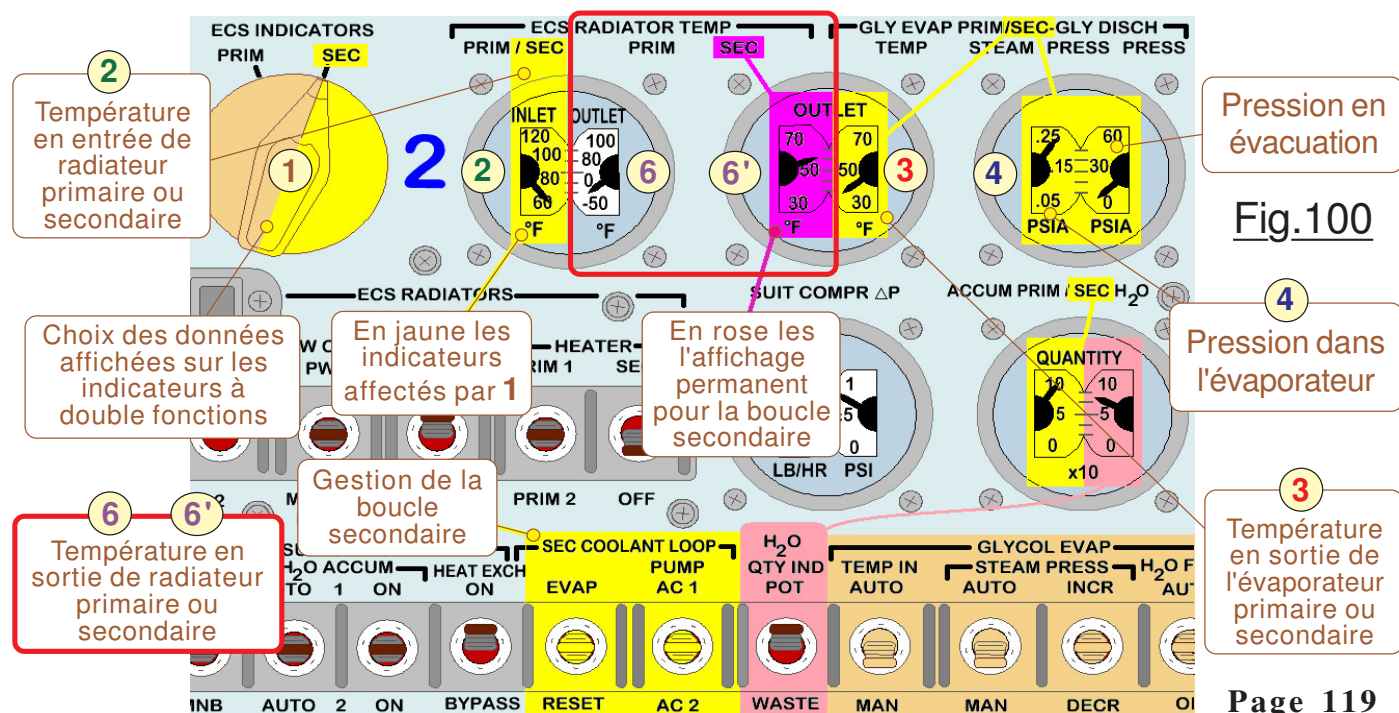


Vous pouvez aussi ajouter **V36 E** et couper l'éclairage sur le tableau 8 manière de ne pas donner dans les compromis. Dans cette expérience nous avons entièrement vidé le réservoir **14** pour voir combien de temps peut exiger cette opération. Mais ce n'est pas du tout une bonne idée. Il faut toujours en laisser un minimum, disons un quart, de façon à ce que l'évaporateur puisse fonctionner durant les périodes de surchauffe des circuits de régulation thermique. Inutile de vous pencher vers les hublots de gauche, de l'intérieur du vaisseau les rejets extérieurs ne sont pas visibles. Remplacez la valve **5** et couper le réchauffage de la buse. Enfin par mesure de sécurité couper le sectionneur d'alimentation de ce circuit.

EXERCICE n°6 : Mise en circuit de la boucle secondaire et gestion des pannes.

Normalement si tout fonctionne au nominal il n'y a pas à s'en servir, elle n'est disponible que pour palier un éventuel dysfonctionnement du circuit primaire. Ceci dit, on remarque en **22** de la Fig.88 du document **TECHNOLOGIE 2.pdf** en page 57 qu'il existe une possibilité d'effectuer des échanges calorifiques entre boucle primaire et boucle secondaire. Dans la pratique des systèmes automatiques s'en chargent quand il y a charge thermique très importante ponctuellement dans le CSM et que la boucle primaire ne peut à elle seule évacuer l'excédent de chaleur. Il est toutefois prévu de pouvoir gérer en manuel la régulation de température. Recommencez avec une **36) Apollo 7 à 135 h.scn** toute neuve. Ajoutez un petit **V36 E** pour purger l'écran du DSKY puis positionnez **1** de la Fig. 100 sur **PRIM**, position qui correspond au standard. On peut passer à notre petite expérience. Ajoutez 3000W de charge thermique au circuit primaire comme vous savez le faire. Puis en **10 x** attendre que sur Fig.100 en **2** et **6** les températures se stabilisent. En butée haute pour **2** et 75 °F pour **6**. En **6** la température se stabilise ce qui démontre un fonctionnement normal de la boucle de régulation et en particulier du radiateur externe. Tirez sur le levier de la vanne représentée en Fig.95 de la page 115 pour simuler un dysfonctionnement. En **6** la température grimpe anormalement et nous alerte d'un incident. Le vaisseau transpire, la machinerie souffre. Visiblement le radiateur externe n'évapore pas. Tentez de basculer **7** de la Fig.94 en page 115 en position basse sur **RAD 2** et **A** sur la position basse **2**. Le drapeau associé **Fig.99** indique **2** attestant de la configuration effective des circuits. Pas de changement observable sur **6**, on a un problème sérieux. Il faut immédiatement faire intervenir le circuit secondaire avant que des ensembles techniques ne soient endommagés par excès de température. Positionnez **1** sur **SEC** pour visionner ce qui se trame sur le circuit de secours. Basculez en **6** de la Fig.99 l'inverseur sur **PUMP AC1** qui force la circulation du fluide de refroidissement. Immédiatement les indicateurs du tableau 2 s'animent nous assurant que les conditions physiques dans la boucle secondaire viennent de se modifier en profondeur. Enfin positionnez vers le haut l'inverseur **7** pour activer l'évaporateur des circuits de secours. En **4** de la Fig.100 la pression dont l'indicateur était en butée haute diminue notablement entre 0.09 et 0.1, traduisant le fonctionnement nominal de l'évaporateur du circuit de secours. Simultanément, **OUTLET** en **3** toujours sur la Fig.100 qui était au maximum redescend à la valeur nominale de 40 °F. Rétablir la position du levier de la vanne représentée en Fig.95 de la page 115 et ramener à zéro la surcharge artificielle d'apport calorifique sur **Project Apollo MFD**. L'incident est clos. Dans cet exercice nous avons simulé un dysfonctionnement par positionnement volontaire et incorrect d'une vanne, et ajouté une surcharge thermique artificielle. Mais si dans des conditions normales de croisière nous étions confrontés à un phénomène similaire, la parade serait probablement identique.

Résumé de la répartition des éléments de gestion des boucles Eau/Glycol.



(1) **PSIA** : Pression exprimée en Livres par Pouces carrés **Absolute**. C'est la pression réelle qui existe dans la zone mesurée comparée au vide de pression strictement nulle.

PSI : Différence de pressions exprimées en Livres par Pouces carrés qui existe entre la zone mesurée et l'atmosphère environnante. ($\approx 14,7$ PSI de différence avec PSIA)

Les structures d'un avion, d'un sous-marin ne sont soumises qu'à la différence entre celle qui règne à l'intérieur et celle qui se trouve à l'extérieur. La poussée sur le piston d'un vérin pneumatique ou hydraulique n'est également influencée que par le différentiel de pression intérieur / extérieur. Dans tous ces cas c'est la pression relative qui intervient pour les phénomènes et dans les calculs. Dans le cas où il règne du vide pour un des deux cotés du "récipient", alors c'est la valeur de PSIA qui intervient.

(2) **mmHg** : Pression exprimée en millimètres de mercure. Représente la pression que l'on subit quand on s'immerge dans du mercure soumis à la pesanteur terrestre à une profondeur exprimée en mm. (Je ne vous conseille pas de le faire !!!)

Actuellement, le système international n'utilise plus ces unités. Les pressions sont exprimées actuellement en **pascals**. Quand ce mot commence par une majuscule, on fait allusion au grand savant. Quand la lettre minuscule est utilisée, c'est de pression dont il est question. À l'époque de la conception d'Apollo, le pascal ne s'était pas encore imposé universellement, d'où les unités "locales" de l'époque, telles que celles citées ci-avant ou chez nous le **bar** par exemple.

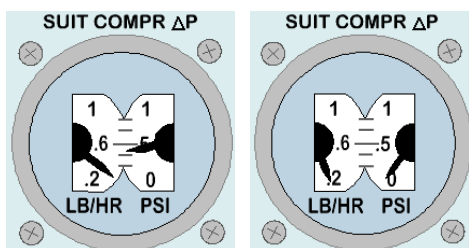
EXERCICE n°7 : Exercice sur SUIT COMPRESS. (On va respirer un petit coup !)

Quand on active un grand nombre de situations fournies par NASSP, notamment celles qui sont relatives à la préparation du vaisseau en phase de pré-lancement, il y a ce témoin lumineux **SUIT COMPRESSOR** qui nous alerte et inquiète les débutants. À votre stade de la formation d'astronaute, vous commencez à avoir du métier, ce n'est plus ce genre d'incident qui vous fait transpirer ... tout du moins nerveusement, car dans le "costard" il risque fort l'inconfort l'orbinaute ! Allez, on va recharger une fois de plus **36) Apollo 7 à 135 h.scn**, se "routiner" un **V36 E** sur le DSKY et consulter une fois encore la Fig.88 de **TECHNOLOGIE 2.pdf** en page 57. Et vous, l'aurait été bien utile de le laisser ouvert ce document ou mieux ...

afficher la page contre le mur ! Quand en **8** le compresseur n°1 est en fonctionnement standard sur AC1, la pression dans le scaphandre est légèrement supérieure à celle maintenue en cabine. Nous l'avons déjà lu en page 54. On observe au passage sur la Fig.101 que les échelles des manomètres **1** et **2** ne sont pas linéaires pour étaler les graduations aux valeurs faibles. (On se trouve en présence d'échelles logarithmiques) Cette différence de pression de l'ordre de 0,3 à 0,6 PSIA (**1**)

n'est pas vraiment discernable sur les appareils du groupe **1** mais indiquée par le manomètre différentiel Fig.102 sur le dessin **A**. (En PSI et non PSIA) La pression de gaz carbonique CO2 mesurée en **2** doit être de l'ordre de 2 à 5 mmHg (**2**) si le compresseur fonctionne de façon nominale, ce qui reste bien inférieur à la valeur de 7,6 mmHg qui déclenche une alarme de type **CO2 PRESS**.

Effectuez une remise à zéro avec l'inverseur **RESET** du **[MISSION TIMER]** puis le réenclencher sur la



A Fig.102 **B**

position **START**. Mettre hors service le compresseur n°1 en plaçant en **3** sur la Fig.103 son inverseur sur la position **OFF**. La différence de pression entre la combinaison et l'habitacle se résorbe en quelques secondes et devient inférieure à 0.22 PSI. Cette valeur est typique d'un dysfonctionnement du compresseur comme visible ci-contre en

B. Immédiatement le témoin **SUIT COMPRESSOR** s'illumine sur le tableau des alertes et le MASTER ALARM nous prévient. Passez en accélération temporelle **10 x**. Lentement la pression de gaz carbonique CO2 en **2** se met à augmenter. Après environ 9 minutes la jauge indique une

pression de 7,6 mmHg ou plus, l'atmosphère commence lentement à s'empoisonner. Une alerte **CO2 PRESS** s'allume à son tour. Notez qu'à partir de 9 mmHg, zone repérée en couleur orange

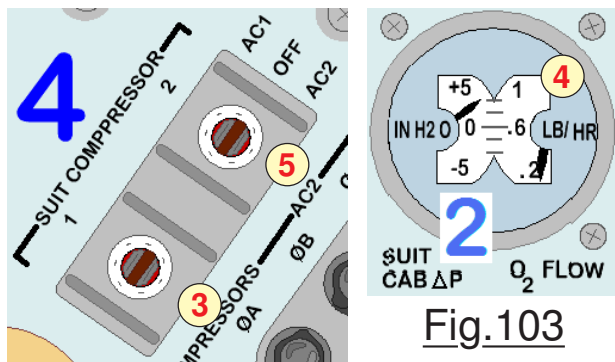


Fig.103

sur **2** les astronautes commencent à se trouver en situation critique et les premiers syndromes physiologiques se font sentir ... il y a urgence. Le débitmètre d'O₂ en **4** montre une diminution du flux car le circuit n'est plus alimenté en oxygène frais. Le débit s'effondre complètement. Vers 13 minutes, à ce régime, le statu de l'équipage affiche **Crew status: CRITICAL** et il devient urgentissime de réagir. Réitérer une nouvelle remise à zéro du [MISSION TIMER] et en rétablir le comptage. Remettre le compresseur des scaphandres n°1 en

fonctionnement. Immédiatement en **B** on constate le différentiel de pression augmenter vers à 0,3 à 0,6 PSI et le témoin **SUIT COMPRESSOR** s'éteint. En **4** le débit remonte vers 0.8 à 0.9 livres par heures. Après environ deux minutes, le témoin **CO2 PRESS** se calme à son tour. Après une période relativement longue, d'environ 20 minutes, il semble que le taux de pollution ne veuille pas descendre en dessous de 5 mmHg. Avec **5** activez le deuxième compresseur sur **AC2** par exemple. Le différentiel de pression sur **A** augmente à environ 0.75 PSI. Il ne faut alors que six minutes de plus pour que l'atmosphère redevienne standard avec une indication de pression de CO₂ vers 2 mmHg. L'incident est clos. Repasser **5** en position centrale sur **OFF**. Le mal de tête ne va plus mettre longtemps à se résorber. Reste que tout n'a pas été exploré concernant ces préoccupations environnementales. En particulier sur les tableaux 382 diverses vannes interviennent sur la combinaison pressurisée. Il y aurait encore beaucoup à expérimenter.

EXERCICE n°8 : Exercice complémentaire sur la gestion Oxygène.

R rechargeons encore **36) Apollo 7 à 135 h.scn**, la situation presque inusable. Un petit **V36 E** sur le DSKY pour la forme et **10 x** pour accélérer les réactions des systèmes techniques. Nous allons modifier certaines configurations pour observer comment se comportent les matériels de bord. Attendre un peu que les débits sur **4** et sur **A** soient stabilisés à une valeur faible. Ouvrir au maximum la vanne **6** située sur le tableau 7. Immédiatement les débits augmentent sur **4** et sur **A**. Comme montré sur la Fig.104, ouvrir entièrement la vanne **7**. Les débits sur **4** et sur **A** vont au maximum. Le témoin **O₂ FLOW HI** s'allume et l'alarme sonore se déclenche. Remplacez **6** au minimum vers le bas. Cette action ne change rien. Coupez les deux valves **8** en les plaçant comme indiqué sur la Fig.104 vers les flèches rouges. Le témoin **O₂ FLOW HI** s'éteint et les deux débits s'annulent complètement sur **4** et sur **A**. Dans cet exercice nous avons vu comment augmenter le débit avec **6**, comment repressuriser en oxygène si nécessaire et comment couper un débit exagéré du précieux gaz. Remplacez **7** sur la position **OFF**, les deux clapets **8** sur **OPEN**. Attendre que les débits soient stabilisés à des valeurs faibles puis, pour adopter une moyenne, positionnez **6** à mi-course. Quand tout va pour le mieux, tournez à l'horizontale dans le sens de la flèche rouge comme montré en **9** sur la Fig.105 le levier du tableau 380. *Notez au passage que ce tableau n'est pas repéré sur le pannel de NASSP, raison pour laquelle le n° est en gris sur mes dessins, mais il est mentionné dans les check-lists de la NASA.* Nouvelle alerte sur **O₂ FLOW HI** et débit maximal sur les indicateurs. Inutile de laisser l'alarme se fâcher. Acquiescer avec **MASTER ALARM** puis repositionner correctement le levier **9**. Suite à ces exercices, à l'avenir vous aurez déjà une bonne idée des commandes possibles à utiliser quand les

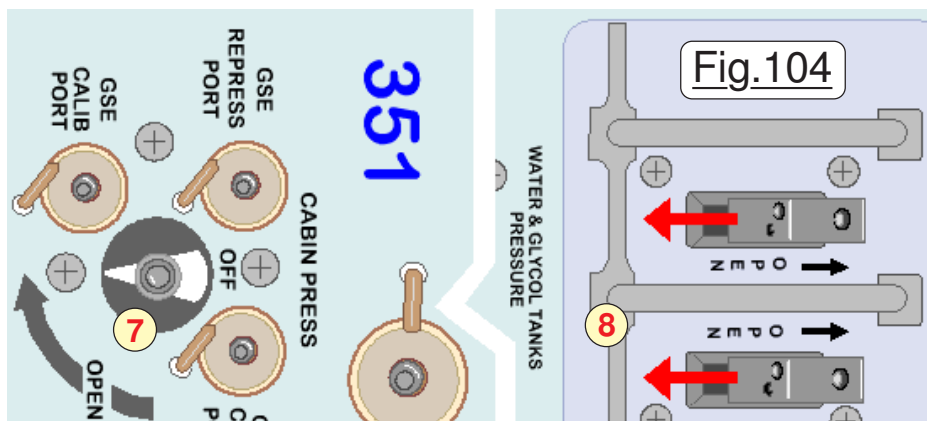
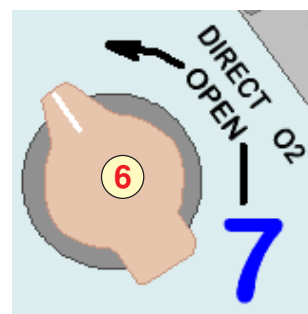


Fig.104

témoins **O₂ FLOW HI** ou **CO₂ PRESS** s'allument.

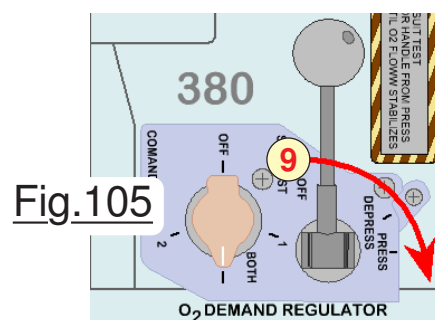


Fig.105

RÉGULATION THERMIQUE PASSIVE :

Annoncée dans le chapitre relatif à la mise en service du SPS à la page 28, cette procédure va nous servir à conforter notre savoir-faire dans l'utilisation du système de guidage d'Apollo et en particulier de la procédure V49 d'orientation automatique. Nous avons vu sur la Fig.27 que les canalisations d'alimentation en ergols du SPS sont réparties à la surface de la structure arrière du module de service. Ces lignes d'alimentation du moteur orbital sont exposées au froid sidéral si l'arrière du vaisseau est dans l'ombre, et sujettes à une surchauffe si elles sont exposées en permanence au rayonnement solaire. L'apport de chaleur résultant de la présence du Soleil dépend de la position et de l'orientation du CSM. Si l'arrière est exposé au soleil sur une longue période, la température peut trop augmenter et il faudra changer l'attitude du CSM. En outre, il est possible d'installer le vaisseau dans un mouvement de roulis très lent de sorte que les lignes d'alimentation soient chauffées périodiquement mais à un degré moindre pour maintenir la température dans des valeurs nominales sans imposer un chauffage électrique. C'est le principe de base du contrôle thermique passif. On commence par ouvrir **SERVITUDES OPÉRATIONNELLES** à la procédure **Activation de la régulation thermique passive (PTC)** en **Page 19** dont la première action va consister à activer les RCS du SM. On s'en doutait un peu vu qu'il va falloir orienter dans l'Univers le train spatial. Chargez **37) Tester la régulation thermique.scn** dans laquelle les RCS sont déjà disponibles.

Révision : Pointer avec précision dans l'Univers.

Durant notre formation à la NASA, nous avons appris à utiliser les système de navigation et de guidage d'Apollo pour pointer avec précision une direction particulière dans l'univers. La procédure V49 que nous avons déjà expérimenté en page 88 est conçue dans ce but précis et s'appuie sur la centrale inertielle qui gère l'orientation par rapport à la REFSMMAT. Il faut impérativement que la plate-forme inertielle soit correctement alignée, ce qui est le cas dans la scène chargée. Comme premier exercice de révision je vous propose de pointer le train spatial vers la Lune qui n'est pas très visible en ce moment.

- Houston, ici Apollo 7, nous avons un problème ! @
- Mais Apollo 7 vous avez constamment des problèmes, c'est pas nouveau !
- Oui, mais cette fois le plan de vol demande de nous orienter vers la Moumoune et on ne la voit pas.
- C'est normal, elle est vue coté sombre. En quoi on peut vous aider ?
- Les coordonnées inertielles pour la pointer ?
- OK sept, vous avez 119 point 49 en roulis, 112 point 71 en cabrage et 003 point 04 pour le lacet tous les angles sont positifs. Par contre pour votre prestation vous n'avez pas la moyenne !
- Merci Houston, on va essayer de ne pas nous perdre comme à chaque fois.

Conformément à la procédure V49 on passe en premier à V48 :

V48 E P P P V46 E Le DAP est activé.

Puis retour sur V49 en **Page 19 du manuel**, et à partir d'ici on vérifie la conformité des divers inverseurs sur le tableau 1.

V49 E P00 V06 N22

+15197
+09000
+00000


} Angles actuels de l'orientation inertielle dans la REFSMMAT.

V25 E pour changer les valeurs et imposer celles envoyées par la Terre.

+11949 E +11271 E +00304 E

P P00 V50 N18 (Ne rien modifier)

P P00 V06 N18 et **COMP ACTY** puis les RCS sont mis à contribution.

Passer en vue du hublot d'arrimage et  pour "regarder bien en face". La lune se centre avec rigueur. Ou ça la Lune, je ne vois rien du tout ? Ben ... parfaitement normal puisque on l'observe son coté sombre. Donc on va tricher un peu et utiliser les artifices d'Orbiter :

Touche clavier **[F4]** suivi de  et enfin on coche . C'est pas fabuleux NASSP ?

Ceci dit, on a foncé comme des débutants. Mais nous savons que V49 ne fonctionne au mieux que si le vaisseau est globalement bien orienté. Par ailleurs, si l'on part d'une position "quelconque", V49 va nous orienter en surcompensant un tantinet, mais surtout il peut fort bien passer par la zone rouge du FDAI n°1 et nous bloquer l'IMU par alignement des cardans. Alors faisons bien attention la prochaine fois.


Révision suite : Pointer avec précision dans l'Univers.

Bien qu'en vue d'effectuer la prise d'orientation dans le but de passer à une régulation thermique passive on va commencer à pointer le Soleil qui cette fois est parfaitement visible, nous allons encore utiliser V49. D'une part on va ainsi se faire une petite révision de plus. Mais bien que l'astre diurne soit très lumineux, quand on est enfermé dans la boîte pratiquement fermée du CM il n'est pas forcément facile de le trouver, surtout s'il est vers l'arrière. Les systèmes de navigation sont alors les bienvenus. Du reste, sans passer en vue extérieure, tentez de le situer en n'utilisant que les "lucarnes" du vaisseau. Pas évident du tout. Pour effectuer cette expérience on décoche ☒ Bodies car le Soleil est en principe visible, y compris quand on le regarde coté sombre ! Les coordonnées angulaires sont :

+ 117,83° en roulis, + 131,81° en cabrage et +345,11° en lacet.

La procédure d'orientation en bas de [Page 46](#) précise que pour *Modifier l'attitude V49 étant engagé* il suffit de changer les valeurs dans les registres puis de relancer V49 soit :

V25 E +11783 E +13181 E +34511 E suivi de **V49 E P P**.

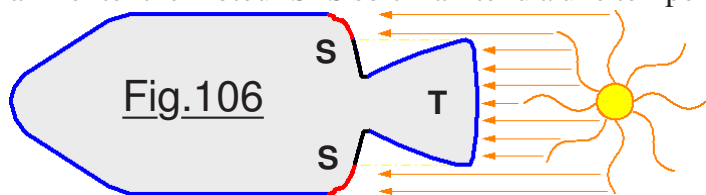
On repasse sur la vue hublot d'accostage sans oublier . Naturellement vous avez vu dès le début que le Soleil n'était pas loin angulairement de la Lune et que l'on ne risquait pas de blocage IMU par alignement des cardans, raison pour laquelle vous avez engagé cette procédure directement ! Le Soleil vient se centrer bien sagement au milieu de la fenêtre triangulaire et y reste. On peut passer à la procédure de régulation thermique passive qui ne l'oublions pas était notre but initial.

Il n'y a pas de miracle !

Beaucoup d'entres-vous vont se demander comment contacter Houston pour obtenir les angles à fournir au calculateur de bord pour orienter le vaisseau. Il est probable que dans tous les "outils" qui nous sont fournis par les programmeurs il doit y avoir de quoi déterminer ces valeurs de façon cartésienne. Mais dans le cadre d'une rédaction d'un tutoriel aussi volumineux, j'ai parfois utilisé des chemins plus "directs" ne pouvant tout appréhender à la fois. Donc, dans le cas présent, je me suis contenté de pointer avec précision la direction du "ciel" que je voulais utiliser dans l'exercice. Il suffit alors de demander d'afficher les angles de l'IMU au DSKY par la commande d'affichage élémentaire : **V16 E N20 E**. Ce n'est pas conforme à la philosophie du pilotage dans NASSP, mais pour réaliser des scénarii sans y englober trop de temps c'est tout à fait pertinent.

Principe physique d'une régulation thermique passive.

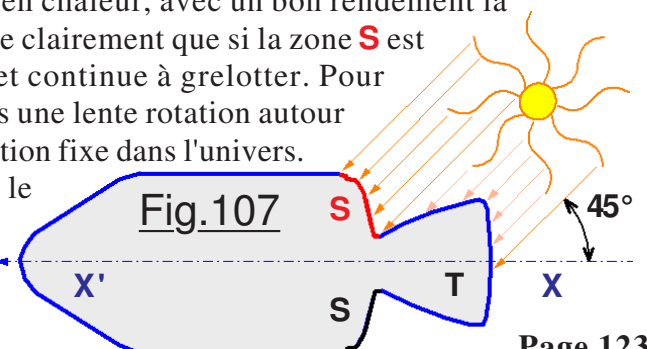
Quel que soit le système utilisé pour réchauffer une surface **S** de capture d'énergie, il faut l'orienter perpendiculairement à la source de rayonnement comme montré sur la Fig.106 qui dans notre cas symbolise le Soleil. Mais les canalisations d'ergols se trouvent à l'arrière du SM et de se fait sont masquée par la grande tuyère du moteur orbital. Seule la moitié de la surface à tempérer repérée en rouge reçoit le flux irradié par notre étoile la zone noire étant dans l'ombre. Pour que l'ensemble des canalisations qui alimentent le moteur SPS soit maintenu à une température correcte, comme montré sur la Fig.107, on doit



placer l'axe longitudinal **X'X** du vaisseau à 45° de la direction du soleil. Cet angle n'est pas quelconque, car plus il est important et moins le flux est capté par la surface à réchauffer. Si cet angle arrive à 90°, le rayonnement est rasant "et ne

fait que passer". C'est le cas des pôles terrestres par exemple. Leur situation est aggravée par le fait que la glace en plus réfléchit la lumière, donc n'absorbe pas l'énergie reçue. La partie arrière du CSM est donc réalisée avec un matériau qui convertira en chaleur, avec un bon rendement la lumière arrivant de l'astre diurne. Mais la Fig.107 montre clairement que si la zone **S** est bien réchauffée, une partie **S** reste dans l'ombre de **T** et continue à grelotter. Pour résoudre ce problème, il suffit d'engager le vaisseau dans une lente rotation autour de son axe longitudinal **X'X** qui lui va conserver une direction fixe dans l'univers.

Dans ce but on utilise une lente rotation en roulis une fois le vaisseau correctement orienté. Le taux de rotation adopté sera très faible pour ne pas gêner le confort de l'équipage, et ce d'autant plus que cette méthode sera utilisée pendant de très longues périodes lors des vols lointains.



La procédure de régulation thermique passive du SPS.

L'idée de base consiste donc à commencer par orienter le vaisseau avec l'avant dirigée directement dans la direction du Soleil. Puis, on effectue la correction angulaire en lacet pour recevoir son rayonnement à environ 45°. Ainsi la grosse tuyère ne masquera presque plus la structure à réchauffer. Pour pouvoir effectuer librement cette orientation on doit en préambule stopper le pilote automatique. La procédure **V48 >>> Coupure du Pilote Automatique DAP** est du reste élémentaire :

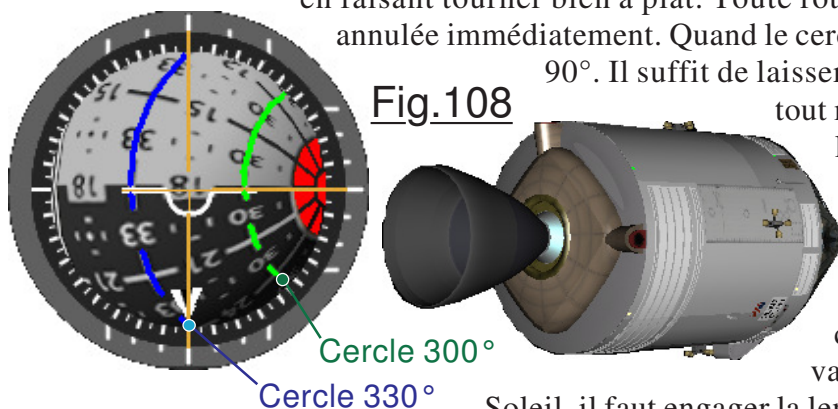
V34 E V48 E

V21 E 00000 E (La valeur 00000 dans R1 désactive le DAP)

V46 E

V34 E

Puis, initialisons le FDAI n°2 sur le triple nuls : 1 : **ATT SET IMU** sur **GDC** puis bouton **GDC ALIGN** simplifiant de ce fait son interprétation. Pour présenter l'arrière à 45° tribord par exemple on va déramer en lacet de 135°. (180° - 45°) Faire tourner le vaisseau en lacet pur avec la touche **1 num**. L'orientation de la sphère FDAI en final est montrée sur la Fig.108 qui donne également une idée de l'éclairage qui en résulte sur la peau de notre CSM. On a obtenu cette orientation en faisant tourner bien à plat. Toute rotation parasite en cabrage ou en roulis est annulée immédiatement. Quand le cercle rouge passe plein centre, on a tourné de 90°. Il suffit de laisser encore bouger pendant 45° et l'on stoppe tout mouvement. Pour l'interprétation de ce que



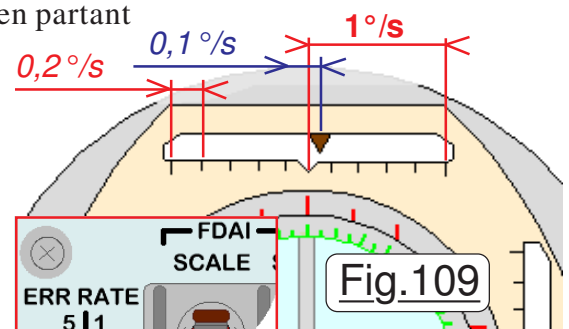
l'on voit sur la sphère en Fig.108 il suffit de remarquer que l'on aboutit à $360^\circ - 45^\circ = 315^\circ$ qui est précisément la valeur montrée par les graduations sur la boule. (Cercle de 315° : Situé entre le cercle 300° et le cercle 330°) Une fois le vaisseau correctement orienté par rapport au

Soleil, il faut engager la lente rotation de 0,1° par seconde préconisée par la procédure. Pour bien comprendre le principe de la régulation thermique, passez en vue extérieure, orientez la vue comme montré sur la Fig.108 puis **[F4]** suivi de **Camera..** > **Track** avec l'option **Movable global frame**. Provoquez un roulis "relativement rapide". On observe parfaitement le mouvement de "tournebroche" du CSM. Dans la réalité, la tuyère projette une ombre qui n'est pas visualisée par NASSP. La NASA a choisi une "valeur dérisoire" en rotation pour des raisons de confort de l'équipage. Si le vaisseau tourne, à bord tout objet mis en mouvement ne se déplace plus en ligne droite, mais sur une trajectoire d'autant plus courbe que la vitesse de rotation est importante. De plus, des effets physiologiques très désagréables se font sentir sur les hommes quand ils tournent la tête par exemple. Pour finir, le moyen le plus radical pour rendre l'équipage malade consiste à faire tourner énergiquement le vaisseau ... Mal de mer garanti. N'oubliez jamais que vous êtes exempté des effets dus "aux mauvais G" mais pas l'équipage.

Interpréter les index des FDAI sur les échelles linéaires. (Encore une révision !)

Condition préalable à toute action concernant les orientations et les manœuvres de rotation : Savoir interpréter sans bavure les informations affichées sur les instruments de bord. Nous avons déjà effectué des exercices détaillés concernant l'interprétation des FDAI, mais un petit rappel est certainement le bienvenu. Quand on adopte la sensibilité **511** sur **SCALE** de **ERR RATE**, comme montré sur la Fig.109 la déviation à pleine échelle pour le Roulis correspond à 1°/s alors qu'il est de 5°/s pour les deux autres axes. Entre deux graduations le taux de variation n'est alors que de 0,2°/s toujours repéré en rouge sur le dessin. Le protocole de régulation thermique passive préconise la moitié. Si l'on désire une rotation deux fois plus faible, l'index sera alors situé à peine à une demi-graduation en partant

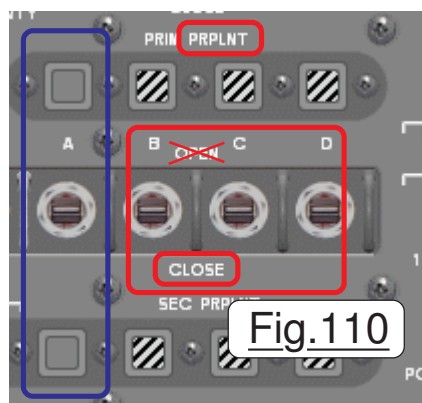
de la zone neutre comme représenté en bleu sur l'illustration de gauche. Nous sommes donc confrontés à un épineux problème : Comment arriver à doser une valeur si faible par des "moyens légaux", alors que toute petite tentative de titiller les RCS du CSM engendre immédiatement un décalage d'une graduation ou plus ? Par "moyen légaux" je fais allusion à l'interdiction de faire appel au ralentissement temporel pour




Page 124 doser finement les rotations. C'est INTERDIT !

Ajuster la rotation en roulis à 0,1°/s.

Pour comprendre la technique toute simple qui va permettre de résoudre cet épineux problème, passez en vue extérieure et placez la caméra d'observation de façon à bien voir les moteurs RCS du module de service. Consultez la documentation **TECHNOLOGIE DES MISSIONS APOLLO** en page 14 sera certainement une bonne idée pour situer à nouveau la position des divers groupements des moteurs de manœuvre. Actionnez plusieurs fois les touches **4 num** et **6 num**. Vous constatez, mais ce n'est pas une surprise, que les quatre Quads sont mis à contribution, et ce pour les deux sens de rotation. La solution consiste à couper l'arrivée des ergols sur trois des quatre groupes de moteurs. L'efficacité



sera ainsi divisée par quatre et les réactions bien plus douces. Il suffit comme montré sur la Fig.110 de forcer sur **CLOSE** les inverseurs à rappel central des Quads **B**, **C** et **D**. Les drapeaux associés affichent . On a laissé le Quad **A** actif. N'importe quel groupe conviendrait pour réaliser cette phase du protocole en cours, et comme nous n'avions aucun critère particulier ... j'ai opté pour l'ordre alphabétique. Repassez en vue extérieure et sollicitez encore à plusieurs reprises les touches **4 num** et **6 num**. Comme prévisible, seul le Quad "du haut" s'allume les autres restant inertes. Quand on passe en vue intérieure, on vérifie que l'ajustement à une valeur précise du taux de roulis est devenu un jeu d'enfant. Il faut entre quatre et cinq actions rapides sur **4 num** et **6 num**

pour atteindre un taux correspondant à une graduation lorsque les FDAI sont à leur maximum de sensibilité. Caler la rotation à 0,1°/s devient très facile, d'autant plus qu'une valeur rigoureuse n'est pas du tout exigée, seul l'ordre de grandeur importe. La fin de la procédure de régulation thermique s'achèverait par la mise hors service des RCS. Mais dans le cadre de cette formation on enchaîne directement sur :

Vérifier les indicateurs de tendance sur les FDAI.

Chaque fois que nous avons tenté de vérifier la précision du travail des programmeurs de NASSP nous avons constaté la qualité magistrale de leur travail. Alors aller vérifier si les FDAI sont conformes aux spécifications de la NASA et aux inscriptions sur les tableaux de bord est parfaitement stérile. Pourtant nous allons commettre cette infamie. En effet, tout système à bord d'un vaisseau aussi complexe que le CSM peut entrer en dysfonctionnement, et généralement sans prévenir et surtout sans nous en avertir. C'est la raison pour laquelle toute manœuvre qui engage la suite de la mission impose au préalable de multiples vérifications. Ces dernières font partie intégrante de la formation d'astronaute.

Toujours dans la configuration précédente, engagez le vaisseau dans un taux de rotation en roulis de 1°/s, c'est à dire amenez le curseur de roulis en fin d'échelle. Contrez la cabrage parasite. Le lacet induit ne peut être annulé puisque nous n'avons plus qu'un seul Quad en service, mais ce ne sera pas pénalisant pour notre expérience, le dérapage restant très faible. Puis, conjointement avec **[MAJ]**, cliquez sur le bouton poussoir **GDC ALIGN** qui reste enfoncé. Le gyroscope du FDAI n°2 est ainsi figé sur le "triple zéro". Observez attentivement le compteur de mission sous le témoin ABORT. Quand les secondes affichent exactement **00** cliquez sur **GDC ALIGN** pour libérer le gyroscope. Notez la valeur des minutes. Vous pouvez alors utiliser l'accélération temporelle par 10 car le vaisseau met 360 secondes pour effectuer un tour complet soit exactement six minutes. Quand l'index de roulis est presque revenu à sa position de départ revenir à l'écoulement normal du temps. Attendre que la sphère sur le FDAI effectue une rotation complète, l'index de roulis revenant exactement à la verticale et passer immédiatement en PAUSE. Pour ma part le début de la mesure marquait **46 00** et la fin **52 07**. Le vaisseau a donc effectué une rotation en 367 secondes ce qui atteste d'une fiabilité parfaite de la chaîne fonctionnelle de rotation en roulis. N'oublions pas que le curseur est "pixellisé" ce qui nous empêche de le placer rigoureusement en fin d'échelle. Pour achever cet exercice, passez la sensibilité de **SCALE** sur **515** et augmentez le roulis jusqu'à 5°/s. Cette fois une rotation complète va exiger $360 / 5 = 72$ secondes. C'est exactement ce que l'on constate sur l'écran, les instruments sont donc fiables et tolèrent le passage à la suite normale du plan de mission. Pour la sensibilité **5015** nous allons faire confiance à la technologie. Déjà à 5°/s les sensations à bord sont désagréable. Il suffit de regarder à l'extérieur par le hublot d'écoutille. Imaginez alors un objet qui se déplace à bord. Comme il est non guidé il va en ligne droite par rapport à l'univers. Sa trajectoire est donc rectiligne par rapport aux étoiles. Vous imaginez ce qu'elle devient à bord ? Multipliez par 10 et préparer de quoi laver la cabine, car les estomacs vont protester et la sanction ne va pas tarder ! **Page 125**

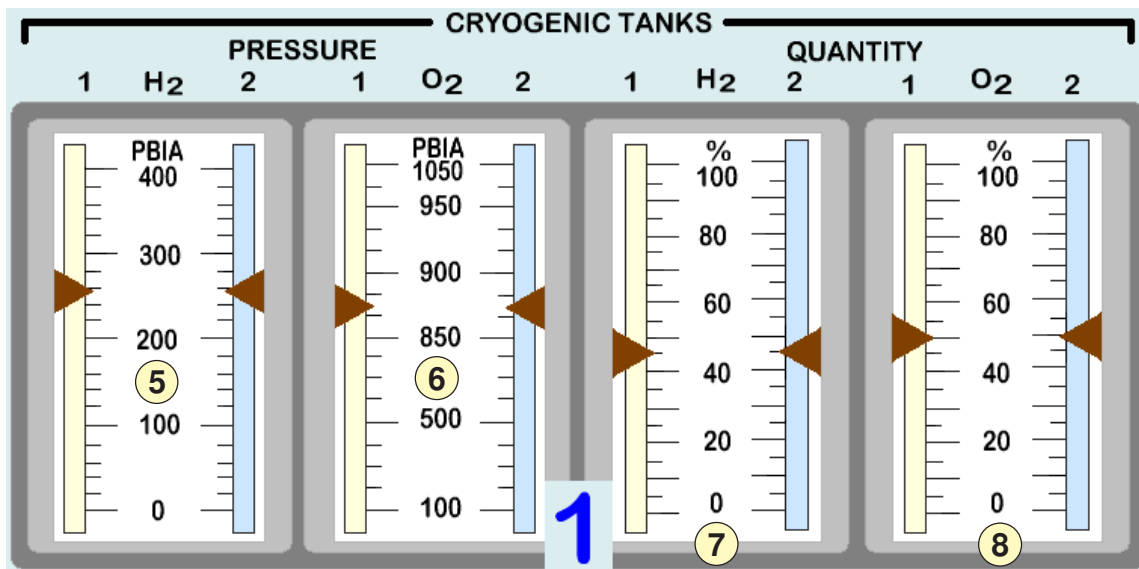
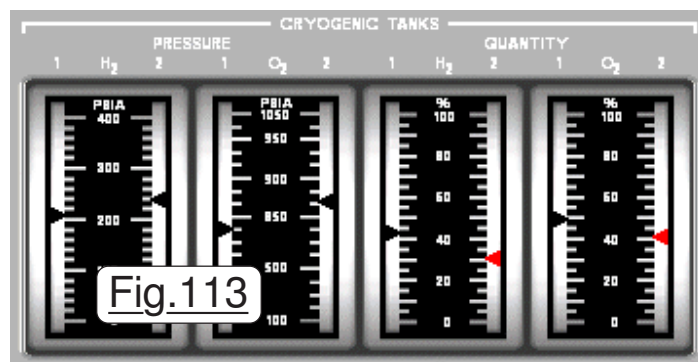


Fig.112

que l'action soit automatique ou manuelle. On va générer volontairement un déséquilibre de puisage dans les combustibles, sachant que ce phénomène était réel durant les longues missions et imposait une intervention de l'équipage. Passez en position centrale les quatre inverseurs du groupe 1. Mettre en service tout ce qui consomme du courant électrique : la machine à café, (*Elle est déjà sur MNA bande de Dudules !*) la vectorisation du SPS, la recharge de la batterie A par exemple, les deux ventilateurs de cabine, le réchauffage des RCS du CM, le réchauffage des buses d'évacuation urines et eaux usées sans oublier **LINE HTRS A/B** pour le SPS. Bref, tout ce qui à bord va permettre d'augmenter la consommation électrique. (*À ce petit jeu nous n'avons pas intérêt à ce que Popol ne passe dans le secteur. Fermez-bien l'écrou du simulateur*) On commence à titiller les 60 ampères sur MNA et 30 ampères sur MNB. Les piles à combustibles vont soutirer un maximum dans les réservoirs de combustibles. Au bout d'environ 1 h 35 minutes, **CRYO PRESS** s'illumine car les pressions pour H2 et pour O2 sont devenues trop faibles et sortent de la normalité. Laissons l'expérience se poursuivre, mais avant de constater une différence significative de niveau dans les réservoirs il faut plusieurs heures. Le problème c'est que l'ordinateur n'aime pas passer à plus de **10 x**. Vous pouvez tenter le coup, mais personnellement j'ai préféré prendre mon mal en patience. Pendant que le simulateur fonctionne en tâche de fond sur l'écran vidéo n°2 j'en profite



pour vous mettre au propre les manuels de vol, et surtout d'aller me restaurer car j'ai déjà passablement dépassé l'heure du repas ! L'expérience se déroulant en **10 x** vous allez constater assez rapidement que les canalisations de la vectorisation du SPS vont surchauffer, l'indicateur **[SPS PRPLNT TANK] TEMP** finit par passer en butée haute. Mais "mauvais nous sommes" et l'on ne fait rien pour contrer ce problème. Les flux dans les trois piles à combustibles sont importants traduisant une forte activité de leur part. Compte tenu de la demande, la régulation fait monter la pression dans le réservoir O2 vers 925 PSIA pour faire face à la demande. Ceci dit, si certains organes du matériel sont volontairement malmenés, on constate que globalement la machinerie du CSM résiste remarquablement. Il est prévu avec de fortes marges de sécurité. Si vous avez la patience d'attendre 15 heures à ce régime, les indicateurs vont atteindre l'état représenté sur la Fig.113 dans laquelle on voit bien que les deux réservoirs n°2 sont nettement plus vidés que leurs homologues resté au repos.

EXERCICE n°2 : Rétablir rapidement la pression d'un réservoir cryogénique.

En conclusion de l'exercice précédent : Pour assurer une consommation homogène sur les réservoirs cryogéniques il suffit de couper le réchauffage et le brassage sur ceux qui sont les plus consommés. Redevenons raisonnables et coupons tous ces gloutons énergétiques qui scandaleusement gaspillent nos pauvres réserves de survie. Si vous coupez proprement tout ce qui avait été stupidement mis en circuit, la consommation sur MNA doit retomber à 40 ampères et MNB à 24 ampères. Puis, forcez sur la position basse **ON** les quatre inverseurs de la section 1 pour rétablir la pression dans ce groupe

cryogénique. En à peine un peu plus d'une minute le témoin **CRYO PRESS** s'éteint car on retrouve rapidement la pression minimale. Notez au passage que le réchauffage et le brassage de deux réservoirs consomme allégrement 10 ampères sur les circuits électriques. Mais attention, en moins de 10 minutes **CRYO PRESS** s'éclaire à nouveau car cette fois la pression dépasse le seuil autorisé. Quand vous constatez un tel incident, il faut immédiatement couper le réchauffage sur les réservoirs concernés. mais dans cette expérience, laissez la situation se dégrader. Quinze minutes après avoir forcé le chauffage, le réservoir d'oxygène voit son indicateur de pression se bloquer en butée. Coté hydrogène l'escalade se poursuit. Trente cinq minutes à ce régime et l'index arrive à son tour en butée. Ne rien faire est suicidaire, car en surpression les réservoirs sont de vraies grenades dégoupillées. En fait, dans la réalité des soupapes de sûreté permettaient de soulager le matériel, mais toute éjection vers l'extérieur est une perte définitive d'énergie. Alors vous comprenez facilement que gérer ce type d'incident et ne pas le laisser dégénérer relève du pléonasme. L'équipage intervient dès qu'une alerte se déclenche.

En cas de surpression dans les réservoirs d'H₂, on peut provoquer une purge de la pile (*Voir exercice suivant*) ou augmenter la demande en puissance. Dans le cas d'une surpression dans le réservoir d'O₂, les solutions sont les mêmes, mais on a en outre la possibilité d'augmenter manuellement la demande d'O₂ dans l'habitacle en utilisant la vanne 7 : **DIRECT O₂** par positionnement sur **OPEN**.

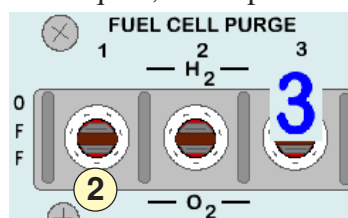
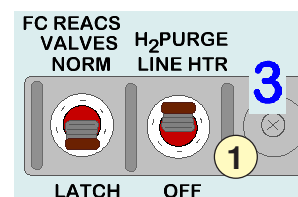
Pour ce qui relève du témoin **CRYO PRESS**, que ce soit par dépassement positif ou négatif de la fourchette de pressions autorisées, vous savez maintenant ce qu'il importe de faire. Par ailleurs vous savez également équilibrer les niveaux des réservoirs cryogénique. Coté piles à combustible il ne nous reste plus que :

MAINTENANCE DES PILES À COMBUSTIBLE :

Compte tenu du régime de surcharge auquel les piles à combustibles ont été soumises durant l'expérience du chapitre précédent, un minimum de maintenance s'avère indispensable. Trois types de procédures sont utilisés régulièrement durant une mission lunaire : Mise au repos de deux piles sur trois, purge de l'hydrogène et de l'oxygène de ces dernières ou les cycles de brassage cryogénique. Ces actions routinières ne sont pas du tout compliquées à mener, les check-lists sont suffisantes pour y arriver.

EXERCICE n°1 : Purger l'hydrogène des piles à combustible.

Nous pourrions commencer indifféremment par la purge Oxygène ou par la purge hydrogène, mais une logique de cohérence impose d'effectuer successivement les deux opérations. Pour nous trouver dans des conditions expérimentales identiques, on fait appel par originalité à **36) Apollo 7 à 135 h.scn** dans laquelle cette fois on conserve précieusement l'affichage sur le DSKY. En effet, la check-list du manuel **SERVITUDES OPÉRATIONNELLES** en **Page 9** implique l'utilisation du **[MISSION TIMER]** devant être précédé nous le savons d'un **V16 N65 E** pour vérifier la cohérence du CMC. Ce dernier permet ensuite de restituer l'heure MET. Étant déjà à l'affichage, autant le conserver. On va dans ce qui suit décrire la purge de la pile à combustible n°1. Vous pourrez ensuite facilement purger les deux autres à titre d'exercice de complément. L'affichage sur le **[MISSION TIMER]** et l'horloge du CMC sont identiques, on va pouvoir chronométrer sans perte de la valeur MET. On place l'inverseur **1** vers le haut



sur la position **LINE HTR** et après avoir effectué un **RESET** on redéclenche le **[MISSION TIMER]**. Bien qu'il soit intitulé **H₂ PURGE**, ce préchauffage agit également pour le circuit oxygène. Comme on débute une séquence de filtrage, conformément au manuel il faut patienter durant 20 minutes. Autant se précipiter sur notre bienfaiteur temporel **10 x**. Quand notre chronomètre affiche **000 20 00**, on positionne sur **1** le sélecteur rotatif **3 : FUEL CELL**

INDICATOR. Puis, on commute également sur la position **1** dans la zone **FUEL CELL** le sélecteur rotatif **DC INDICATORS**. Passez alors l'inverseur **2** vers le haut sur la position **1** qui active la procédure sur la pile n°1. Immédiatement **FC 1** s'allume et l'alarme sonore se déclenche. Acquiescer pour la calmer. On constate sur **3 : [FUEL CELL] FLOW ind H₂** que l'index va en butée maximale. La valeur sur l'appareil de mesure **3 : [FUEL CELL] FLOW ind O₂** augmentation d'environ 5 graduations. Le courant continu débité par cet élément chute d'environ 8 ampères, le voltmètre **DC VOLT** va en butée maximale. Tous ces constats sont normaux et conformes au phénomène de purge. Il faut chronométrer 1 minute 20 secondes à ce régime puis replacer **2** sur la position centrale **OFF**. On peut passer directement à la purge en oxygène, raison

pour laquelle on ne coupe pas le réchauffage des circuits et que **1** est laissé en place.

EXERCICE n°2 : Purger l'oxygène des piles à combustible.

Comme l'on vient d'effectuer une filtration hydrogène, les circuits sont chauds et l'on gagne les vingt minutes de début de protocole. On comprend pourquoi enchaîner toutes les purges est avantageux, d'autant plus que le réchauffage n'est pas gratuit, c'est autant d'énergie économisée. Les indicateurs sont déjà initialisés, il suffit en définitive de faire passer l'inverseur **2** en position basse sur **O2**. L'affichage sur **3** : **[FUEL CELL] FLOW ind H2** augmente de 4 graduations, celui de **3** : **[FUEL CELL] FLOW ind O2** de 10 unités. Le courant continu débité par cet élément chute encore d'environ 8 ampères, **DC VOLT** va en butée maximale et **FC 1** s'allume avec alarme sonore. Naturellement, comme pour la purge d'hydrogène, ces observations sont normales. Il faut chronométrer 1 minute 20 secondes dans cette configuration, puis replacer **2** sur la position centrale **OFF**. À ce stade on peut envisager de passer à la purge d'une autre pile. Dans ce cas il faut attendre cinq minutes et engager sa purge en Hydrogène. Soit les trois piles sont traitées et dans ce cas il faut couper le réchauffage en passant **3** : **H2 PURGE LINE HTR** sur **OFF**. J'imagine que vous avez tous compris que le recalage du **[MISSION TIMER]** ne se fait qu'une seule fois à la fin de toutes les opérations de filtration. Ce recalage n'est pas un impératif de haute priorité, mais avoir la valeur MET affichée en permanence est une sécurité de sauvegarde du temps. Une fausse manipulation est toujours possible sur le calculateur. Préserver l'heure de mission sur plusieurs sources va dans le sens rassurant de la redondance. En conclusion de ces deux exercices sur la maintenance des sources d'énergie principales du vaisseau, le tableau donné ci-dessus relate pour la mission Apollo 11 les diverses phases de purge. Vous constaterez qu'il n'y a pas forcément enchaînement H2 / O2. Par ailleurs il faut purger plus souvent en oxygène qu'en hydrogène. La vérité historique est rétablie ...


APOLLO 11 FLIGHTPLAN

023:10:00	FUEL CELL H2 PURGE
023:40:00	FUEL CELL O2 PURGE
034:40:00	FUEL CELL O2 PURGE
050:30:00	FUEL CELL O2 PURGE
071:00:00	FUEL CELL O2 PURGE
085:30:00	FUEL CELL O2 PURGE
096:00:00	FUEL CELL H2 PURGE
096:40:00	FUEL CELL O2 PURGE
131:31:00	FUEL CELL O2 PURGE
151:00:00	FUEL CELL H2 PURGE
151:00:00	FUEL CELL O2 PURGE
171:20:00	FUEL CELL O2 PURGE

EXERCICE n°3 : Placer les piles à combustible au repos.

Après d'intenses périodes d'activités, nous avons tous besoin d'un peu de repos. Il en va de même pour les piles à combustible. À certaines phases de la mission la puissance électrique exigée augmente significativement. Les piles à combustibles fonctionnent alors à plein régime. Il est bon suite à ces phases, quand la demande se fait plus discrète, de les placer en veille pour qu'elles puissent retrouver une parfaite disponibilité, et que les processus chimiques et physiques soient rétablis à leurs pleins potentiels. La procédure est simple à mettre en œuvre, il suffit de suivre ligne à ligne la check-list de **SERVITUDES OPÉRATIONNELLES** en **Page 08**. On se refait le coup de la **PUB 36) Apollo 7 à 135 h.scn** car visiblement, à raison de six à sept fois par soirée il faut des mois pour que les téléspectateurs arrivent à comprendre cette brave "Cerise" ! Nous allons dans cet exercice mettre au repos les piles 2 et 3 et faire assurer à la n°1 toute la charge de travail durant cette période. Pourquoi les 2 et 3 ? Principalement la 3, car elle débite un courant plus important que les deux autres depuis des heures. Il est commode de le vérifier par consultation des flux qui les traversent en observant la déviation des index sur **A** de la Fig.9 en page 9. Du reste nous voyons bien que les températures la concernant sont légèrement plus élevées. Le protocole prévoit une heure de mise en veille, il n'est pas impératif de perturber le **[MISSION TIMER]** pour effectuer le chronométrage. Il suffit de noter l'heure de début dans le "livre de bord" et d'en déduire l'heure de fin. C'est d'autant plus pertinent que la procédure n'en est pas à quelques secondes près.

Commutez le sélecteur **3** : **FUEL CELL INDICATOR** sur la pile **1**. Quand on bouge le commutateur rotatif **3** : **sel DC INDICATORS** entre **FUEL CELL** position **3**, **2** puis **1** on constate que les débits actuels sont respectivement de 30A, 24A et 24A. Passons la pile n°3 au repos :

• **3** : **[FUEL CELL] sw MAIN BUS B** basculé vers le haut sur **1**. Le drapeau passe en état de  et confirme que la pile n°1 commence à prendre en charge l'énergie à fournir sur le bus MNB. L'ampèremètre monte à 40A. Si vous commutez **3** : **sel DC INDICATORS** sur la position **3**, de 30A initialement le débit est descendu à 16A confirmant le transfert de charge vers la pile sollicitée en remplacement. **"Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se partage"**, car les trois piles forment une équipe soudée. Tout ce que l'un des éléments abandonne est repris ipso-facto par les deux autres.



C'est une poubelle ce CSM version 36 ! Les brassages ne sont pas sur AUTO, FC REACS devrait être sur LATCH, la machine à café chauffe, yapas un seul tableau qui soit correct. VOUS VOUS FOUTEZ DE Mômôa NON ?

OUPS, l'a fini de faire sa déclaration de revenus le Popol ! Dire que pendant 21 pages on était si pénards, faut à nouveau tout surveiller ... Hipsss

• 3 : [FUEL CELL] MAIN BUS B sw 3 basculé vers le bas sur -OFF-. Le drapeau associé passe en . La n°3 n'est plus reliée aux bus principaux et ne débite plus qu'un courant de 4A "résiduel" sur diverses servitudes qui lui sont encore reliées. Par contre le flux traversant la pile n°1 fait un bond "vers le haut". Si vous consultez le courant débité par cet élément, il passe à 50A, il n'y a pas de miracle.

Popol accepte une expérience déraisonnable dans le cadre de cette formation. Nous pouvons persister dans cette voie qui confine à de l'exagération outrancière. Nous n'allons pas tenir compte de l'avertissement que nous montrent les instruments de mesure, comme si négligents, nous ne les avons pas correctement positionnés pour surveiller l'évolution du processus. Coupez la pile n°2 qui passe en RTT :

• 3 : [FUEL CELL] MAIN BUS A sw 2 basculé vers le bas sur -OFF-.

OUPSSSS !!! Un petit clic pour un grand choc ! Les six drapeaux passent simultanément en . Tous les indicateurs de [FUEL CELL] se coupent ... gros problème. Que s'est-il passé ?

En standard, on ne procède pas à la mise en veille des piles à combustible durant les demandes importantes d'énergie sur les bus. Si on estime qu'il y a urgence, on peut le faire, mais sur un seul élément à la fois. Dans notre exemple il était possible de mettre en repos la pile n°3, mais pas les deux éléments simultanément. La bonne méthode aurait été de commencer à couper tous les consommateurs inutiles laissés un peu partout n'importe comment, d'où la colère de qui vous savez. Il y a publicité mensongère quand Nulentout prétend en haut de la page 114 que la scène est "parfaite". D'un autre coté ... c'est de la PUB.

Non ! On ne va pas solliciter CAPCOM au moindre incident. Avant d'appeler Maman HOUSTON au secours nous allons assumer et nous débrouiller comme des grands. La première idée qui vient à l'esprit consiste à immédiatement replacer l'inverseur "fautif" dans sa position initiale vers le haut. BERK, l'ensemble du tableau de bord frétille avec de beaux clignotements multicolores partout, mais comme le système a globalement disjoncté, dès qu'on libère l'inverseur tout retombe dans le néant. Pourquoi ce refus d'accrocher ? La réponse n'est pas compliquée. L'appel de courant était trop important pour être assumé par une seule pile à combustible. Hors tous les bus sont disjonctés sur les trois éléments. Vouloir en réarmer un provoque une trop forte intensité avec pour sanction une disjonction immédiate. Il faut impérativement alléger la demande énergétique du vaisseau, et ce d'autant plus facilement qu'il y a une sombre exagération dans la configuration actuelle :

• Coupez POT H2O HTR, la ventilation cabine ainsi que tous les réchauffages et brassages cryogéniques.

Avec ces mesures un réenclenchement est déjà possible. Limite, mais envisageable.

• Toujours sur le tableau 2 coupez les quatre réchauffages des RCS du SM.

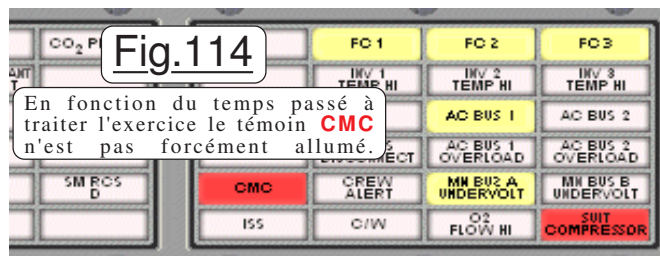
• Sur le tableau 100 éteindre NUMERICS et couper [G/N POWER] sw OPTICS à placer sur OFF.

• Sur le tableau 4 passer [TELECOM] GROUPE 1 sur OFF.

C'est bon, vous pouvez réenclencher 3 : [FUEL CELL] MAIN BUS A sw 1. Son drapeau affiche et surtout les circuits restent en ligne. Mais comme montré sur la Fig.114 ce n'est pas franchement la joie.

Ceci dit, pas de quoi s'affoler, nous savons que tous ces systèmes ne sont pas simultanément en panne. Il suffit de rétablir leur alimentation électrique.

C'est parti, on va montrer à qui vous savez de quel bois on se chauffe. Commencez par couper l'alarme sonore. Puis immédiatement réactivez la pile n°2 sur le bus MNA pour décharger un peu celle qui actuellement permet le redémarrage. Immédiatement le flux qui traverse la pile n°1 chute à une valeur "presque faible". Il est alors possible de réarmer MNB avec 3 : [FUEL CELL] MAIN BUS B sw 1. Des témoins s'éclipsent du tableau des alertes. Activez 3 : [FUEL CELL] MAIN BUS B sw 2 pour équilibrer les charges de travail. Cliquez sur les inverseurs de RESET piles à combustible et génération de courant



alternatif. Il ne reste plus que CMC d'allumé. C'est le prix à payer pour avoir été d'une grande négligence. Il faut réinitialiser le calculateur, recalibrer la centrale inertielle ... Bref, prochaine mise en repos des FUEL CELL vous procéderez avec plus d'attention.

Ben Mômôa je ne savais pas qu'ils se chauffaient au bois dans le CM d'Apollo.

EXERCICES DE BASE SUR LE CONTRÔLE D'ATTITUDE :

Dans les chapitres où nous avons utilisé l'orientation automatique du vaisseau avec la procédure **V49** nous avons déjà mis à contribution les automatismes de contrôle d'attitude. Du reste, nous avons constaté à leur mise en œuvre une tendance à la surcompensation qui comme montré sur la Fig.115 pour du cabrage se traduisait par des oscillations amorties jusqu'à arriver à stabiliser dans l'attitude désirée. Pour éviter ce phénomène gênant nous étions arrivés à la conclusion qu'il était préférable d'orienter le vaisseau en mode manuel, puis une fois positionné approximativement sur les trois axes, confier la phase finale précise aux automatismes. Cette façon de faire est d'autant plus conseillée que durant l'orientation en mode manuel nous focaliserons notre attention pour ne pas risquer un blocage de la centrale inertielle par alignement de ses cardans.

Surcompensation par les automatismes.

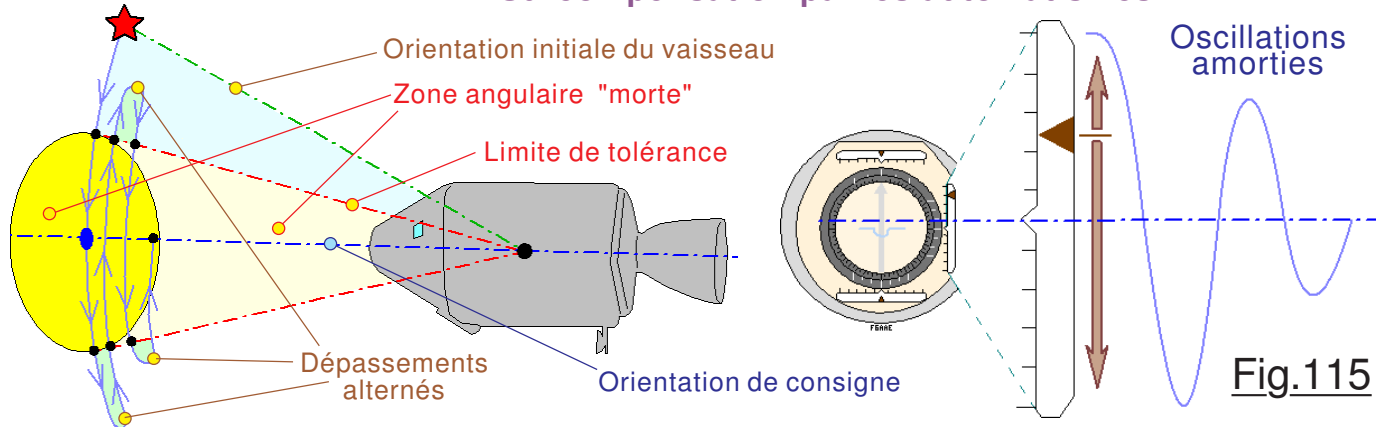


Fig.115

Concrètement, dans les systèmes électroniques et informatiques, l'assiette désirée est comparée par le calculateur aux angles réels des cardans d'orientation de la centrale inertielle. Des signaux d'erreur sont alors générés pour piloter les aiguilles de tendance sur les FDAI. Ces signaux sont également utilisés par les automatismes de guidage qui pilotent les RCS en vue d'effectuer des corrections d'attitude. Plusieurs modes de fonctionnement sont prévus. La Fig.48 en page 35 de **TECHNOLOGIE DES MISSIONS APOLLO** montre par les tracés verts la gestion manuelle d'attitude, en bleu l'intervention automatique des systèmes de guidage et en rose les retours de boucle d'asservissement issus des systèmes gyroscopiques et de la centrale inertielle. La Fig.50 en page 36 est plus détaillée en ce qui concerne le "dialogue homme/machine". Que ce soit directement par le biais des mini-manches (*Pour nous les touches du pavé numérique au clavier*) ou par des consignes données au calculateur, les RCS sont pilotés par les voies montrées en vert. Il y a toujours des retours d'informations par le biais de la DYNAMIQUE, autrement dit du comportement du vaisseau qui influence les capteurs de bord. Ces informations sont alors prétraitées par l'IMU qui les délivre au CMC. Ce dernier, en fonction du programme en cours génère alors des consignes vers les interfaces qui pilotent les RCS, ou les moteurs principaux du SM ou de l'étage S IV-B. Enfin il sera certainement utile de consulter un minimum la Fig.52 qui détaille les interactions entre les systèmes de navigation et les informations qui sont visualisées sur les FDAI à l'attention de l'équipage.

EXERCICE n°1 : Révisions sur la mise en service du pilote automatique.

Pour cette prise de contact avec les ensembles de gestion de l'attitude, on va donner dans le "réchauffé", car mettre en service le DAP n'est pas nouveau. Pour cet exercice on va changer de situation, car la n°36 doit commencer à vous gaver un tantinet. **38) Tester le contrôle d'ATTITUDE.scn** nous place sur une orbite circulaire de 301 km d'altitude et rien dans les environs. Pas de crainte de collision avec l'étage S IV-B d'Apollo 7. Le vaisseau est en configuration "propre" et les RCS sont disponibles. En préambule à l'expérimentation du système d'aide à la stabilisation d'attitude, mettons le DAP en service, chose déjà vue en page 87 dans laquelle on avait détaillé le rôle joué par chaque Bit du registre R1.

V16 N65 E histoire de vérifier que le DSKY est bien vivant. L'heure correspond à celle du compteur de mission, c'est toujours rassurant pour la suite et de bon aloi.

V48 E pour invoquer la routine de configuration du pilote automatique DAP.

V21 E 11103 E pour imposer nos préférences aux systèmes d'asservissement.

INTERRO SURPRISE : Expliquez-moi dans le moindre détail ce que l'on fait exactement en soumettant au CMC la ligne de commande précédente. Zavez pas interloché à vous tromper ou vous ne foutez plus les pieds dans le simu jusqu'à tout savoir par cœur.



Mince, si j'avais su j'aurais révisé !

Avec V48 nous faisons appel à la routine informatique développée par **Colossus** dans le programme exécuté par l'ordinateur de guidage d'Apollo installés dans le module de commande. Le clignotement signale que le CMC attend une information de notre part. Ce peut être en fonction de la routine active sur un ou plusieurs registres. VERB 04 précise que R1 et R2 sont affichés en binaire et codés en octal. Donc pour la saisie il ne faut pas de signe, et surtout chaque digit est limité à la fourchette des chiffres comprise entre 0 et 7. NOUN 46 est la variable sur laquelle porte VERB, ici "Autopilot configuration". V21E invoque la routine de saisie d'une valeur dans le registre de mémoire vive R1. Comme l'on effectue une saisie en octal il ne faut surtout pas de signe. Le premier 1 précise que nous sommes en CSM seul sans LM et sans S IV-B. Les deux autres 1 imposent d'utiliser les Quads A/C et B/D, autrement dit tous les RCS. Le 0 précise que la tolérance d'attitude sera de 0,5°. Enfin le Bit de poids faible codé 3 permet des taux de rotation jusqu'à 2°/S ce qui ne serait vraiment pas prudent si le LM était accouplé au CM. C'est bon CHEF ?

Fastoche Pop... CHEF !



Mouaisss, c'est un peu limite, mais pour cette fois ça passe. Continuez de m'activer ce déhappéé !

P P P pour mettre à jour les consignes dans la mémoire du calculateur, attendre l'allumage puis l'extinction de **COMP ACTY** si l'on ne veut pas se prendre un **OPR ERR** puis **V 46 E** pour terminer l'activation du pilote automatique. On peut continuer nos révisions et passer aux consignes d'attitude.

EXERCICE n°2 : Révisions sur le pointage précis dans le REFSMMAT.

Toujours dans le cadre bien douillet des révisions, manipulation dans lesquelles on ne risque pas trop les colères de Qui vous savez, on va réutiliser V49 dont la check-list se trouve en Page 46 de **SERVITUDES.pdf**, les deux premières lignes étant déjà traitées. Passez en revue l'intégralité des items relatifs au positionnement des inverseurs disposés sur le tableau 1. Si personne n'a tripoté les boutons, en principe tout est en place. N'oubliez pas / **num** pour vérifier que le système est bien en mode ROTATION.

V16 N20 E P00 V16 N20

+137.13

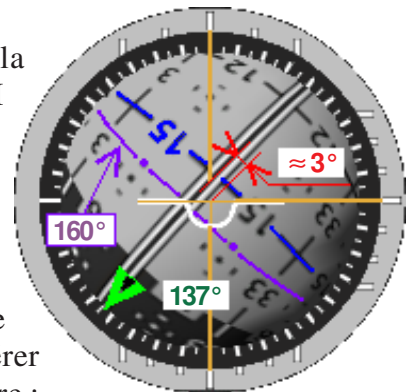
+155.40

+356.74

(Orientation actuelle du vaisseau dans la REFSMMAT)

Fig.116

OK, c'est parfait. Il y a bien cohérence entre les capteurs des cardans de la plate-forme inertielle est le retour d'information pour l'équipage sur le FDAI n°1. La Fig.116 qui représente une copie d'écran surchargée par quelques informations polychromes nous remémore la façon dont on doit lire sur la sphère des FDAI d'Apollo. On peut confier le vaisseau au DAP. Mais avant d'activer le processus, vous savez qu'il faut vérifier la non interférence du système ORDEAL comme souligné en page 39 de ce tutoriel. Pour ne pas engager le vaisseau dans des oscillations sans fin, on va choisir une orientation pas trop éloignée de celle-ci, mais avec des angles faciles à repérer sur la sphère d'attitude, mais cette fois je ne vous détaille plus la procédure :



V49 E V25 E +14000E +16500E +00000 E

P P (Trois fois la commande P si vous avez cliqué trop rapidement) et le vaisseau part en rotation.

Les aiguilles de tendance immédiatement se mettent à gigoter.

Quand les RCS se calment et que le vaisseau semble correctement orienté :

V16 N20 E P00 V16 N20

+140.48

+165.40

+359.75

Vous devez constater des valeurs qui ressemblent à celles recopiées ci-avant. On observe que par rapport aux consignes données à V49 l'écart reste bien dans la marge de 0,5° indiquée comme tolérance d'attitude au DAP dans le Bit codé 0 sur R1.

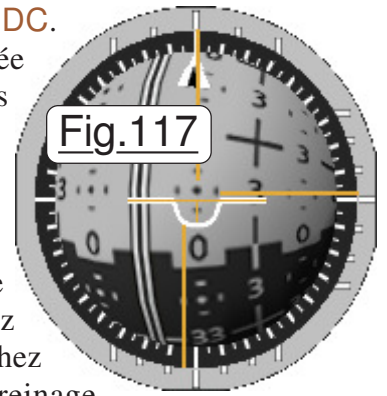
EXERCICE n°3 : Orientation en mode manuel.

Bien que V49 soit actif, à tout moment l'astronaute peut prendre la main et imposer une orientation à sa guise au moyen des mini-manches. Pour tester cette faculté on va caler la sphère du FDAI n°2 au

Page 132 "triple zéro" par usage du bouton poussoir **GDC ALIGN**, directive acceptée par le

système de guidage, l'inverseur **ATT SET** étant positionné vers le bas sur **GDC**.

En utilisant les touches du pavé numérique, imposer au vaisseau l'attitude décalée de 15° en tangage et en lacet par rapport à l'orientation de consigne, décalages obtenus en utilisant le FDAI n°2 comme montré sur la Fig.117 qui de plus nous permet facilement de contrer les rotations parasites. On doit maintenir les touches enfoncées ou le mini-manche incliné pour maintenir le mouvement, car l'automatisme impose un amortissement. Contrairement au fonctionnement libre des RCS, dès que l'on ne force plus une rotation l'asservissement ramène le vaisseau à l'immobilité. Pour comprendre comment réagit le système, imposez un lacet à droite avec un taux de 4 graduations par exemple. Dès que vous relâchez la commande, l'index est rapidement ramené vers le centre en générant un "freinage antagoniste" de même énergie. En résumé, l'automatisme accepte l'orientation que vous lui imposez et cherche à y stabiliser le vaisseau rapidement quand votre commande est replacée au neutre.



EXERCICE n°4 : Révision sur le comportement et l'interprétation du FDAI.

A vant de réaliser l'exercice n°5 on va se faire un petit retour en arrière, car ce qui suit a déjà été rencontré, mais les leçons s'empilent et les évidences finissent par s'évaporer. Un petit vaccin de rappel est certainement souhaitable : Effectuons une petite manipulation simple. Placez au mieux le vaisseau dans l'attitude relative (*Relative par rapport à l'attitude de consigne*) de la Fig.117 puis une fois stabilisé :

V16 N20 E P00 V16 N20

+139.84

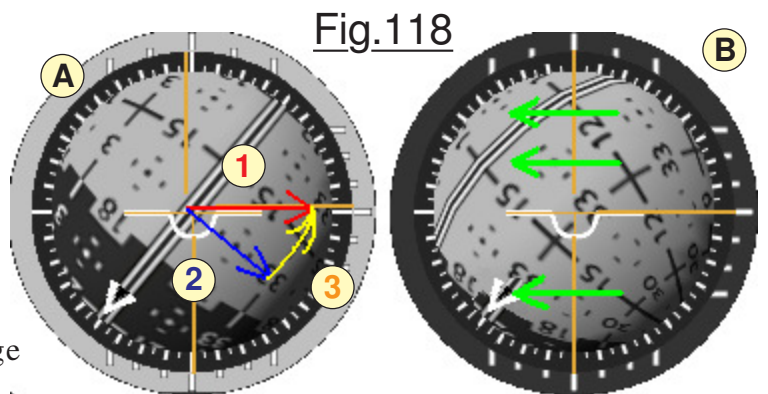
+143.35

+357.68

Nous avons un roulis qui n'a pas changé ce qui rendra plus pertinentes les observations qui suivent. En lacet nous étions sur 000. Comme nous avons décalé négativement de 15° vérifié sur le FDAI n°2 on s'attend à trouver numériquement $360 - 15 \approx 345$. Pour le cabrage on peut espérer un $165 - 15 \approx 150^\circ$.

Hors les capteurs de l'IMU donnent des valeurs bien différentes. R2 fait 143 au lieu de 150 et R3 annonce 358 au lieu de 345. Vu la précision du centrage des deux décalages de 15 degrés, de tels écarts ne sont pas crédibles. D'où vient cette divergence apparente ?

Elle est facile à comprendre. Quand on décale, par exemple en lacet pur, les sphères tournent sur les deux instruments conformément au dessin 3 de la Fig.34 en page 37 de ce tutoriel. La sphère du FDAI n°1 ne se trouve pas dans la position simple du "triple zéro". Donc, conformément à ce qui est montré sur la Fig.118, ce qui pour le vaisseau relève d'une rotation élémentaire engendre sur l'IMU un mouvement sur plusieurs axes. En **A** nous avons l'attitude de consigne initiale. En **B** nous avons décalé en lacet pur et la sphère a tourné autour d'un axe vertical. Le mouvement derrière la lucarne est celui représenté par les flèches vertes. On constate que sur **A**, le point central se décale donc comme montré par la flèche rouge. Il en résulte bien un décalage en lacet tracé en bleu qui se combine à un cabrage représenté en jaune.



EXERCICE n°5 : Retour à la consigne et observation de l'aiguille de tendance.

B ien que nous ayons imposé manuellement une orientation quelconque au vaisseau, l'automatisme a conservé dans sa mémoire les paramètres que nous avons saisi pour V49. On peut donc facilement y revenir. Il suffit dans ce but de réarmer le DAP avec V49 sans en changer les consignes :

V49 E P

Sans délai la machinerie se remet en branle et les aiguilles de tendance quittent le centre des appareils de mesure. Les RCS crachent à tout va jusqu'à revenir aux orientations imposées par la programmation.

V16 N20 E P00 V16 N20

+139.52

+164.49

+359.87

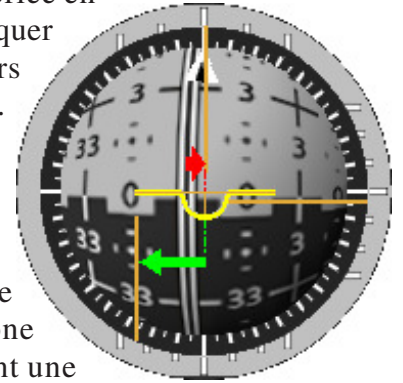
Changeons les consignes :

V49 E V25 E +00000E +00000E +00000 E P P (On programme un "triple zéro") **Page 133**

Conformément à ce que l'on déjà observé à plusieurs reprises, le vaisseau est mis en rotation. Le principe du maintien d'attitude est le suivant :

Le système réagit lorsque les capteurs sortent de la zone de tolérance colorée en jaune sur la Fig.115 de la page 131. Les RCS sont alors sollicités pour provoquer une rotation de rappel. Mais dès que l'orientation fait retrouver des valeurs angulaires comprises dans l'angle de tolérance, les moteurs sont mis au repos. Si à l'activation du DAP par la commande **P** l'orientation était assez éloignée de celle de consigne, le vaisseau est orienté de façon relativement énergique. Alors par inertie il "traverse la zone jaune et dépasse l'angle de tolérance. Les RCS sont à nouveaux mis à contribution et le vaisseau repart dans l'autre sens, d'où les oscillations amorties représentées sur la Fig.115 qui montre

Fig.119



par les points noirs les angles de pénétration en zone neutre et les mouvements de sortie qui imposent une correction d'attitude pour revenir vers la zone morte.

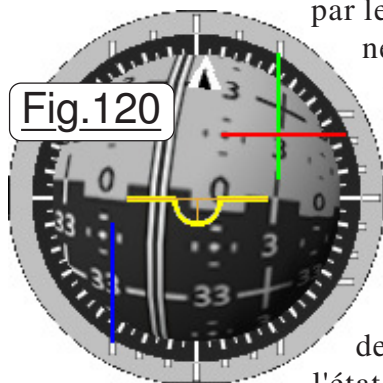


Fig.120

La Fig.119 montre l'état du FDAI n°1 quand il vient de se produire le dépassement en lacet repéré en rouge sur la sphère d'attitude. Comme l'orientation n'est plus respectée, l'aiguille de tendance se déplace de l'autre coté comme mis en évidence par la flèche verte. **Elle montre de quel coté l'angle cible est décalé.** Concrètement, pour piloter en manuel il faut contrer du coté opposé aux aiguilles pour retrouver l'orientation ciblée. Sur l'exemple de la Fig.120 toujours pour une cible de "triple zéro" nous avons actuellement l'état suivant : Le **roulis ciblé est trop à droite**, le **cabrage désiré est trop vers le**

haut et le **lacet programmé** est actuellement **trop à gauche**.

EXERCICE n°6 : Non alignement des cardans de BMAG.

Depuis que l'on évoque le blocage de la centrale inertielle par alignement des cardans, il y a belle lurette que vous avez parfaitement intégré le phénomène. Pour éviter cet inconvénient, il aurait fallu que l'IMU soit équipée de quatre axes indépendants *pour augmenter de 1 son degré de mobilité*. Mais la complexité du matériel serait plus élevée, avec comme corollaire une moins bonne fiabilité, plus une dérive qui s'ajouterait sur le quatrième axe. Les gyroscopes de BMAG n'ont que trois axes, comme pour l'IMU. Hors ils ne se bloquent jamais quand l'orientation du vaisseau centre leur zone rouge. Pourquoi ? La réponse est contenue dans l'expérience simple suivante : Rechargez **38) Tester le contrôle d'ATTITUDE.scn** dans laquelle vous réactivez le DAP et vous programmez à nouveau un "triple zéro". Attendez la stabilisation dans la REFSMMAT. Puis cliquez sur le bouton poussoir **GDC ALIGN** pour que les deux FDAI soient "clonés". On va programmer un mouvement de lacet qui va engendrer le blocage de l'IMU et observer comment se comporte le FDAI n°2 qui est assujéti aux gyroscopes de BMAG :

V23 E +12000E V49 E P P

Le vaisseau part en lacet, et l'on voit sur les deux instruments la zone rouge approcher du collimateur central. Puis **GIMBAL LOCK** s'allume. Le centre de la zone rouge s'approche et c'est la sanction habituelle **MASTER ALARM** avec **NO ATT** qui s'allume à son tour et la sphère d'attitude qui se fige. À bord c'est la consternation. Observez surtout le comportement du FDAI de droite. Quand la zone rouge est presque centrée, elle subit une manœuvre assez brutale d'évitement. Elle contourne l'orientation critique puis se recule dans l'attitude du vaisseau. Pour éviter leur blocage par alignement des axes, des rampes mécaniques écartent les cardans en leur interdisant la situation critique. Par contre, et nous l'avions déjà constaté, une fois l'IMU sans référence, l'asservissement en attitude se débranche et le vaisseau est "laissé à l'abandon".

EXERCICE n°7 : Le coup de la tortue.

(1) Attendre l'allumage puis l'extinction de **COMP ACTY**.

Pour tous les exercices effectués dans ce chapitre nous avons engagé le pilote automatique avec une consigne de manœuvres "nerveuses". Nous savons que le bit de poids faible dans R1 permet de tempérer l'ardeur des RCS pour générer une rotation moins rapide. Pour expérimenter cette possibilité vous allez recharger deux fois **38) Tester le contrôle d'ATTITUDE.scn** coup sur coup et réaliser les deux expériences suivantes pour constater la différence :

Expérience 1 : V48 E V21 E 11103E P P P (1) V46E V49 E V25 E "triple zéro" PP

Expérience 2 : V48 E V21 E 11101E P P P (1) V46E V49 E V25 E "triple zéro" PP

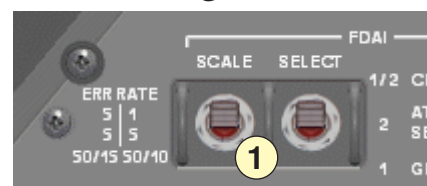
Page 134 Avec l'option **1** la manœuvre est d'une lenteur désespérante, imaginez alors avec **0**.

EXERCICE n°8 : Échelles de déviation des aiguilles d'erreur.

L'exercice n°5 du chapitre précédent nous a expliqué à quoi correspondait la déviation sur l'instrument de gauche. Mais il est probable que vous avez remarqué que sur celui de droite les déviations ne sont pas identiques. On verra pourquoi plus avant dans le prochain chapitre. Revenons sur ce que nous avons déjà assimilé. En Fig.119 et Fig.120 nous avons appris que les aiguilles se décalent du côté où se trouve l'angle ciblé par les automatismes dans la REFSMMAT. Avoir une idée globale de l'écart angulaire est bien, mais en connaître la valeur est mieux c'est l'objet de cet exercice pour lequel on change de crèmerie et l'on charge **39) Triple zéro.scn** qui va vous épargner des manipulations qui doivent commencer à vous peser un peu vu leur aspect répétitif. C'est un clone de la scène 38 dans laquelle le DAP a été activé et le triple zéro stabilisé par usage de V49. Réitérer ces opérations une fois de plus ne vous apporterait pas grand chose, autant prendre un raccourci. Un **V16 N20 E** confirme que l'orientation est dans le cône des 0,5° de tolérance. Touche / **num** pour imposer le mode ROTATION. Pour interpréter les valeurs sur les échelles des aiguilles d'indication d'erreur d'attitude, il suffit de consulter le tableau de **SYSTÈMES APOLLO.pdf** en page 40 reproduit ci-dessous.

ERR RATE (Position)	ROULIS		LACET		CABRAGE	
	DEV	TAUX	DEV	TAUX	DEV	TAUX
Haut (5/1)	5°	1° / sec	5°	1° / sec	5°	1° / sec
Centre (5/5)	5°	5° / sec	5°	5° / sec	5°	5° / sec
Bas (50/15 50/10)	50°	50° / sec	15°	10° / sec	15°	10° / sec

Fig.121



Les inscriptions en rouge et en

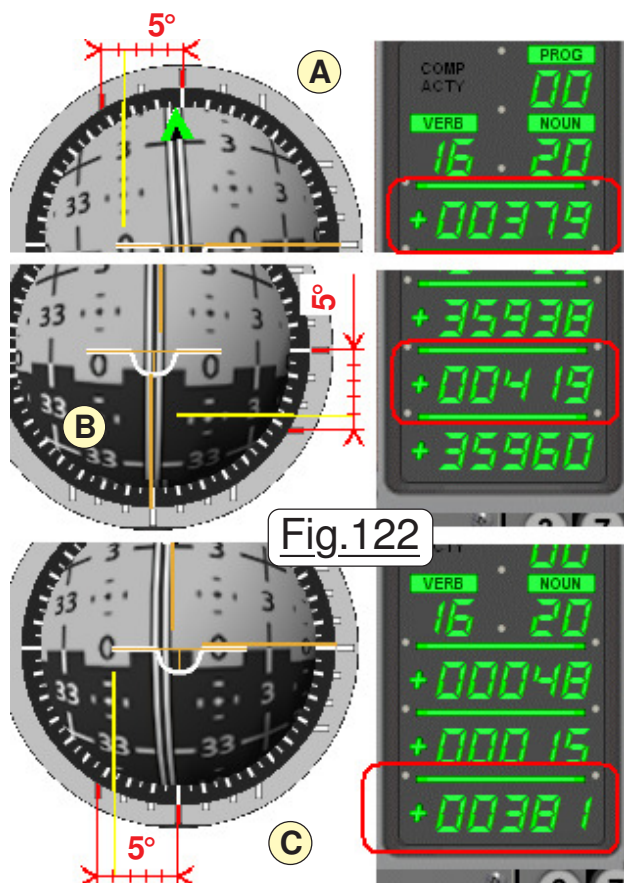


Fig.122

rose pour l'inverseur **1** de la Fig.121 sont relatives à l'échelle de déviation pour les erreurs en attitude, alors que les écritures repérées en bleu et violet sur le tableau concernent les échelles de taux de rotation. On notera que pour le roulis, lorsque la sensibilité est minimale, l'échelle à pleine déviation représente 50° alors que pour lacet et cabrage elle n'est que de 15°.

En préambule à l'exercice qui va suivre, étudions la Fig.122 qui nous propose trois cas différents pour interpréter la valeur de la déviation. Dans ces trois exemples l'inverseur **1** est positionné vers le haut et V16 N20 permet de préciser les valeurs numériques. Dans le cas **A**, l'aiguille est vers la gauche d'environ 3 graduations et demi. On en déduit que l'on s'écarte de zéro de 3,5°. Le DSKY confirme avec la précision de 3,79°. Graphiquement l'index de roulis vert est décalé à gauche d'un peu moins de 5°. Tout concorde. L'exemple en **B** montre une déviation de quatre graduations vers le bas pour le tangage. Notez que pour ces diverses copies d'écran j'ai repéré en jaune l'aiguille d'erreur concernée. Compte tenu de l'amplitude correspondant à la déviation totale, on traduit l'affichage comme étant celui d'un écart de 4 degrés, le DSKY précisant 4,19.

La sphère d'attitude est décalée du zéro d'un peu moins de ma moitié de 10°, il y a cohérence dans toutes ces informations. Enfin, pour le lacet en **C** nous avons encore une déviation de presque quatre graduations. Le "méridien zéro" est décalé à gauche et le DSKY précise une valeur de pratiquement 4°. Le moment est venu pour vous d'effectuer vos propres expérimentations pour observer le comportement des systèmes. Procédure une fois la situation chargée (*Les inverseurs sont tous positionnés*) et avoir utilisé / **num** :

- 1) Décaler d'environ 30 degrés en dérapage à gauche par exemple avec **1 num**. Dès que la touche est relâchée, le système contre pour amortir le mouvement.
- 2) Attendre la stabilisation de l'automatisme vers cet écart de 30° imposé manuellement donc prioritaire.
- 3) **P** : allume **COMP ACTY** et déclenche le rappel vers la consigne mémorisée

de "triple zéro".



Sans lambiner : **V16 N20 E** pour visualiser les angles IMU.

4) Comme nous avons décalé d'un angle notable, arrivé vers zéro le mouvement se poursuit et l'erreur augmente de l'autre côté. L'automatisme recommence ses corrections. C'est à ce stade qu'il faut comparer l'attitude de la sphère, la valeur sur le DSKY et la position de l'aiguille de tendance. Chaque fois qu'elle passe devant les graduations vous effectuez une PAUSE pour avoir le temps de tout observer.

Reprendre cet exercice en (1) pour une déviation en roulis, puis une perturbation en lacet. Ainsi vous allez pouvoir bien assimiler les réactions du système dont une synthèse vous sera proposée plus avant. Lors de vos manipulations, vous allez parfois constater des petites différences entre la position de l'aiguille d'erreur et la valeur affichée par le DSKY. C'est normal, l'intégralité de l'écran n'est pas rafraîchie instantanément, et tout particulièrement le DSKY qui a souvent du retard par rapport au graphisme.

EXERCICE n°9 : Amplitude de déviation des aiguilles de tendance.

Exercice d'une simplicité élémentaire. Pas la peine de changer de situation, c'est exactement les mêmes manipulations qu'il faut reprendre, mais cette fois en provoquant des écarts jusqu'à 60° et en plaçant l'inverseur de sensibilité **SCALE** en **1** sur la position basse. Puis, dès que l'aiguille d'erreur quitte la butée mécanique, choisir la sensibilité du centre ou du haut. Il n'est pas compliqué de déduire de cette petite pratique que l'on privilégiera une sensibilité maximale en déviation pour des manœuvres fines, mais que pour de l'orientation globale en phase préalable, une plus grande amplitude de fourchette de valeurs sera préférable, quitte naturellement à augmenter la sensibilité quand on approche de l'assiette visée. Nous en savons assez pour envisager de passer en revue les nombreuses options du système de contrôle d'attitude, mais une synthèse est certainement la bienvenue.

DIVERSES OPTIONS DU CONTRÔLE D'ATTITUDE :

Compte tenu du nombre des inverseurs qui plus ou moins permettent d'adopter des options de comportement du système de navigation et d'aide à l'orientation du vaisseau, il n'est pas très facile de s'y retrouver. Ce chapitre va nous permettre d'expérimenter divers modes d'asservissement. Mais nous allons commencer par compléter une petite synthèse qui certainement va évacuer beaucoup de confusion dans la compréhension de tous ces inverseurs, car on finit par ne plus savoir "Qui fait Quoi", et à mon avis les documents d'accompagnement fournis en parallèle de ce tutoriel ne sont pas suffisants. Parfois un petit dessin et trois lignes de textes sont plus efficaces qu'un long discours, les exercices qui illustrent le propos étant alors tout à fait pertinents. "Tout" est résumé dans la Fig.123 ci-dessous dans laquelle en bleu sont repérés les inverseurs qui n'influencent que l'affichage, et en rouge ceux qui influencent le comportement des asservissements. Notez qu'en option "standard" 1/2 il sera inutile de s'escrimer sur la combinatoire des inverseurs 2 et 3 qui sont alors ignorés.

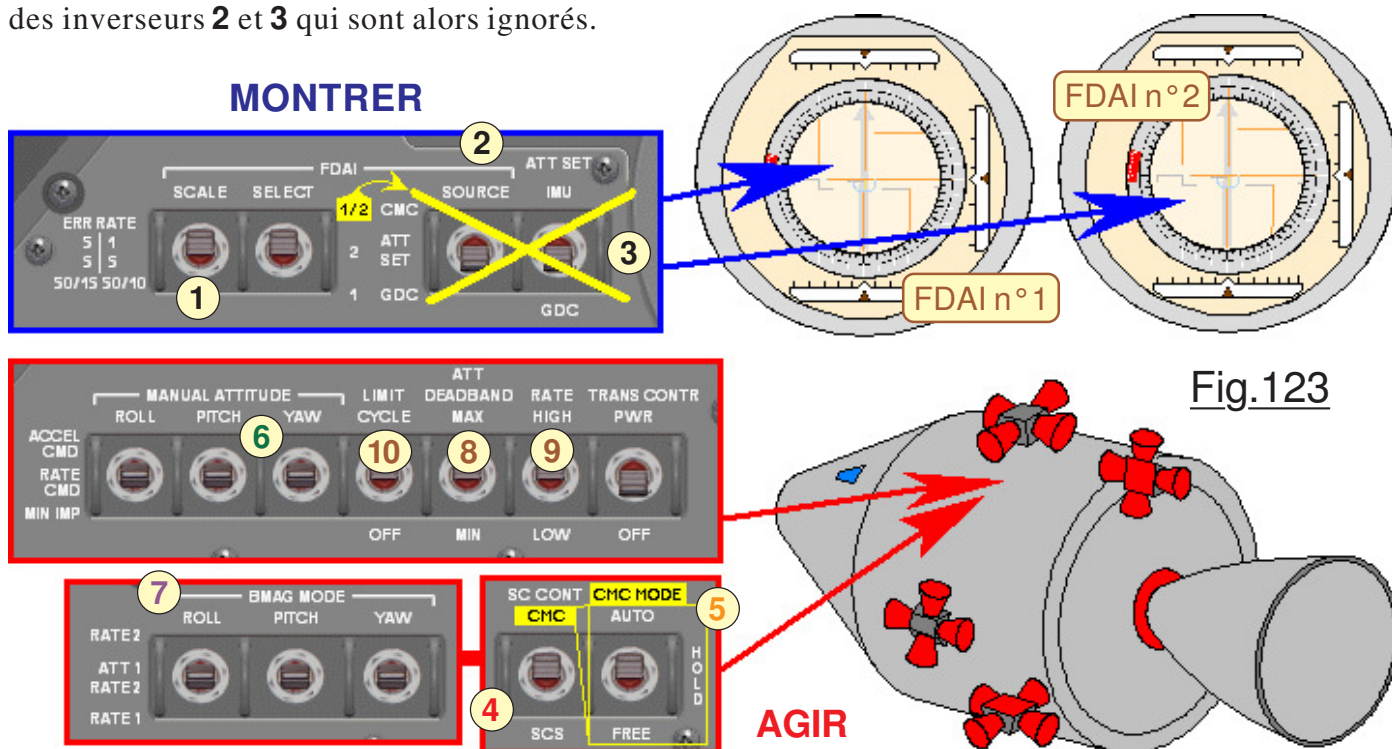


Fig.123

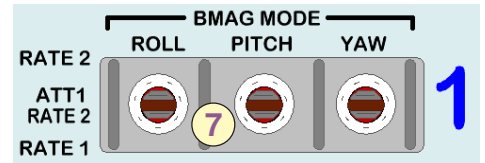
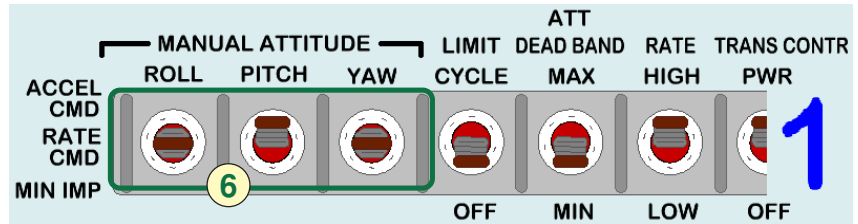
Bien que non visibles sur la configuration des inverseurs disponibles sur le tableau de bord, le maître d'œuvre est en amont le pilote automatique DAP dont les options sont conditionnées par la programmation, notamment avec la directive V48 et sa cible NOUN 46 comme déjà expérimenté. Mais le pilote automatique sera soit sous contrôle du SCS, soit sous servitude du calculateur de bord CMC en fonction de la position de l'inverseur 4 comme montré sur la Fig.124 qui résume la chaîne fonctionnelle. Si l'inverseur 4 est placé en position basse SCS, alors 5 sera ignoré et

Fig.124



n'aura pas d'influence sur le comportement du système. La combinatoire des inverseurs 4 et 5 permet quatre différents modes de contrôle SCS. La position des trois inverseurs 6 permet de déterminer quel

sera le mode utilisé indépendamment pour chaque axe : Commande d'accélération, gestion du taux de commande, ou Impulsions minimales. En fonction de la position des inverseurs 7 le taux de commande peut être soit en mode proportionnel vers le haut ou vers le bas, soit en mode de maintien d'attitude placés au centre.



EXERCICE n°1 : Mode COMMANDE D'ACCÉLÉRATION.

Dans ce mode l'accélération angulaire du vaisseau est permanente durant la commande. Décaler le mini-manche RHC modifie continuellement le taux de rotation sur l'axe de déflexion tant que le pilotage n'est pas ramené au neutre si on utilise un manche, ou que l'on relâche la touche clavier d'orientation si l'on privilégie le pavé numérique. Le vaisseau continuera d'accélérer angulairement régulièrement jusqu'à ce que le RHC soit centrée puis les RCS sont coupés. Le vaisseau conserve la vitesse de rotation acquise. En résumé c'est le mode d'orientation ultra banal d'Orbiter que l'on utilise en permanence sur la majorité des vaisseaux de notre simulateur. Rechargez 39) Triple zéro.scn parfaitement adaptée aux exercices qui vont suivre. Commencer par passer en mode ROTATION sur les RCS avec l'inévitable commande clavier / num. Pour imposer aux automatismes ce mode de réaction, basculez vers le haut les trois inverseurs 6. Pour ne pas que le calculateur de bord ne vienne interférer avec nos actions, basculer l'inverseur 4 vers le bas sur SCS. Seul le système de stabilisation sous contrôle des informations issues de la centrale inertielle ou des gyroscopes BMAG va agir sur les interfaces moteurs. Il n'y aura pas superposition d'un quelconque programme activé sur le DAP. Provoquez des rotations élémentaires lentes, rapides. Annulez ces dernières. Agissez sur les trois axes. Éventuellement si vous n'avez pas peur du mal de mer diminuez la sensibilité des déviations sur les FDAI et brusquez un peu les choses. Par exemple passez carrément en sensibilité minimale 50/15 sur le FDAI et amener le curseur de roulis en limite d'échelle avec 6 num pour voir. Soyons "virils" et tentons durant ce tourniouff de faire pareil sur les deux autres axes. Alors, l'ivresse ne vous gagne pas ? Quand vous aurez assimilé le fait que ce mode procure la liberté totale, y compris celle d'exagérer, ramenez le vaisseau au triple zéro. (On y parvient facilement grâce aux indicateurs de taux sur les FDAI, mais sans eux ???) Oui, je sais que supprimer toutes les limites est enivrant, mais si vous étiez dans un vrai CSM vous trouveriez assez rapidement les limites physiologiques de ce sport, sans compter que s'il n'y a rien pour tempérer votre excitation ... les sorties de routes arrivent sans prévenir. Sur le CSM : Outre le contenu de vos estomac réparti un peu partout dans la cabine et la zone rouge de l'IMU qui n'a pas pu être contournée, ce sont les plaintes lugubres des organes de liaison entre CM et LM, avec en sanction sans issue une avarie définitive dans le système d'arrimage. Bref, la liberté c'est génial, à condition toutefois de rester raisonnable. Ce type de fonctionnement "non contrarié" sera recommandé dans des manœuvres comme l'arrimage par exemple, cas classique durant lequel on ne pousse jamais notre monture à flanc. Il peut aussi nous sauver si un RCS se bloquait en fonctionnement, pour que l'équipage puisse contenir la rotation et ne pas se voir incommodé, lui laissant le temps de palier le problème.

EXERCICE n°2 : Ne pas confondre tourner et s'orienter.

Mode Maintien d'Attitude.

Dans l'exercice précédent, il n'y avait pas interférence du système de maintien d'attitude, mais dès que l'on va laisser la bride aux automatismes, deux fonctions presque antagonistes vont se superposer et il importe de bien en faire la différence. La confusion est facile, car l'une utilise l'autre, mais aussi peut le contrarier. C'est tout le problème des navires qui ont deux commandants. Ces manipulations vont nous aider à faire la part des choses, surtout si en préambule je vous propose deux définitions :

TOURNER : Action qui consiste à dévier plus ou moins notre trajectoire angulairement.

S'ORIENTER : Pointer et immobiliser le vaisseau vers un "cap précis dans les étoiles".

Il est évident que pour s'orienter il faut impérativement pouvoir tourner. C'est contradictoire à l'immobilité. Il est évident aussi que tourner va à l'encontre de maintenir un cap.

C'est tout le problème et les confusions qui en découlent, car par de multiples actions à bord on peut donner des "ordres contradictoires". Par exemple avoir laissé engagé l'automatisme de maintien d'attitude, donc un ordre d'immobilité, et de titiller le mini-manche qui impose de tourner. On va donc réaliser quelques exercices pour tenter d'y voir plus clair, mais j'avoue que la combinatoire possible ne facilite pas vraiment les choses. Rentabilisons une fois de plus **39) Triple zéro.scn**, et comme à chaque chargement de cette dernière / **num** pour imposer le mode ROTATION, car sur ce point Orbiter à bien compris que nous forcer le mode translation à chaque ouverture peut nous agacer ... mais on ne va pas le lui montrer ! Vous ouvrez votre manuel de vol **EXPLOITE DSKY.pdf** et vous coupez le DAP avec la procédure V48 en bas de la **Page 03** pour être certain que le calculateur de bord ne va plus pouvoir interférer avec nos commandes de rotation. Puis, sans rien modifier d'autre sur les tableaux, basculez en **4** l'inverseur **SC CONT** en position **SCS** pour passer la main au système d'aide à l'orientation et à la stabilisation. Glups, mais c'est à nouveau le feu d'artifice et le vaisseau part en toupie sur les trois axes ! Que se passe-t-il ? **V16 N20 E** histoire d'avoir la présence des angles IMU sur le DSKY et vérifier que cet affichage corresponde bien à celui de la sphère d'attitude n°1. Cette action ne répond pas à notre interrogation mais nous donne au moins une contenance, ainsi nos deux autres équipiers ont l'impression que l'on gère !

Laissez la machinerie se calmer. Quand plus rien ne bouge, un petit regard dans le TELESCOPE nous informe que l'on pointe dans une direction voisine de celle de la Lune. C'est très poétique, mais toujours aussi abscond ! Quel est donc le commandant de bord qui a donné l'ordre d'admirer notre astre nocturne rendu invisible car vu coté glacial ? Ne cherchez pas des midi à quatorze heures. Ce sont les trois inverseurs **6** qui en position centrale imposent de bloquer le pointage en utilisant les informations angulaires du gyroscope BMAG 1. Conclusion, comme on demande au système d'assistance de nous maintenir "un cap", docilement il le fait avec fidélité. Attendre que la stabilisation soit obtenue. Basculez alors l'inverseur **ATT DEABAND** vers le bas en **8** sur **MIN**. (Fig.123) On impose une zone de tolérance d'écart minimale. Comme le vaisseau était stable mais avec une marge d'erreur plus importante, les moteurs sont à nouveaux sollicités pour affiner le pointage. Une fois l'attitude correctement stabilisée, replacer **8** sur **MAX**.

V16 N20 E P00 V16 N20

+107.60 (R1 : OG Roulis en degrés en ° x 100)

+145.46 (R2 : IG Cabrage en degrés en ° x 100)

+004.60 (R3 : MG Lacet en degrés en ° x 100)

Chez vous les angles ne seront pas forcément identiques puisque le système intègre une tolérance plus ou moins importante en fonction des diverses configurations d'inverseurs. Ce mode ressemble à KILL ROT classique d'Orbiter sauf qu'il oriente le vaisseau à proximité d'une attitude cible prédéfinie. L'écart toléré dépend de la configuration de l'inverseur **8**. L'attitude de consigne ne sera pas totalement respectée, mais ce mode évitera au CSM de partir lentement à la dérive. L'ampleur de la zone de tolérance évite d'avoir en permanence des corrections qui sont inconfortables pour l'équipage et consommatrices d'énergie ainsi que de carburant. Avec **4 num** par exemple imposez une vitesse de roulis qui amène l'index en extrémité d'échelle gauche sur le FDAI. Le vaisseau part "en dérive angulaire", mais dès qu'il dépasse la plage de tolérance plus large, l'automatisme reprend les choses en main. Repasser **8** sur **MIN**. Vous avez compris, on réduit la tolérance et les RCS vont faire leur raffut jusqu'à nouvelle "pénétration" de l'angle longitudinal en zone morte. Sur le DSKY, on constate que l'on revient vers une attitude assez proche de celle indiquée dans le texte ci-avant. Nous avons cerné un peu mieux la fonction ORIENTER qui dans Apollo concerne globalement les mnémoniques qui font allusion à **ATT**itude. On peut à ce stade couper cette

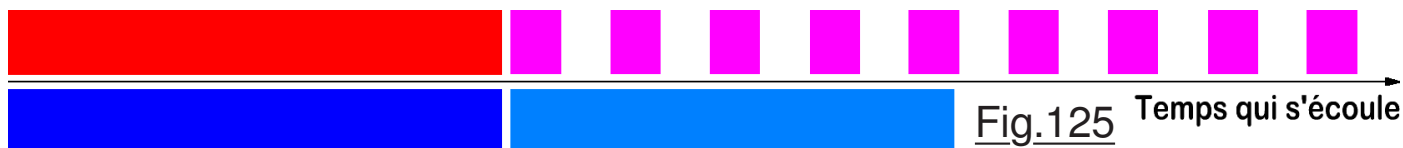
EXERCICE n°3 : Mode Commande taux proportionnel.

En haut de la page 137, le texte annonce quatre modes de fonctionnement de l'automatisme d'assistance au pilotage. Nous en avons examiné deux dans les exercices précédents. Dans ce paragraphe on va décortiquer un peu mieux la notion relative à "tourner". Dans ce but on charge une nouvelle scène **40) Triple zéro DAP coupé.scn** qui n'est pas autre chose qu'un dérivé de sa précédente. Dans cette situation on a juste déconnecté le DAP et forcé l'affichage du DSKY sur les angles IMU. Dans cet exercice nous allons passer en revue les inverseurs qui permettent de conditionner le comportement des automatismes d'assistance à la rotation. Dans ce but on va couper la fonction "parasite" de maintien d'attitude, en basculant les trois inverseurs **7** en position basse **RATE 1** par exemple. On impose alors au système SCS de ne plus s'occuper de l'attitude, mais uniquement des consignes de rotation. Au fait, vous avez pensé à / **num** ? NON ? Si vous ne faites pas un petit effort, Orbiter va se tordre de rire. Mais surtout la consigne **RATE 1** impose en outre de prendre en considération les informations de BMAG 1 pour les commandes du groupe **6**. À titre de rappel vous basculez les trois inverseurs **7** vers le haut, vous devinez ce qui va se passer, et vous titillez les pilotages de rotation sur les trois axes. Après avoir retrouvé "la liberté totale de faire des âneries", vous ramenez le vaisseau à l'immobilité en rotation. OK, en ce qui concerne le *Mode COMMANDE D'ACCÉLÉRATION* vous avez compris.

Ramenez les trois inverseurs **6** vers le centre en mode **RATE CMD**. Il ne faut pas oublier de passer la main au SCS puisque le CMC est en chômage, donc placez l'inverseur **4** vers le bas sur l'option **SCS**. La sensibilité moyenne **5I5** sur les FDAI est à privilégier pour cette manipulation. Avec **4 num** pour ne pas changer d'exemple amenez le curseur complètement à gauche sur l'échelle puis libérer la touche du clavier. Immédiatement le système engage une correction d'amortissement et ramène le taux de rotation à une graduation et demie. On peut insister, systématiquement l'index revient vers cette position comme pour nous énerver. Si on persiste lourdement, engageant le CSM dans un roulis absurde, par exemple un écartement en butée gauche de l'index mais sur la position **5I1** du FDAI, il y aura retour à une limitation d'environ une à deux graduations, mais ce sera assez laborieux .

Lorsque le vaisseau s'est stabilisé à ce roulis raisonnable, passez sur le tableau 7 et commutez le sélectionneur **7** : **[BMAG PWR] sel - 1** - sur la position **OFF** et **7** sur **RATE 1**. Sur le FDAI, la sphère d'attitude qui copiait abusivement sur celle de l'appareil de gauche ne tourne plus. Sur les deux instruments, les index de taux de variation et les aiguilles d'erreur d'attitude sont immobiles et recentrés. Par contre, si on tente d'imposer des accélérations angulaires, l'automatisme continue à assumer sa fonction de stabilisation. Le bouton poussoir **GDC ALIGN** sur le tableau 1 reste opérationnel. Autrement dit la motorisation de la sphère sur le FDAI recale bien cette dernière en fonction des molettes du sous-tableau **ATTITUDE SET**, mais le gyroscope étant coupé il n'y a plus de suivi sur les afficheurs mécaniques. Nous avons simulé une panne sur BMAG 1. Comment la contourner ? Il suffit en fait de demander le pilotage de l'instrumentation à partir du compère BMAG 2 en plaçant les trois inverseurs du groupe **7** en position haute **RATE 2**. Immédiatement nous retrouvons toutes les informations pour gérer notre vaisseau.

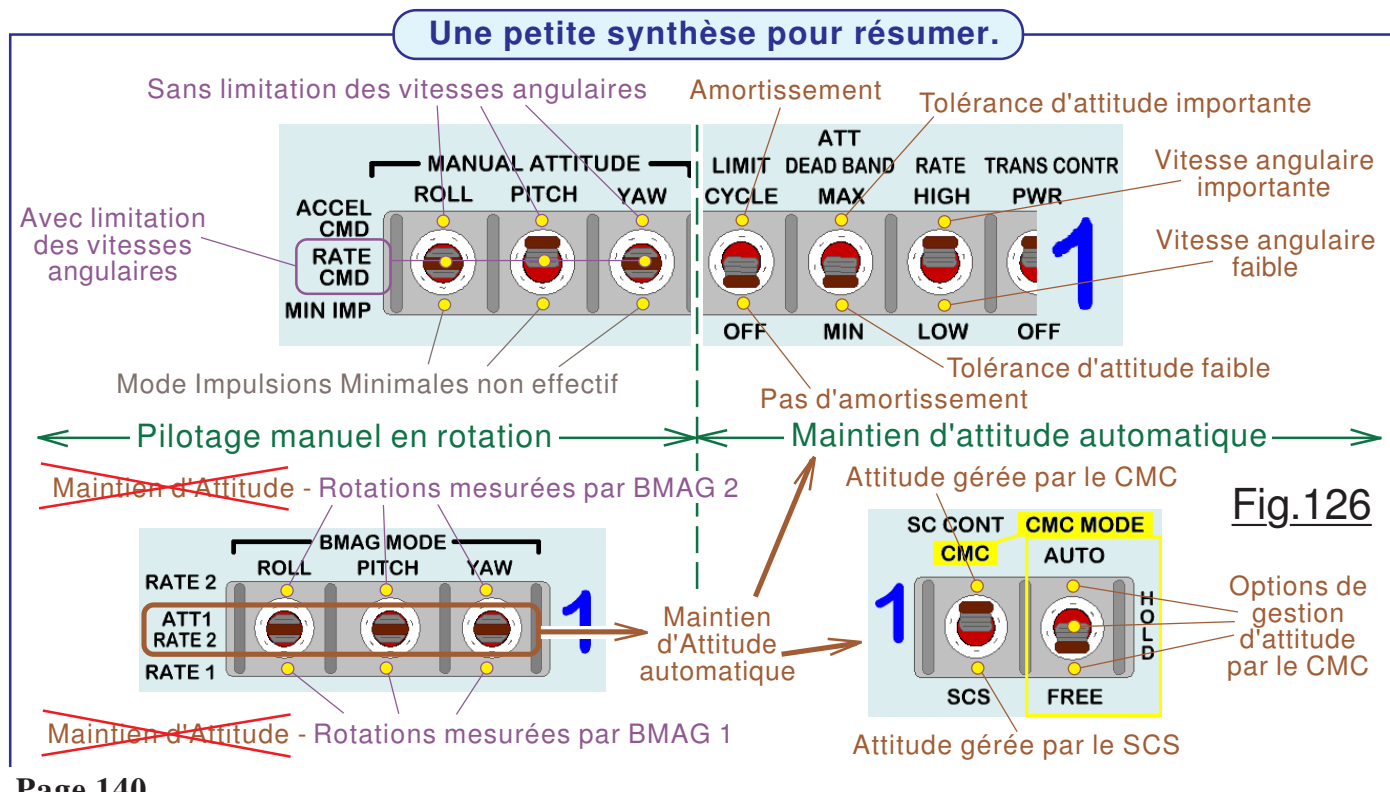
Le vaisseau étant stabilisé à un taux de rotation de deux graduations, imposons à l'inverseur **RATE** en **9** sur la Fig.123 la position basse **LOW**. La pétarade des RCS recommence, et sans trop tarder le système diminue à nouveau le taux de rotation à une valeur plus faible. Pour feinter le système, vu qu'à chaque chargement il nous oblige à revenir en mode rotation, on va sur le tableau 7 et on commute le sélectionneur **7** : **[BMAG PWR] sel - 2** - à son tour sur la position **OFF**. Berné le SCS, les deux BMAG sont en grève. On se titille une fois de plus **4 num** qui sur le clavier va s'user plus rapidement que les autres touches. Mince alors, les deux BMAG sont hors service et l'automatisme continue à amortir les rotations conformément à la configuration des inverseurs ! D'où sortent les informations pour alimenter en donnée la technologie du SCS ? Il n'y en a plus, on se trouve en fonctionnement de type dégradé. En effet, quand on relâche la commande manuelle il y a bien une contre réaction d'amortissement, mais unique, et plus les salves de régulation du taux de rotation à deux graduations. Forcément, quand on enlève toutes les roues à une automobile, elle roule un peu moins bien. Rétablir la participation des deux gyroscopes pour retrouver un fonctionnement nominal. Imposer en standard une utilisation sur BMAG 1. Basculer en **10** l'inverseur **LIMIT CYCLE** sur la position basse **OFF**, on va observer son influence. Puis, toujours avec la commande **4 num** du pavé numérique engagez une rotation qui écarte l'index presque en butée, la sensibilité des FDAI restant maximale sur **5I1**. On constate maintenant que la contre réaction pour amortir la vitesse de rotation à deux graduations ne se fait plus en rafales, mais en une seule impulsion constante, donc l'amortissement de la vitesse de rotation est plus brutal. La Fig.125 en page 140 propose



un chronogramme qui illustre les deux modes d'amortissement. Le mode **LIMIT CYCLE** est représenté au dessus de l'axe qui matérialise l'écoulement du temps. L'impulsion de commande manuelle est représentée par le rectangle rouge. Puis, à la fin de la sollicitation, après un petit délai de réaction nous avons la salve de ralentissement représentée en rose. La surface des rectangles rose serait identique à celle de l'impulsion rouge, mais comme on n'annule pas totalement le mouvement, ici le total comporte un dixième de moins. En dessous de l'axe temporel, l'impulsion bleue représente une commande identique à celle du mode précédent, mais cette fois **LIMIT CYCLE** est sur **OFF**. La surface de l'impulsion de régulation est la même que celle totalisée par les rectangles rose, on termine donc à une vitesse identique en rotation. On vérifie facilement que le temps indispensable pour stabiliser la vitesse résiduelle est bien plus court. Et encore, la Fig.125 ne respecte pas la réalité, car la durée entre deux impulsions de la salve de stabilisation est bien plus grande dans la réalité, les rectangles roses devraient avoir un espacement bien plus grand.

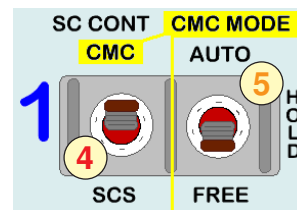
EXERCICE n°4 : Mode Impulse minimum.

Vous avez déjà tous compris que l'on va parler ici du quatrième et dernier mode d'assistance aux rotations, celui relatif au pilotage manuel par petites pulses bien douillettes pour ménager le matériel. La théorie nous apprend que dans ce type de fonctionnement un seul moteur RCS est déclenché lors des commandes du RHC pour chaque axe de rotation. L'impulsion minimale utilise une logique mono coup de l'ECA pour générer une impulsion de 15 millisecondes sur un seul groupement Quad. Pour engendrer une nouvelle impulsion il faut ramener le mini-manche au neutre. Cette option permet de gérer finement les attitudes, cependant sans un propulseur antagoniste pour contrer le mouvement, l'impulsion de poussée minimale introduit une translation parasite qui devra être compensée lors des MCC. Pour observer la réaction du système dans ce mode fonctionnel, inutile de changer de scène, il suffit de placer les trois inverseurs **6** vers le bas sur **MIN IMP**. Gaspptttt, mais ce que l'on constate ne correspond vraiment pas à la théorie ! Non seulement on ne provoque pas des impulsions courtes de 15 millisecondes, mais de surcroît quand on passe en vue extérieure on peut facilement vérifier que tous les Quads sont sollicités pour la torsion. Rien à voir avec du minimal. Conclusion : Ce type de fonctionnement n'est pas émulé dans NASSP. La position du mini-manche situé en bas à gauche du tableau 1 est sans effet. Bref, on peut oublier cette facilité, acceptons naturellement notre CSM comme il nous est livré. *(Notez que je n'ai pas fait de test avec un joystick, mais je doute que dans un cas MIN IMP fonctionne et pas dans l'autre)*



EXERCICE n°5 : Les options du contrôle d'attitude avec le CMC.

Imposer une attitude précise par l'utilisation du calculateur de bord à travers V49 est devenu pratiquement une routine. Notons au passage que le pilotage d'orientation par le DAP fournit le contrôle d'attitude durant les vols balistiques sans moteur à l'aide des RCS. Pendant le vol propulsé les cardans du SPS sont contrôlés en tangage et en lacet par le CSM, seul le roulis étant toujours géré par les RCS. Nous savons que pour imposer la gestion d'attitude par le CMC il suffit de placer l'inverseur **4** en position haute. Toutefois, nous n'avons pas encore exploré l'influence des options possibles sélectionnables par l'inverseur **5** qui du reste n'est effectif que si **4** est positionné sur **CMC**. Cet exercice très simple va nous permettre d'assimiler les subtilités de ces options dont la plus simple à comprendre est celle du bas nommée à juste titre **FREE**. En mode **FREE** le système RCS DAP interprète toutes les entrées reçues des commandes d'accélération du RHC. (*Mini-manche de pilotage manuel des rotations*) Quand il n'y a pas d'entrées RHC et que ce dernier est laissé en rappel central neutre, le CSM dérive librement. C'est en fait un type de fonctionnement totalement analogue au **Mode COMMANDE D'ACCÉLÉRATION** du SCS (Système de commande de stabilisation) sachant qu'il n'y a aucun amortissement, les divers inverseurs déjà expérimentés étant ignorés. C'est la liberté dans toute sa splendeur avec les inconvénients déjà évoqués. On recharge encore une fois **39) Triple zéro.scn**, on titille / **num** suivi d'un classique **V16 N20 E** qui nous permet de vérifier que le CMC actuellement impose au DAP de maintenir un pointage au triple zéro de notre référence REFSMMAT. On laisse les trois inverseurs **7** sur **ATT1 RATE 2** pour vérifier qu'ils n'auront aucune influence. On laisse également **4** sur **CMC** pour conserver la main au DAP. Enfin on impose le mode **FREE** sur l'inverseur **5**, il ne reste plus qu'à se lâcher et abuser dans des "égarements rotationnels". Faites tourner en tous sens, sur les trois axes. Vérifiez que les divers inverseurs de conditionnement du SCS n'ont aucun effet. Bref, c'est l'option qui sous gestion d'attitude du CMC, DAP en service ou pas, permet de prendre entièrement en charge le pilotage en orientation du vaisseau. Du reste, quand vous en aurez assez de maltraiter votre CSM, repassez la main au CMC histoire de vous convaincre que le DAP n'était pas coupé, mais juste mis en veille bien sagement puisque vous avez décidé de le suspendre. Vous repassez dans ce but l'inverseur **5** en position haute **AUTO** et vous réactivez le programme automatique avec : **V34 E V49E P P** éventuellement complété d'un **V16 N20 E**. Immédiatement le DAP se remet au travail et va revenir au triple zéro toujours en mémoire dans les paramètres de V49. Souvent il recale assez rapidement deux axes, mais prend plus de temps pour finaliser sur le dernier, mais soyez patients et vous verrez qu'il ne lui faut pas une éternité pour y parvenir. N'oubliez pas qu'en mode **AUTO** si l'utilisateur envoie une directive via le RHC, les manœuvres automatiques sont immédiatement suspendues et le DAP passe implicitement en mode **HOLD** que nous allons expérimenter. Il suffirait dans cette configuration d'appuyer sur une touche clavier du pavé numérique, mais la position de l'inverseur **5** n'est alors plus significative du mode de fonctionnement en cours. Imposez le mode **HOLD** en plaçant l'inverseur **5** au centre. On constate que les aiguilles de tendance se centrent, car dans ce mode le DAP va avoir pour mission de conserver l'attitude du moment, que nous pouvons manuellement modifier à notre convenance. On peut conclure que l'option **HOLD** est assez analogue à l'orientation en mode **AUTO**, mais que l'attitude conservée n'est pas celle mémorisée dans la mémoire de V49 sur le CMC, mais la dernière attitude imposée manuellement ou celle qui était présente quand on a validé cette option.



Une petite synthèse pour résumer.

Le mode **AUTO** impose au DAP de maintenir une attitude cible précise pour effectuer une manœuvre, les valeurs angulaires exprimées dans la REFSMMAT sont définies dans la commande V49. Ce mode est idéal pour des manœuvres précises automatiques telles que l'orientation du vaisseau en vue d'effectuer une manœuvre de " ΔV ". Si l'utilisateur envoie une consigne via le RHC, les manœuvres automatiques sont arrêtées et le DAP se comporte à nouveau comme s'il était en mode **HOLD**.

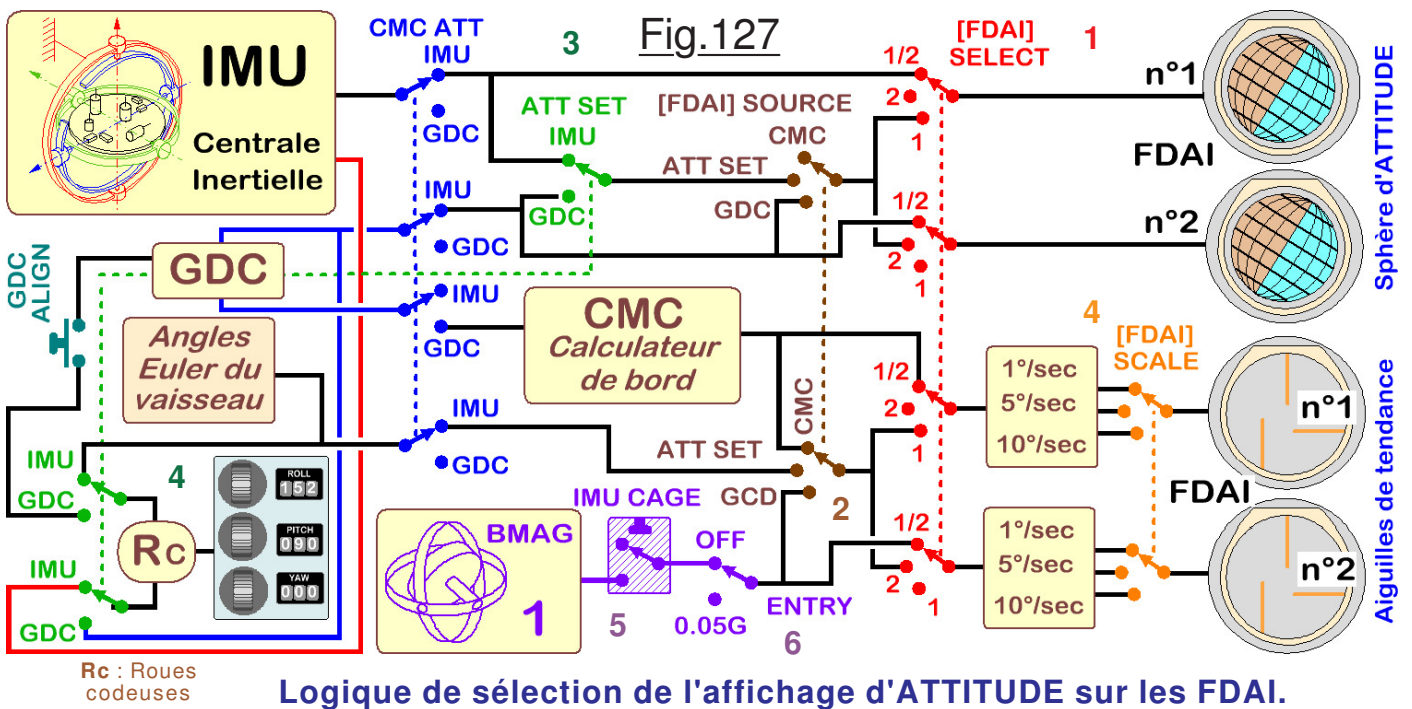
En mode **HOLD** le DAP cherche à maintenir l'attitude actuelle du vaisseau. Les commandes de rotation changent librement l'attitude à conserver. Ce mode est similaire au mode **ATT1 RATE 2** couplé à **RATE CMD** du maintien d'attitude par le SCS.

Forcé sur **FREE** le DAP interprète toutes les entrées reçues des commandes d'accélération issues du RHC. Quand il n'y a pas de consigne arrivant du mini-manche les RCS sont muselés et le CSM conservera toute rotation qu'il possède au moment du recentrage du RHC.

COMPLÉMENTS SUR L'INTERPRÉTATION DES FDAI :

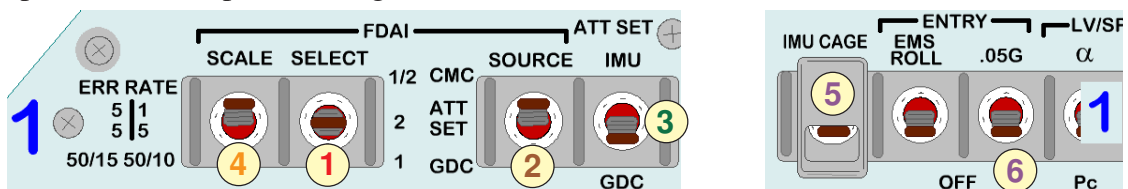
Encore le coup des FDAI ! Mais on a tout vu, tout entendu, tout recommencé encore et encore ... la barbe ! Oui, je vous comprends un peu. Après avoir consacré tant de temps à appréhender tous les engrenages de cette bouboule diabolique qui mélange méridiens et latitudes, on pensait vraiment en avoir fait le tour. (*Arf arf arf, faire le tour de la bouboule, je suis assez satisfait de cette transition astucieuse*) Redevenons sérieux. Je ne voudrais pas vous saper le moral, mais le nombre de fois où je pensais avoir cerné un thème et que quelques semaines plus tard je constatais que j'étais passé à coté d'un point important, m'a appris que dans NASSP on n'est jamais au bout du bout. Il reste toujours une part considérable d'ombre, de détails qui nous ont échappé, vous vous en rendrez vite compte. Du reste, quand j'ai commis l'erreur de m'engager dans la rédaction de ce tutoriel, j'envisageais naïvement de tout aborder ... j'étais loin de me douter à quel point ce but illusoire est irréalisable. Bon, peu importe, revenons à nos moutons. En haut de la page 135, en introduisant l'exercice n°8 je vous avais promis que nous reviendrions sur les différences constatées entre les informations du FDAI n°1 et celui de droite. Je tiens ici cet engagement. Du reste ce chapitre serait mieux intitulé par : [QUI montre QUOI](#).

Première aide pour mieux comprendre ce qu'affichent les FDAI : La Fig.127 ci-dessous qui synthétise assez simplement les chaînes fonctionnelles qui agissent sur les deux indicateurs électromagnétiques. On se doute à consulter ce dessin, que la nature des informations présentes sur les deux modules résulte d'une combinatoire savante dans la position des divers inverseurs qui gèrent ce système technique.



EXERCICE n°1 : Seul le FDAI de droite est en service, la SOURCE est le CMC.

Pour se retrouver dans ce dédale labyrinthique de flux d'informations, certainement que quelques exercices relativement simples à conduire vont nous aider à clarifier un peu tout ça. Dans ce but vous chargez la nouvelle scène **41) Triple zéro pour FDAI.scn** dans laquelle le DAP gère toujours le "triple zéro", mais **V16 N20 E** est déjà validé et surtout on a placé le FDAI de droite dans une attitude facile à interpréter, mais différente de celle de l'IMU dans la REFSMMAT. Par contre, / **num** est toujours indispensable. Basculez l'inverseur **1** en position centrale et laissez **2** en haut sur **CMC**. Le FDAI n°1 passe en attribut **OFF**. Dans tous les exercices qui vont suivre, pour comprendre ce qui se trouve affiché sur les FDAI je vous suggère fortement de laissez bien en vue le document **SYSTÈMES APOLLO.pdf** à la **Page 39** dans laquelle le tableau résume de façon synthétique la combinatoire possible. Nous sommes ici dans le cas représenté sur la première ligne rose du tableau.

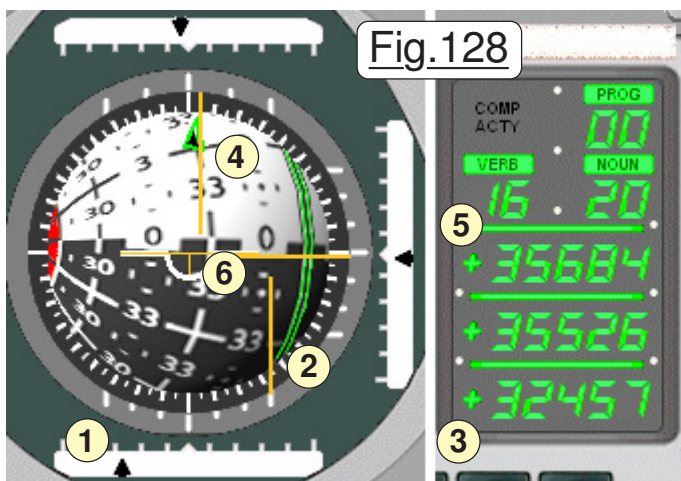


Conformément au tableau, la sphère d'attitude sur l'appareil valide indique les angles IMU, les aiguilles de tendance reçoivent les informations du CMC qui actuellement gère le DAP pour maintenir stable l'attitude de consigne. Elles vont dévier du côté opposé à la dérive angulaire de pointage en attitude.

Les aiguilles montrent que quel côté se trouve notre cible "de CAP stellaire". Pour le vérifier, par exemple, avec **1 num** provoquez un bon dérapage en lacet vers la gauche. Il y aura aussi du roulis et du cabrage induits, mais n'en tenons pas compte.

Dès que vous avez libéré la touche du clavier, le DAP va entreprendre une correction pour ramener le vaisseau à l'attitude de consigne. Durant le fonctionnement des RCS pour rétablir la situation, j'ai mis en PAUSE et obtenu, montré en Fig.128 une copie d'écran montrant l'état du vaisseau. Interprétation :

- En **1** on constate que l'on tourne encore du mauvais côté vers l'écart de dérive. C'est que nous avons imposé une vitesse de décalage importante. Les RCS fournissent bien un couple antagoniste, mais pour l'instant la vitesse de dérive est en train de diminuer. On continue de déraiper à gauche mais de moins en moins rapidement et lentement l'index va se recentrer. Puis, comme nous ne sommes pas bien orientés par rapport aux valeurs de consigne, le DAP va imposer une rotation inverse. L'index va alors passer de l'autre côté et "courir vers l'aiguille" de l'indication d'erreur.
- En **2** l'aiguille de tendance nous précise que le cap ciblé de 360° se trouve vers la droite. On a vu en page 135 que la portée maximale de l'échelle de déviation est de 5° pour le calibre **511**. On en déduit qu'actuellement notre cible est à au moins 5° ou plus vers la droite. La valeur de consigne est 360° , donc notre cible est le "méridien" zéro que j'ai barbouillé en vert sur la Fig. 128 pour vous aider à le situer. Sur la sphère d'attitude, entre le centre et ce repère on dénombre plus de trois lignes des dizaines de degrés. On peut en déduire que notre cible se trouve à environ 35° vers la droite.
- En **3** le registre R3 indique 324° pour l'orientation en lacet dans la REFSMMAT. Un rapide calcul qui n'impose pas d'ouvrir le tiroir et de prendre la calculette confirme un écart de $360^\circ - 324^\circ = 36^\circ$.
- En **4** l'index de roulis est passé un peu à droite. En **5** le DSKY précise que l'orientation actuelle est d'environ 357° . Notre cible est passé à droite et l'on observe bien en **4** l'aiguille de déviation décalée du centre d'environ $1/4$ de graduation. La portée de l'échelle est de 5° : Trop peu ... il y a incohérence !
- En **6** aussi ça se passe mal ! Notre ligne zéro, frontière entre le blanc et le noir est au dessus. Donc l'aiguille de tendance devrait se décaler vers le haut. **Chef chef chef, on a un problème !**



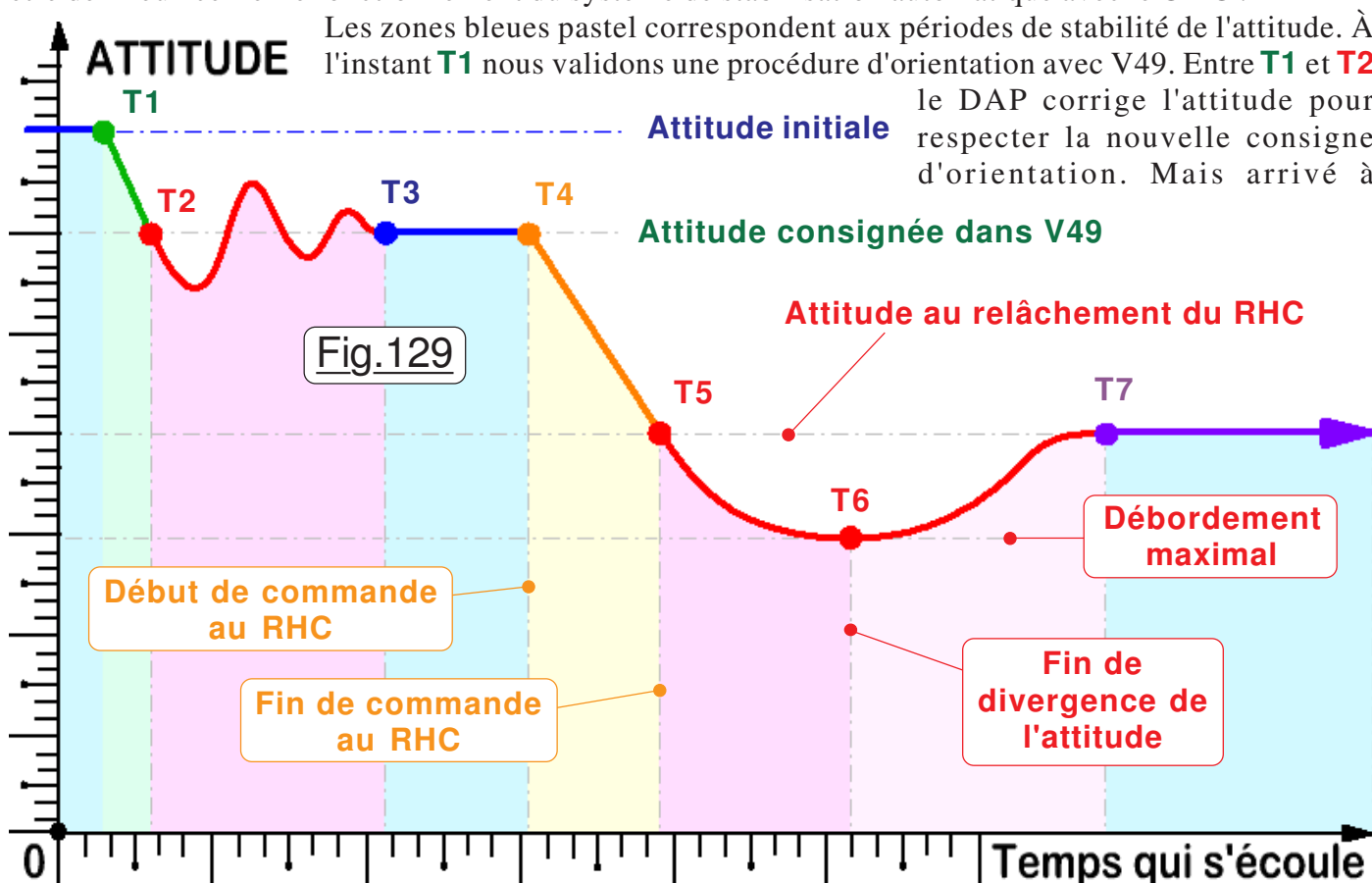
Ben oui bande de clowns, vous avez forcément un problème. C'est permanent, omniprésent, pléonasmique ! Pas moyen de vous inculquer le minimal minipetitmicrorien. Une miette de fondamental basique. Vous oubliez tout et ne retenez rien, alors forcément, **YA UN PROBLÈME. C'EST VOUS LE PROBLÈME !!!**

M'a fait sursauter le Popol, j'avais oublié sa présence dans les environs Môamôa.

Bon, il est reparti en claquant la porte, ça ne nous aide pas beaucoup finalement, ci ce n'est que la réponse réside forcément dans ce que nous avons déjà appris. Voyons voyons ... Mais c'est bien sur, j'ai trouvé ! N'oublions jamais qu'à bord ce sont les problèmes qui ont la priorité absolue, je veux dire NOUS. Quand on a dévié le vaisseau, on a intimé l'ordre de pointer ailleurs. Au moment où nous relâchons la commande, le système considère que c'est la nouvelle attitude de consigne et cherche à y verrouiller le vaisseau. Pour compléter cette expérience : **V34 E V49 E P P V16 N20 E**. Nouvelle "pétarade" des RCS. Cette fois les déviations des aiguilles de tendance se font bien du bon côté par rapport à notre cible "triple zéro". Reprendre entièrement cet exercice en effectuant un cabrage par exemple, combiner éventuellement avec du lacet. Durant les phases de stabilisation basculez **3** sur **IMU** et sur **GDC** pour vérifier qu'il n'a aucun effet sur les affichages conformément aux informations données dans le tableau sur la ligne "rose" du haut.

RÉSUMÉ : Dans le mode exploré, le CMC cherche à maintenir l'attitude de consigne sur le DSKY jusqu'à ce que l'on impose des rotations. **Durant ces dernières, dès que l'on relâche la commande la nouvelle attitude devient une "cible"**. On a l'impression que le système "contre" en permanence nos désirs, car si la vitesse atteinte est notable, rapidement le DAP cherche à revenir à

l'attitude qui est celle au moment du "relâcher". On a l'impression qu'il s'oppose à nous car dès que l'on relâche la touche du clavier les RCS se mettent à pousser en sens contraire. En réalité, il veut juste revenir le plus rapidement possible à sa nouvelle cible : l'attitude présente à la fin de l'utilisation du mini-manche. (*Joystick ou clavier du pavé numérique*) Cette fausse opposition sera d'autant moins marquée que nos corrections seront de courte durée, ou si vous préférez engagez le vaisseau dans des vitesses de rotation faibles, c'est à dire avec peu d'inertie, donc peu de motorisation pour stabiliser. La Fig.129 permet peut être de mieux cerner le fonctionnement du système de stabilisation automatique avec le CMC :



l'orientation correcte en **T2** le vaisseau possède de l'inertie en rotation. Il y a alors débordement immédiatement contré par les RCS. Nous savons que cette phase de stabilisation colorée en rose peut contenir plusieurs oscillations de type sinusoides amorties jusqu'à la stabilisation en **T3**. Les RCS sont mis au repos, le vaisseau ne "bouge plus". En **T4** nous prenons le contrôle en manuel et sollicitons l'automatisme soit avec un joystick, soit avec les touches clavier du pavé numérique. La commande est maintenue jusqu'en **T5**. Entre ces deux instants on décale le pointage, phase colorée en jaune. L'orientation que présente le vaisseau en **T5** devient la nouvelle attitude cible. Mais le vaisseau continue son mouvement de rotation. Immédiatement les RCS réagissent en opposition nous donnant l'impression que les automatismes sont rebelles. Lentement la vitesse de dérive diminue, phase colorée en rose. Arrivé en **T6** la rotation s'arrête, nous sommes en débordement maximal par rapport à la nouvelle attitude cible. Les RCS continuent de pousser, mais maintenant la vitesse augmente, et dans l'autre sens. Phase repérée en rose clair. Puis la correction est dosée pour arriver en **T7** à la stabilité dans la nouvelle orientation. Les RCS sont à nouveau au repos et n'auront ponctuellement qu'à compenser les lentes dérives au cours du temps.

EXERCICE n°2 : Seul le FDAI de gauche est en service, la SOURCE est le CMC.

Lors d'un discours politique, on appelle ça du remplissage, c'est à dire blablater pour ne rien dire. En effet, vous avez déjà compris en consultant le tableau de la Page 39 que c'est le film qui recommence, exactement pareil sauf que dans ce cas c'est le FDAI n°1 qui devient actif et le n°2 qui se tourne les pouces. Pas la peine de charger une nouvelle situation, il suffit de terminer l'exercice précédent par les directives : **V34 E V49 E P P V16 N20 E** puis de placer l'inverseur **1** sur la position du bas en **1**. Vous constatez naturellement que dans le tableau c'est la ligne "jaune" du haut qui cette fois définit notre configuration, et qu'elle est strictement identique en ce qui concerne la combinatoire décrite. Pour

suivante : Vous commencez par décaler franchement en lacet. Puis, vous décalez également notablement en cabrage et surtout vous relâchez la touche quand la sphère d'attitude passe par le centrage d'un croisement des lignes sur la boule facile à repérer. C'est la nouvelle consigne. Vous allez ainsi pouvoir vérifier que c'est bien l'attitude que le système va ramener et stabiliser après la période de débordement. J'espère pour vous que vous n'avez pas oublié que durant toutes ces manipulations le FDAI montrait l'orientation de l'IMU, et que par voie de conséquence venir centrer la zone rouge était strictement prohibé.

EXERCICE n°3 : Seul le FDAI de gauche est en service, la SOURCE est le GDC.

Reparçons de la scène **41) Triple zéro pour FDAI.scn** histoire de la rentabiliser, sans oublier naturellement l'incontournable / **num**, mais je suis certain que ce n'était vraiment plus obligé de le dire. Et surtout je vois "Qui vous savez" qui nous observe, alors je ne veux pas prendre le risque de nous faire virer, l'a pas l'air de bonne humeur en ce moment. Bon, on s'accroche. On place **1** sur la position basse **1**, on positionne **2** vers le bas sur **GDC** et l'on ne s'occupe pas de **3** car dans le tableau, deuxième "ligne jaune" on voit que sa configuration est indifférente. La sphère d'attitude s'anime pour se positionner dans une orientation qui correspond manifestement à celle des molettes du tableau **ATTITUDE SET**. Dans ce mode, le tableau précise que les aiguilles d'attitude sont pilotées par les informations issues de BMAG 1. Maintenant la sphère n'est plus significative des angles IMU, on peut allégrement centrer la zone rouge. Par contre le seul avertissement du danger d'alignement des cardans de la centrale inertielle sera l'allumage des témoins **GIMBAL LOCK** et **MASTER ALARM**, donc agir immédiatement s'il s'illumine. Ce sera évidemment pareil quand l'inverseur **2** sera au centre sur **ATT SET**. Pour vérifier que c'est bien BMAG 1 qui pilote les aiguilles de tendance, engagez le vaisseau dans des rotations notables sur les trois axes. Puis, quand les trois aiguilles se décalent, Coupez l'alimentation du gyroscope n°1 sur le tableau 7. De retour sur le tableau 1 les aiguilles sont centrées. Réalimentez, elles retrouvent des positions décalées et leur mobilité.

Que représente l'écart d'une aiguille de tendance ? Tout simplement la différence entre l'**attitude cible** et l'orientation actuelle du vaisseau. C'est quoi l'attitude de consigne ?



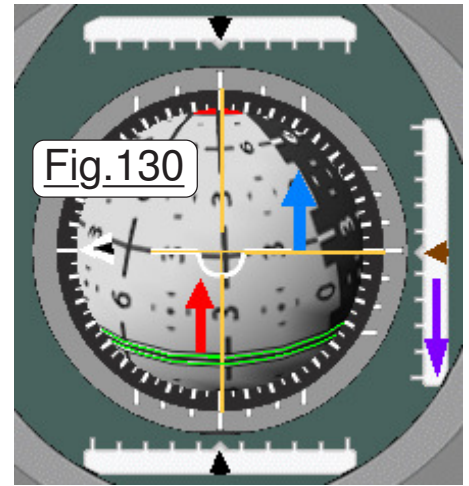
Désespérants, rien à en tirer de ces mules. Bande de boulets, c'est pas le vaisseau qui a de l'inertie, c'est votre cervelle. Au fait, faudra passer une radio, je me demande si vous en avez bien une de cervelle, ça expliquerait tout. L'ATTITUDE AU MOMENT DU RELACHEMENT DU JOYSTICK, faudra vous le répéter comment ? Si ça continue je crois que je vais crier, j'y tiens plus de me contenir !

Décidément, c'est pourtant simple ... mais une fois que c'est écrit. En fait, si j'insiste en frimant, c'est que je n'ai trouvé nulle part cette information. J'ai galéré des heures pour comprendre. Donc par la suite, il suffira d'y penser, c'est une variable tout compte fait assez compréhensible si l'on n'oublie pas cette mémorisation des paramètres à la fin d'une commande manuelle en rotation. Une fois que nous avons compris, interpréter le FDAI devient nettement plus lumineux. Faisons une expérience simple. Attendre que l'orientation soit stable. Nous allons utiliser le roulis, car son index sur la couronne périphérique du FDAI est plus facile à surveiller que la croisée de deux lignes de la sphère d'attitude. Engager le vaisseau dans un mouvement important en roulis à gauche et relâcher la touche quand l'index passe exactement devant une valeur facile à observer. Le vaisseau continue de tourner et immédiatement l'aiguille de tendance se décale vers le curseur puisque ce dernier indique le coté du dépassement par rapport à la consigne. L'automatisme contre, et finalement on revient vers cette position observée en fin de commande manuelle. Si vous avez imprimé au vaisseau une grande vitesse de rotation, le premier rappel est donc énergique, on dépasse la cible et le cycle recommence dans l'autre sens. Conclusion, l'aiguille de tendance indique de quel coté ce trouve l'angle de consigne. Sauf si vous avez vraiment exagéré la vitesse de rotation, en général en trois alternances amorties l'attitude se stabilise. Passez l'inverseur **1** sur la position centrale **2**. Vous m'avez vu venir de loin avec mon manque de finesse et parfaitement compris que l'on ne fait qu'échanger les rôles entre l'instrument de gauche et celui de droite. Relancez quelques rotations pour le vérifier.

EXERCICE n°4 : Le piège d'interprétation "visuelle" des aiguilles d'attitude.

Impossible d'éluder ce phénomène qui a été entre autre à l'origine des grandes difficultés en ce qui me concerne pour comprendre comment se décalaient les aiguille de tendance. Le problème psychologique réside dans le fait que nous avons en permanence tendance à **confondre Orienter et Faire tourner**. Cette difficulté est d'autant plus patente que sur le FDAI ce sont des mouvements qui sont visualisés. Du coup on a tendance à raisonner "ça bouge" et non orientation. Oui, je sais que tout ce verbiage est assez confus, mais par cet exercice simplissime vous allez facilement comprendre de quoi il retourne. Dans ce but nous allons utiliser la scène spécifique **42) Tester le piège FDAI.scn**.

La Fig.130 présente une copie d'écran effectuée au moment du chargement de la scène, qui bien entendu a été immédiatement suivi de la consigne / **num**, est-il bien utile de le préciser ? Le vaisseau se trouve dans une orientation "astronaute" de 90° en roulis, et de 30° en cabrage et de 30° en lacet. Inutile de comparer aux valeurs sur le FDAI qui sont relatives à celles de l'IMU. Quand on choisit l'assistance **GDC**, c'est que l'on veut privilégier une orientation locale. Dans ce but le pilote part généralement d'une situation particulière. Ici j'ai choisi celle visualisée sur le FDAI. En mode **GDC** ce sont les gyroscopes qui seront pris en compte c'est à dire leur rotation au cours du temps, peu importe dans ce cas l'existence d'une REFSMMAT. C'est la raison pour laquelle pour ce type de manœuvre l'astronaute est totalement libre d'initialiser l'orientation de la sphère à sa guise au moyen des molettes d'ajustement. Généralement on utilise le "triple zéro", mais rien n'interdit tout autre combinaison.



BUT DE L'EXERCICE : On va manuellement faire piquer le vaisseau avec la touche **2 num**. Le "méridien zéro" sur la sphère d'attitude repéré ici en vert va donc "monter" comme indiqué avec la flèche rouge. L'index des vitesses de rotation marron va descendre proportionnellement à la vitesse acquise comme souligné sur la Fig130 par la flèche violette. Dès que le "méridien zéro" passe au centre dans le collimateur vous relâchez la touche **2 num**, cette position centrale du tracé vert devenant la nouvelle cible pour les automatismes. Vous avez compris que par inertie le vaisseau va poursuivre "vers le haut" et les RCS s'opposer à cette dérive. Comme le débordement s'effectue "vers le haut", l'aiguille de tendance en cabrage va donc aller en butée vers le haut. Allez, au travail, testez ces évidences !

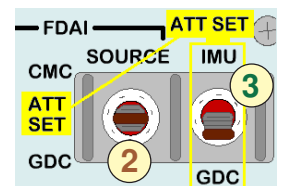
Durant la poussée des RCS pour faire piquer notre monture, il va y avoir du lacet et du roulis induit, mais inutile d'en tenir compte, ils n'ont pas dans cette expérience une influence significative.

GLUPS !!! Mais ça va pas du tout. C'est l'aiguille de lacet qui se décale à gauche, l'aiguille de cabrage ne bouge pas ! Rien ne va plus.

On se calme et l'on réfléchit un peu. Quand ci-avant on a explicité ce qui allait se passer, nous avons raisonné "Mouvement". De **dépassement vers le haut** on en a déduit : **L'aiguille de tendance va monter**. Par contre, l'automatisme n'est pas concerné par du mouvement. Faire tourner pour lui n'est pas un but, mais un moyen. MOYEN POUR MAINTENIR UNE ATTITUDE. Vu de l'automatisme, au moment où la touche **2 num** est libérée, pour l'asservissement le décalage se produit sur l'axe de lacet de la sphère et non sur l'axe de tangage du vaisseau. Conclusion, l'asservissement va contrer les dérives en activant les RCS qui s'opposent au débordement. Ce sont bien les RCS de cabrage qui sont sollicités. Par contre, les aiguilles d'erreur se moquent complètement des vitesses de rotation. Ce sont les décalages en ATTITUDE qui sont visualisées. Imaginez alors l'interprétation de ces dernières quand plusieurs rotations se combinent. CONCLUSION : Courir après les aiguilles pour corriger une dérive n'est pas du tout adapté dans ce mode de configuration des systèmes d'assistance au pilotage.

EXERCICE n°5 : La SOURCE est sur ATT SET, ATT SET est sur GDC.

C'est précisément cette position centrale de l'inverseur **2** qui valide les deux options possibles sur **3**. On va commencer par tester celle du bas ce qui



correspond à la dernière ligne "jaune" ou "rose" dans le tableau. Rechargeons la scène **42) Tester le piège FDAI.scn** qui n'a rien de mieux que les autres pour tester cette configuration, mais au moins elle aura été utilisée deux fois. Dans un premier temps, vous allez "courir" après les aiguilles, car dans cette configuration c'est précisément la bonne méthode pour les recentrer. Ne vous posez pas trop de questions, commandez des rotations de façon à recentrer les trois aiguilles.

Ouiche, mais ça tricote dans tous les sens ! Et oui, car nous sommes loin de l'orientation cible, alors il faut tourner beaucoup, on agit sur un axe d'ATTITUDE, mais il influence les deux autres. Bref, c'est un peu la panique. Ne vous laissez pas abuser par une tourmente trompeuse. Voici comment procéder : On va agir axe par axe, et laisser l'automatisme nous assister. Dans un premier temps on va "dégrossir l'attitude", donc on place l'option sensibilité sur **50I15**. Par exemple on va commencer par le roulis. C'est avec **4 num** que l'on engage la rotation correctrice, car l'aiguille d'erreur en roulis est à gauche. On attend que cette l'aiguille de tendance vienne vers le centre, et quant elle passe exactement à sa position neutre on relâche la touche du clavier. C'est la nouvelle cible de l'automatisme qui en

deux ou trois compensations alternées va nous verrouiller cette attitude. C'est fait, un axe de calé. L'aiguille d'erreur en lacet est en butée à droite. Courir vers les aiguilles va donc consister à utiliser un décalage vers elle à l'aide de **3 num**. Ne libérer la touche que lorsque l'aiguille passe exactement au centre. Vous constatez qu'en roulis le vaisseau se décale, c'est l'interférence déjà rencontrée, mais comme l'asservissement avait mémorisé l'attitude, il va non seulement chercher à recentrer le lacet, mais simultanément le roulis. C'est la grande force des automatismes, ils peuvent simultanément gérer plusieurs axes et n'ont pas de problème de simultanéité. Bref, c'est magiquement génial tout ça.

Le coup de la panne

Et mince, c'était trop beau pour durer, le pépin surgit toujours quand tout semble aller pour le mieux.

MASTER ALARM vient de réduire à néant notre sérénité, et deux témoins **SM RCS B** et **SM RCS D** s'allument. En consultant le manuel sur les alertes, on note que le problème peut survenir sur une mauvaise température des Quads RCS, ou d'un problème de pressurisation des ergols. On commute le sélecteur sur **B** ou sur **D** et l'on constate avec amertume que la température est correcte. On pouvait s'en douter car les quatre inverseurs de réchauffages sont activés. Il s'agit bien d'une pénurie sur la pression. Cette dernière affecte deux Quads, mais certainement que pour les deux autres la sanction ne va pas tarder. La solution est simple, il suffit de mettre en ligne la pressurisation secondaire en basculant vers le haut sur **OPEN** les inverseurs 2 : **[SM RCS] sw SEC PRPLNT FUEL PRESS B et D**, mais ce n'est pas très réjouissant, car on engage les réserves. Autrement dit nous avons trop fait joujou avec les RCS.

Tant que ça ?

Et oui, car je vous fournis une kyrielle de scènes toutes plus géniales les unes que les autres, (*PUB !*) mais il y a un effet d'hérédité ! Beaucoup sont issus les uns des autres. En cascade nous avons fait de multiples expériences, des toupies en veux-tu en voilà. Mais chaque fois Orbiter enregistre l'état. Si dans chaque scène on ne sollicite que peu les RCS, il y a effet de cumul. À la fin, la facture est salée.

CONCLUSION : Exciter à répétition et sans retenue les RCS pour observer comment réagit la machine est concevable dans le cadre d'une formation sur simulateur. Mais une fois en "mission réelle" il faudra optimiser toutes nos actions et réduire au maximum les consommations. Par exemple engager une rotation lente qui n'a coûté que quelques secondes de RCS et attendre que le vaisseau tourne jusqu'à l'angle désiré pour contrer. C'est exactement comme en automobile, toute accélération ou freinage puise dans les réservoirs.

Bon, le problème est contourné, nous avons vu comment résoudre ce type d'alerte. Étant en formation sur simulateur on peut continuer allégrement. En principe, à ce stade, globalement les trois aiguilles sont relativement centrées. Passer en sensibilité maximale sur **511** et reprendre la procédure pour affiner la prise d'attitude. Manœuvrez pour centrer au mieux les trois aiguilles d'erreur. Observez alors la sphère d'attitude. Vous ne remarquez rien ? Allez, un petit effort !

Et oui, la référence d'attitude dans ce mode est constituée par les consignes angulaires

pré positionnées à l'aide des trois molettes. Du reste si vous cliquez sur **GDC ALIGN**, si les aiguilles de tendance n'étaient pas parfaitement centrées, elles s'immobilisent immédiatement au neutre sur les trois axes. Une fois que les trois aiguilles sont parfaitement centrées et la sphère parfaitement orientée par rapport à la consigne, validez l'instrument de gauche plus proche du sous-tableau **ATTITUDE SET**. Modifiez la consigne, par exemple 045, 040 et 020. Comme le gyroscope n'est plus en attitude de consigne, les aiguilles d'erreur se décalent. Fondamentalement ce mode de fonctionnement est commode pour établir une attitude relative par rapport à notre orientation actuelle. Il aurait été parfait quand pointant directement vers le Soleil on a désiré présenter l'arrière à 45° avant d'activer la lente rotation de régulation thermique passive. En résumé, soit on force un "triple zéro" et l'on effectue les rotations pour amener la sphère d'attitude à la nouvelle direction souhaitée, mais il faut interpréter la sphère diabolique. Soit on code la nouvelle orientation désirée et l'on "poursuit" les aiguilles pour y aller, avec en prime l'assistance axe par axe des asservissements pour nous faciliter la tâche.

Ben Môamôa je crois que vous auriez un tantinet intérêt à diriger vos mirettes vers les compteurs numériques des molettes du sous-tableau **ATTITUDE SET** avant que "P....." ne revienne.



SOURCE sur **ATT SET**
ATT SET sur **GDS**

Les aiguilles d'erreur montrent de quel côté se trouve la cible angulaire sur **BMAG** définie par les molettes d'**ATTITUDE SET**.

Retenez également que MONTRER ne signifie pas AGIR. Quand on décale les molettes nous introduisons une orientation gyroscopique qui sera mesurée par BMAG 1 ou BMAG 2. Si nous ne sommes pas exactement à cette attitude, alors ERREUR il y aura et les aiguilles de tendance le montreront. Notez au passage que nous agissons avec le RHC. Donc si l'on veut jouir de la liberté maximale sans avoir ces réactions contraires des automatismes il suffit de placer l'inverseur **5** de la page 137 en position basse **FREE**. Il nous reste à explorer la dernière combinaison du tableau pour avoir tout expérimenté.

EXERCICE n°6 : La SOURCE est sur ATT SET, ATT SET est sur IMU.

Cette combinaison est représentée dans les troisièmes ligne jaune et rose du tableau qui résume toutes les possibilités. Pour tester cette dernière configuration nous allons procéder exactement comme nous l'avons fait dans l'exercice n°5. On recharge la scène **41) Triple zéro pour FDAI.scn** et l'on bascule **2** au centre sur **ATT SET**, **3** vers le haut sur **IMU** et enfin **1** : **CMC MODE** sur **FREE** pour avoir les coudées franches. Enfin, avec **1** choisissez à votre guise le FDAI de gauche ou celui de droite. Puis, comme dans l'exercice précédent ne vous posez pas de question et commandez des rotations de façon à recentrer les trois aiguilles en dégrossissant avec **50I15** et en affinant avec **5I1**. ATTENTION : Qui désigne **IMU** interdit ... la zone rouge ! Une fois que les trois aiguilles d'erreur sont parfaitement centrées, consultez le DSKY. On constate que les trois angles de la plate-forme inertielle correspondent à ceux qui sont codés par les molettes. On a donc amené l'orientation à respecter cette consigne mais cette fois non plus en relatif par rapport à une orientation de départ, mais par rapport à la REFSMMAT.

V34 E V49 E V25 E +04500 E +03000 E +06000 E

Inverseur **CMC MODE** sur **AUTO** et inverseur **SC CONT** sur **CMC** suivi de **P P**.

Comme vous vous en doutiez le DAP va amener le vaisseau à exactement l'attitude consignée dans V49. Mais comme les valeurs correspondent à celles des compteurs des molettes, les aiguilles d'erreur se recentrent parfaitement. Imposez 020 sur ROLL d'**ATTITUDE SET**. L'aiguille d'erreur part en butée.

V21 E +02000 E V49 E P P V16 N20 E

Laissez une fois de plus l'automatisme corriger l'attitude. Il va galérer un peu, car il prend son temps ... pour ne pas gaspiller les ressources énergétiques de bord. Puis avec patience les trois valeurs affichées sur le DSKY correspondent aux consignes des roues codeuses et les aiguilles d'erreur se trouvent toutes les trois bien au centre.



SOURCE sur **ATT SET**
ATT SET sur **IMU**

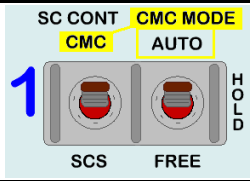
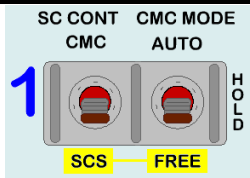
Les aiguilles d'erreur montrent de quel coté se trouve la cible angulaire sur l'IMU définie par les molettes d'**ATTITUDE SET**.

EXERCICE n°7 : Les deux FDAI en fonctionnement simultané.

Consultant le tableau des combinaisons possibles, on en déduit que ce mode standard est en fait la simultanéité de deux modes déjà rencontrés. À gauche on surveille la centrale inertielle dont la référence est la REFSMMAT. À droite nous avons les informations décrites lors de l'exercice n°3 situé en page 145. L'avantage, c'est que l'on surveille conjointement la centrale inertielle avec une anticipation plus grande de l'approche de la zone rouge interdite. Comme ce sera le mode standard sauf cas particulier, il importe de bien en comprendre ses affichages et la façon d'orienter le vaisseau soit par rapport à la REFSMMAT, soit en utilisant une référence locale gyroscopique issue de BMAG. Le petit dessin de la Fig.131 montre bien que pour le FDAI n°1 nous avons le comportement de la "ligne jaune du haut", alors que pour le FDAI de droite c'est la deuxième ligne jaune où l'on retrouve une combinaison identique. Le tableau fourni en haut de la page 149 résume globalement la situation. Bien qu'en principe nous ayons tout expérimenté, nous allons refaire quelques petites manipulations pour entériner définitivement ces concepts. Une fois encore **41) Triple zéro pour FDAI.scn** va nous servir de base de départ, l'idée de l'exercice consistant à transiter une ou deux fois entre orientation automatique avec le DAP et maintien d'attitude par utilisation du SCS. Comme visiblement le "triple zéro a été calibré par V49, on va débiter l'exercice par l'usage de la stabilisation par les gyroscopes. On bascule les deux inverseurs montrés dans la case RHC vers le bas. Il ne se passe rien. En effet, il n'y a pas eu de changement manuel d'attitude, donc pas de prise de référence. Amenez le vaisseau

②	⑦	⑧	FDAI n°1		FDAI n°2	
SELECT	SOURCE	ATT SET	Attitude	Erreur	Attitude	Erreur
1/2	Indif	Indif	IMU	CMC	GDC	BMAG 1
1	CMC	Indif	IMU	CMC	Le FDI est sur OFF inerte il reste bl	
1	GDC	Indif	GDC	BMAG 1		
1	ATT SET	IMU	IMU	CMC		

Fig.131

Résumé des affichages FDAI en standard SELECT 1/2				
	ATTITUDE	Aiguilles d'ERREUR	Référence	VALIDATION
FDAI n°1 de GAUCHE	Orientation de l'IMU dans la référence REFSMMAT	Ecarts par rapport aux valeurs de R1, R2 et R3 imposées par V49	Le contenu des registres R1, R2 et R3	
FDAI n°2 de DROITE	Dernière orientation de BMAG imposée avec le RHC	Ecarts par rapport à la dernière attitude BMAG imposée avec le RHC	Attitude au relachement du joystick	

en orientation 045, 010 et 020 par exemple. (*Lecture sur le FDAI n°2*) Une méthode simple pour obtenir rapidement le résultat et mémoriser l'attitude "gyroscopique" consiste à suivre la technique proposée dans l'encadré ci-dessous :

Technique simple pour orienter le vaisseau

- Inverseurs 1 : **SC CONT** sur **SCS** et inverseur 1 : **CMC MODE** sur **FREE**.
- Basculer les trois inverseurs 1 : **[MANUAL ATTITUDE]** vers le haut sur **ACCEL CMD**.
- Procéder à l'orientation souhaitée pour le vaisseau.
- Basculer les trois inverseurs 1 : **[MANUAL ATTITUDE]** au centre sur **RATE CMD**.

☞ L'attitude actuelle de BMAG est mémorisée.

Une fois l'attitude stabilisée, placez les trois compteurs d'**ATTITUDE SET** à zéro et cliquez sur le bouton poussoir **GDC ALIGN**, ainsi en "triple" zéro le FDAI de droite fournira une représentation facile à lire pour l'attitude actuelle. Réutilisons le DAP pour s'éloigner de cette attitude :

V34 E V49 E Placer les deux inverseurs **SC CONT** et **CMC MODE** vers le haut **P P**.

L'automatisme se réactive pour un triple zéro dans la REFSMMAT. À gauche la sphère d'attitude va indiquer cette orientation et les aiguilles d'erreur vont finir par se recentrer. Par contre, à droite "les gyroscopes" se sont déviés par rapport à leur référence mémorisée, donc les aiguilles d'erreur sont décalées. On comprend pourquoi les deux appareils présentent des affichages différents.

Pour vérifier que lors de la manipulation initiale la position adoptée manuellement a bien été mémorisée, basculez à nouveau **SC CONT** et **CMC MODE** vers le bas. La machinerie se remet à crépiter et le FDAI de droite va lentement rechercher son propre triple zéro. En réalité, ce rappel n'est pas parfait, la sphère du FDAI de droite ne retrouve pas exactement une orientation identique à celle de la mémorisation. Problème de tolérance ? Par contre une fois corrigé manuellement, l'attitude est maintenue avec rigueur.

Cette fois c'est la bonne, je crois que nous avons enfin abordé tous les aspects de l'utilisation des FDAI, que nous en avons admiré toutes les facettes. Vous devez commencer à en saturer, et je vous comprends un peu. Mais avouez que ces instruments sont assez fabuleux par la quantité d'information qu'ils concentrent en si peu de place. Oui, certains d'entre vous vont objecter qu'un seul MFD d'Orbiter fait bien plus. Seulement n'oubliez pas à quelle époque nous sommes quand nous respirons dans la capsule de NASSP. Personnellement je reste admiratif au regard de ce qu'on produit les ingénieurs et les techniciens de cette époque, sans manquer naturellement de souligner les innombrables petites mains, celles et ceux dont on ne parle jamais. À la fin du programme Apollo, un important dirigeant de la NASA a dit un jour : "Le monde se rendra compte de ce que nous avons fait ... le jour où nous déciderons d'y retourner." Alors dans les exercices qui vont suivre, quand vous cliquez sur un quelconque bouton, essayez d'imaginer l'immense complexité de ce qui se cache derrière le tableau de bord. C'est aussi ça NASSP ...



Ben môamôa ce tutonassp m'a donnée une idée. Je vais fonder un nouveau parti pilotable. Heueueueu, je veux dire politique. C'est la FDAI qui va devenir méga populaire : Fédération Des Astronautes Indépendants. C'est pas une bonne idée ça ?

Évoqué à plusieurs reprises dans les chapitres précédents, c'est un peu l'Arlésienne dans ce tutoriel. Il était temps d'aborder ce thème, d'autant plus qu'il participe directement au contrôle automatique de l'attitude du vaisseau. Oui, je sais que dans la page précédente j'avais laissé planer l'idée que pour le FDAI nous étions entièrement dédouanés ... Tromperie scandaleuse ! D'un autre côté, maintenant que nous sommes "bien chauds" sur le sujet, c'est le bon moment pour évacuer une fois pour toute cette facette de l'utilisation des FDAI. C'est promis, après ce chapitre nous aurons tout exploré dans le monde des bouboules diaboliques, nous passerons alors à un sujet très différent.

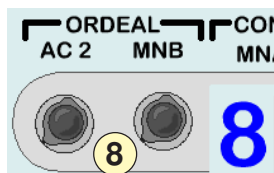
Vous ouvrez le document **TECHNOLOGIE 2.pdf** en page 43 qui explique en détail la finalité de ce dispositif et son principe fonctionnel. Oui, j'ai compris qu'après avoir lu tout ce verbiage, le concept n'est pas forcément devenu totalement limpide. À la base, l'idée consiste à maintenir le vaisseau dirigé constamment vers le sol de la Terre ou de la Lune pour en faciliter l'observation par l'équipage. Hors pour y arriver, le pilote va tout naturellement utiliser pour visualiser l'orientation de son vaisseau la sphère d'attitude des FDAI ainsi que les aiguilles de tendance. Quand le FDAI est en référence céleste il pointe "une étoile fixe dans l'Univers". Si le pilote cherche à conserver une attitude constante par rapport au sol, ailes à plat nez vers l'avant comme pour un avion par exemple, son orientation par rapport aux étoiles change en permanence. Le FDAI tourne constamment et n'est pas vraiment utilisable pour aider l'astronaute à conserver l'assiette relative du vaisseau par rapport au sol. Avec le système ORDEAL il devient possible de prendre un système de référence lié à l'astre survolé. La NASA a développé un mode d'affichage spécial sur les FDAI : Le mode ORDEAL constitué d'un tableau instrumental supplémentaire (*Le boîtiers 13 qui a été rajouté un peu comme une verrue dans l'espace confiné du module de commande*) situé à proximité du hublot de gauche. Pendant que le vaisseau est en orbite autour de la Terre ou de la Lune la sphère tourne afin d'adopter et de maintenir une orientation constante par rapport à la surface **imposant ainsi une attitude de référence immobile par rapport à la verticale locale**. Durant les plans de vol historique d'Apollo, le mode ORDEAL était la configuration standard en orbite autour de la Terre ou la Lune, à l'exception des manœuvres de transfert d'orbite ou celle de rendez-vous. Par contre, le vaisseau volait "toiture vers le bas" pour présenter vers le sol les hublots facilitant l'observation du terrain. Le principe est totalement analogue à la méthode utilisée dans les chapitres précédents relatifs au maintien d'attitude le vaisseau devant rester positionné avec son axe de roulis perpendiculaire au plan orbital. Il suffit alors de communiquer au vaisseau une vitesse de rotation correspondant au balayage angulaire sur la trajectoire pour que ce dernier conserve par rapport au vecteur vitesse un angle constant. Le système ne fonctionne correctement que si de surcroît l'orbite est circulaire, mais c'était un impératif lors des missions lunaires, autant pour la libération du LM que lors du rendez-vous à la remontée.

De la théorie à la pratique.

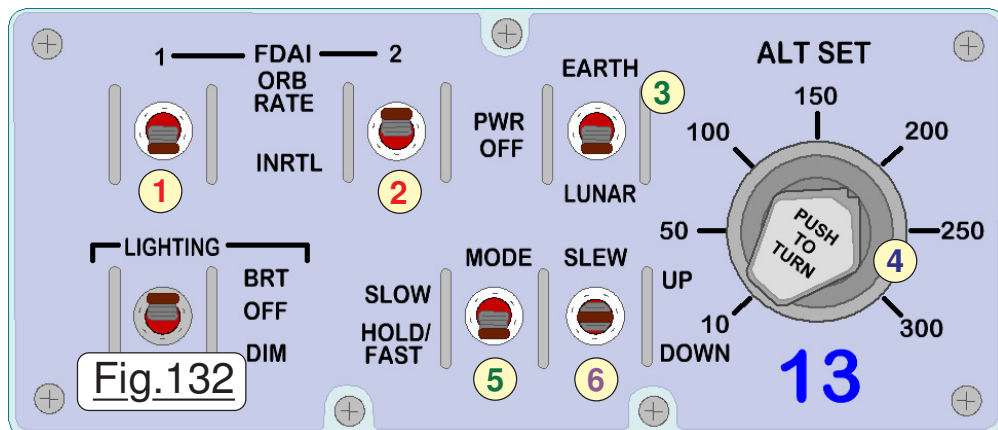
Dans l'état actuel des informations que j'ai été en mesure de glaner sur Internet, il semblerait que seul l'affichage sur le FDAI soit influencé par l'utilisation du système ORDEAL et que le maintien de l'attitude automatique ne soit pas encore émulé dans NASSP. Les nombreux essais que j'ai conduit pour tenter de démystifier ce dispositif m'ont amené à conclure que l'orientation du vaisseau restera à notre charge. C'est dans ce contexte de carences d'informations que nous allons limiter nos exercices. Désolé pour la pauvreté de ce chapitre, mais je n'ai pas mieux à vous proposer actuellement. Allez trêve d'introduction préambulaire baratinesque : Au travail !

EXERCICE n°1 : Comprendre le principe du système ORDEAL.

Dans le dossier <Diverses altitudes Lunaires> chargez **03) CSM autour de la Lune à 150km.scn** dans laquelle le vaisseau est déjà orienté en "PROGRADE". Si nous désirions respecter le plan de vol d'Apollo 11 il serait plus judicieux de choisir l'altitude de 200 km, mais étant situés plus bas la rotation orbitale sera plus rapide, donc plus favorable pour observer les événements. Comme nous sommes en cycle de formation, réalisez un ***** KILL ROTATION ***** avec le bouton **KLR** de **Project Apollo MFD**. **GDC ALIGN** pour replacer la sphère dans une position simple à interpréter sur l'instrument de droite. Ouvrez **SERVITUDES OPÉRATIONNELLES** en **Page 47** et inspirez-vous de **Procédure pour activer ORDEAL** : en commençant à ➤ **Activez la correction orbitale d'attitude** pour mettre en service le dispositif en cours d'étude. N'oubliez-pas d'alimenter en énergie en armant les deux sectionneurs **8**.
Page 150 Dans la procédure citée, actionnez les corrections sur les deux FDAI pour observer ce



qui va se passer durant cette petite expérience, mais dans un premier temps laissez l'inverseur **5** sur la position **HOLD/FAST** pour ne pas déclencher de correction. N'oubliez pas non plus de



sélectionner **LUNAR** sur **3** comme référence de calcul. Notez au passage qu'en **6** l'inverseur **SLEW** que vous utilisez pour recentrer la frontière des zones claires et foncées sur le FDAI de droite engendre une rotation sur les deux appareils autour de leur **axe de tangage**, et ce quelles que soient leurs orientations actuelles dans les deux appareils. Passez en accélération **10 x**, vous constatez que les deux FDAI restent figés dans leur orientation de départ. Rien de bien étrange à ça puisque le ***** KILL ROTATION ***** a "soudé" notre vaisseau par rapport aux étoiles. Il ne tourne pas par rapport à l'Univers, donc tous les systèmes gyroscopiques sont au repos. Puis, basculez **5** sur la position haute **SLOW**, on active le fonctionnement de la correction angulaire. On constate notamment que l'appareil de droite se met à tourner autour de l'axe de tangage, exactement comme si le vaisseau piquait du nez. Passez en vue extérieure avec **[F1]** pour vous convaincre qu'il est parfaitement immobile par rapport au ciel profond. En conclusion, les FDAI sont affectés d'une rotation "parasite" en tangage. En fait nous savons que ce ne sont pas les gyroscopes qui sont perturbés, mais uniquement les signaux de rotation qu'ils délivrent. Avec **4** passez à l'altitude minimale de 10Km avec le **BGS** placé au centre de **4**, maintenu enfoncé et faire glisser la souris latéralement. (*Sur la Lune c'est concevable, mais autour de la Terre ce serait une hérésie*) La rotation de compensation accélère. Ajustez pour l'altitude maximale de 300 Km. Manifestement la vitesse de correction est plus faible. Vérifions maintenant que cette compensation est crédible. Revenir à l'écoulement unitaire du temps. Ajustez **4** pour les 150Km de l'orbite actuelle. Bloquez la correction avec **5** placé sur **HOLD/FAST**, puis recalcr la sphère d'attitude avec **6**. Faire un **RESET** sur le **[MISSION TIMER]** puis le réenclencher avec **START**. Enfin libérer à nouveau la compensation orbitale avec **5** placé sur **SLOW**. Revenir en **10 x** et patienter. Quand la sphère du FDAI de droite aura tourné d'exactly 90° passez en **PAUSE** pour analyse. Sur mon ordinateur le chronomètre de mission affiche alors 33 min 42 sec.

ANALYSE : En regardant sur Orbit MFD on observe que la période orbitale fait 7360 secondes. C'est le temps mis par le vaisseau pour couvrir les 360°. On en déduit que pour effectuer un quart de circonférence il faut $7360 / 4$ soit 1840 secondes soit environ 30 minutes et 40 secondes. La correction effectuée est donc un peu fausse, mais n'oublions pas que ce système utilisait des circuits analogiques électroniques, et non un calculateur binaire sophistiqué. Ceci étant précisé, même si la correction n'est pas parfaitement mathématique, elle est déjà très utilisable, reste à savoir comment procéder.

EXERCICE n°2 : Utiliser le système ORDEAL pour une stabilisation locale.

Bien que contrairement aux systèmes d'Apollo dans NASSP la compensation n'est pas prise en compte par les automatismes, rien ne nous interdit de l'utiliser en mode manuel pour recalcr périodiquement le vaisseau dans une attitude relative par rapport au sol que nous aurons choisie à notre guise. Nous savons qu'il y a limitation dans les attitudes possibles à celles qui conservent l'axe de cabrage perpendiculaire au plan orbital, mais avec **01B) CSM à 50km et retourné.scn** cette contrainte d'orientation initiale est respectée. Cette situation nous place dans le pire des cas, car l'orbite basse est couverte plus promptement, donc le décalage angulaire est plus rapide. Passez en **PAUSE** pour avoir le temps de décortiquer un peu cette scène. Pour bien comprendre quelle est l'assiette choisie par l'équipage, passez en vue du hublot d'écoutille. Puis **[F1]** deux fois et usage de **↓** pour regarder bien dans son axe. On obtient une vue qui ressemble à la copie d'écran de la Fig.133 qui montre que nous sommes bien retournés, raison pour laquelle avec la molette nous avons adopté une initialisation à la valeur de 180 sur l'axe **ROLL**. Dans le FDAI la zone sombre sera bien



significative de la présence du sol. Passez en vue extérieure, vous constatez que le vaisseau est relativement cabré et non ailes totalement à plat. C'est parfaitement normal puisque l'équipage a décidé ici de surveiller l'horizon. Il a donc manœuvré le CSM pour avoir ce qu'il veut observer bien en face du hublot central. Compte tenu de la position de l'écouille par rapport à celle de l'équipage, on voit bien sur la Fig.134 que le CSM doit cabrer de façon notable pour que l'horizon soit bien en face. Cet exercice a pour but de voir comment ORDEAL va nous permettre de retrouver facilement cette attitude relative par rapport au sol quand le vaisseau aura "dérivé".

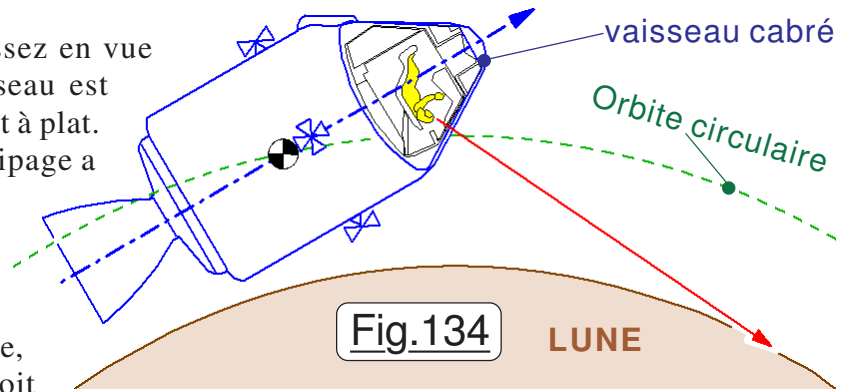


Fig.134

LUNE

Libérez la PAUSE, puis rapidement activez comme effectué dans l'exercice précédent la correction orbitale ORDEAL. Pour l'altitude logiquement on doit indiquer 50 km. Mais nous avons constaté une divergence de comportement de l'ordre de 8 à 10%. Il se trouve que cette imprécision semble assez proportionnelle à l'altitude de la trajectoire. Pourquoi ne pas appliquer une compensation comme elle se pratique en aviation sur les compas magnétique par exemple ? Le tableau fourni dans la procédure nous indique que pour une altitude de 50 Km il faut coder 32 sur le bouton rotatif. Une fois le système fonctionnel, le vaisseau étant en ***** KILL ROTATION *****, dès que vous basculez l'inverseur **MODE** en **5** sur la position **SLOW**, le FDAI n°2 nous montre en permanence notre attitude **par rapport au sol**, c'est à dire **par rapport à la verticale locale**. Mais il faudra en permanence agir en **Cabrage** pour conserver notre assiette, c'est à dire garder la ligne de séparation "Sol/Ciel" bien horizontale. On doit aussi s'attendre à

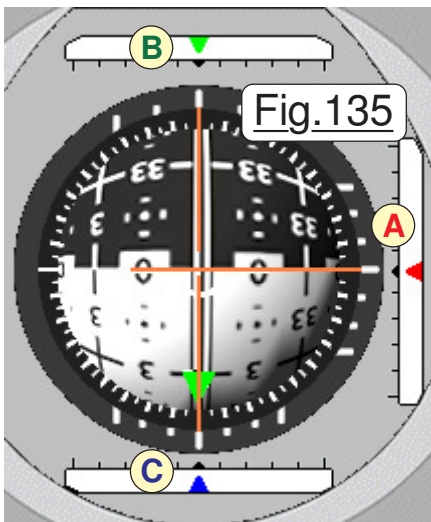



Fig.135

des dérives en **Roulis** et en **Lacet**. Libérer ***** KILL ROTATION ***** puis corriger aux RCS mais toujours recentrer **A**, **B** et **C**. Laisser la situation se dégrader de 30° par exemple. Accélération **10 x** pour gagner du temps puis revenir à l'écoulement temporel normal. Avec **8 num** ramener la sphère d'attitude à son orientation initiale comme montré sur la Fig.135 et vous constaterez dans le hublot d'écouille que le vaisseau "pointe" toujours vers l'horizon que l'on retrouve bien centré. **RÉSUMÉ** : Une fois le système ORDEAL initialisé et mis en compensation automatique, il suffit de faire cabrer (*Ou faire piquer si l'attitude est RÉTROGRADE*) le vaisseau de façon à maintenir l'orientation constante de la sphère d'attitude sur le FDAI n°2.

EXERCICE n°3 : Immobilité relative.

Cet exercice ne va rien vous apprendre de plus, car il constitue un rappel que je crois utile, sans plus. En page 92 nous avons appris à utiliser les télescopes de bord pour observer le sol. Il suffit ici d'utiliser les mêmes techniques pour maintenir l'horizon stable dans le SEXTANT. Dans ce cas nous avons initié une rotation lente au vaisseau qui va lui faire conserver globalement une attitude "locale" constante. Mais rappelez-vous que dans ce cas il faut solliciter les RCS avec beaucoup de sensibilité. Pour amener le vaisseau à cette lente rotation coupez tous les Quads sauf le A en passant à  leurs drapeaux respectifs sur le tableau 2. Si vous arrivez par une bonne stabilisation de l'horizon dans le SEXTANT à engendrer la vitesse de rotation synchrone, la sphère sur le FDAI ne tourne plus, et il n'y a plus qu'à admirer la Lune par les hublots frontaux. Enfin, pour terminer cet exercice, chargez le vol **02) CSM autour de la Lune à 100km.scn** mais commencez par faire piquer le vaisseau de 90° en contrôlant sur le FDAI de droite qui va pointer 270°. Cette fois on va admirer directement le sol à une attitude plongeante presque verticale. Recalez la sphère avec **GDC ALIGN** puis activez ORDEAL en ajustant l'altitude à 63 Km. (*Valeur de consigne corrigée pour 100 km d'altitude*) Chaque fois que vous voudrez retrouver cette orientation plongeante, il suffira aux RCS de recentrer la sphère d'attitude sur le FDAI n°2. En conclusion de ces petits exercices qui nous rendent apte à utiliser la fonctionnalité ORDEAL dans NASSP, notons que sur le schéma de la Fig.127 de la page 142, la compensation ORDEAL n'est pas ajoutée pour ne pas surcharger le dessin.

RÉCRÉATION ORBITALE :

Une pétition circule à la NASA. Des semaines que l'esclavage ne nous laisse pas une seconde de répit. Les astronautes commencent à accuser le coup, et le médecin a suggéré à P.... qu'une petite détente serait la bienvenue. C'était son intention, car il a bien vu que nous commettions des erreurs qui ne peuvent se justifier que par le surmenage. Aussi, contre toute attente il nous invite aujourd'hui à un petit amusement dans le simulateur. On va se faire un petit plaisir en abusant des incongruités de l'informatique, tout en confortant nos acquis relatifs aux rentrées atmosphériques et aux systèmes pyrotechniques. Figurez-vous que l'on va faire ouvrir les parachutes ... dans le vide sidéral ! C'est sidérant non ?

Revenir sur Terre, que ce soit sur un "ABORT" ou lors d'une plongée atmosphérique en fin de mission, comporte toujours en phase finale des actions incontournables visant à la sécurité des personnes, que ce soit l'équipage, naturellement, mais également les plongeurs des équipes de récupération. Normalement, si tout va bien, l'éjection du cône de protection, l'extraction des parachutes ou leur libération une fois le grand plouf terminé est entièrement automatique. Quand tout va bien ! Mais la nature intrinsèque du vol spatial génère forcément une foule d'incidents qui ne manquent pas d'émailler régulièrement tous les vols réels d'Apollo. Les équipages étaient bien préparés à faire face à toute éventualité. Cet exercice rentre dans le cadre de la gestion des pannes. Le système qui assure automatiquement la rentrée étant déficient, nous allons apprendre à gérer en manuel ces phases du vol.

Descente Atmosphérique :

Par exemple, en page 73 du tutoriel, nous avons déjà appris à réagir sagement quand une panne surgit. Le problème de ce chapitre est différent. Quand on détecte un dysfonctionnement, il est trop tard pour consulter les schémas et effectuer un diagnostic. Il faut réagir en temps réel. C'est l'objet de ces exercices très faciles, donc intéressants, mais également divertissants. ATTENTION : Si c'est l'automatisme qui se trouve en défaut, manuellement les commandes vont réagir. Mais si la préparation machine a été bâclée, un des sectionneurs ou inverseurs mal positionné et la fantaisie risque de tourner au drame, car il restera très peu de temps pour trouver l'origine de notre déconvenue. **PRÉPARER AVEC RIGUEUR UNE RENTRÉE ATMOSPHÉRIQUE EST UN IMPÉRATIF INCONTOURNABLE.**

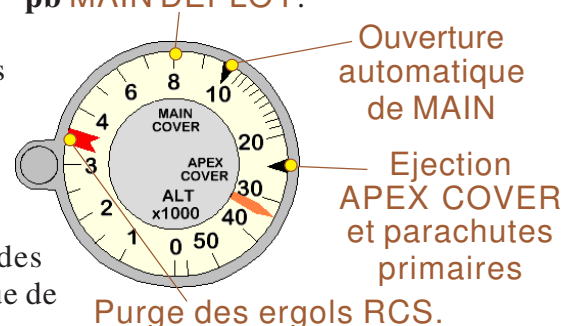
Pour analyser en détail les divers comportements des ensembles concernés et avoir tout le temps à notre disposition, nous allons travailler en orbite et ... dans le simulateur. Le fait de se trouver dans le vide simulera par nature une panne des automatismes puisque les altitudes de décision ne sont pas détectées. Nous allons nous servir de **43) CSM en orbite lunaire.scn** (Attention il y a deux scènes 43 !) qui présente l'avantage de mettre à notre disposition le CSM seul, mais avec le dispositif d'arrimage toujours en place.

Considérons la Fig.136 qui représente l'altimètre. C'est l'instrument prioritaire pour détecter les anomalies et réagir immédiatement en manuel. Quand l'aiguille bloquée en butée sur 50 commence à "redescendre", la phase la plus pénible du voyage est terminée. Comme expliqué dans la Check-list au chapitre *Descente Atmosphérique* en Page 13 il reste encore beaucoup à faire, et les actions sont déclenchées en fonction de l'altitude. Premier index, à 24000 ft, le cône de protection doit être éjecté. Si l'événement ne se produit pas il faut le déclencher à la main en appuyant sur le bouton poussoir sécurisé 1 : **APEX COVER JETTISON**. Si les pyrotechniques ne réagissent pas ... Mauvaise préparation, il y a urgence à trouver pourquoi. Nous allons en orbite examiner en détails les causes possibles de défaillance pour tous les éléments principaux de la descente, sauf qu'étant en orbite nous n'aurons pas à surveiller l'altimètre. On pourra prendre tout notre temps. Par contre, lors des retours atmosphériques, une rigueur exemplaire sera indispensable, car tout se précipite et nous n'avons plus le loisir de lambiner.

Enfin, l'index à 10000 ft nous incite à surveiller par le hublot d'écoutille. Si vers 8000 ft au plus tard les parachutes principaux n'ont pas été déployés, déclencher avec le bouton poussoir sécurisé 1 : **MAIN DEPLOY**. Vous avez déjà bien compris qu'éjecter le cône de protection sera suivi "illico" du bouton poussoir 1 : **DROGUE DEPLOY** pour l'extraction du parachute primaire. Enfin, quand l'aiguille rencontre l'index rouge, le moment est venu de se débarrasser des ergols et de l'hélium de pressurisation des RCS, fluides potentiellement agressifs pour les équipes de récupération.

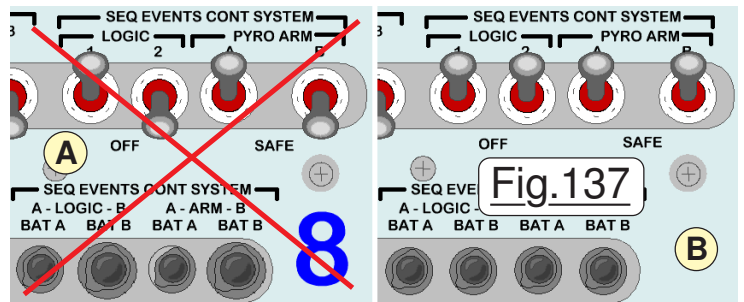
Si MAIN non déployé :
pb MAIN DEPLOY.

Fig.136

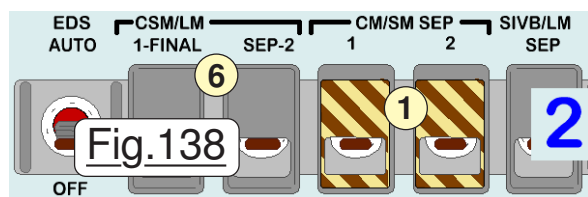


Préambule un peu long en page 153, j'en conviens. Mais il importait de bien situer les événements qui se déroulent au cours de la descente, c'est autant de gagné pour le chapitre qui sera consacré à la plongée dans le plasma terrifiant du retour sur Terre. On peut enfin s'amuser. Ouvrir le document [SYSTÈMES APOLLO.pdf](#) en page 6, la Fig.3 étant primordiale pour bien cerner les divers circuits incriminés dans d'éventuelle mal fonctions. Notez au passage que les systèmes techniques relatifs aux parachutes ne sont fonctionnels que lorsque le SM a été largué. C'est une sécurité supplémentaire pour minimiser des déclenchements intempestifs durant la mission. Comme pour pouvoir tester ces technologies on va devoir éjecter le SM, la configuration du CM est déjà en place pour simplifier l'exercice.

Normalement le mécanisme d'arrimage du LM est éjecté bien avant la phase de rentrée atmosphérique. Mais volontairement on a "oublié" pour vous montrer que l'on ne peut pas larguer le cône de protection si ce gros ensemble est encore en place. Procédez au largage du SM. Il suffit de valider les pyrotechniques sur le tableau 8. En standard,



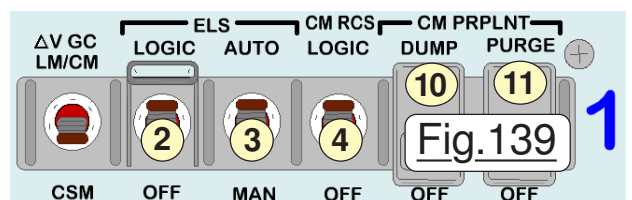
comme montré sur la Fig.137 **A**, on n'active que les circuits 1. Mais pour la phase de descente, vu que les événements vont se précipiter, on engage à la fois le circuit 1 et le circuit 2 pour redondance, configuration représentés en **B**. Armez-donc les quatre sectionneurs et positionnez vers le haut les quatre inverseurs. Une fois que le vaisseau est entièrement configuré en vue de la séparation définitive, ce qui est le cas dans cette scène, procédez à l'allumage des systèmes explosifs en forçant vers le haut l'un des deux inverseurs sécurisés **1** durant une seconde au minimum. Passez en vue extérieure pour admirer le dégagement du



fidèle module de service devenu encombrant et inutile. Ses RCS sont automatiquement activés pour le mettre en rotation, mais surtout pour l'éloigner du CM et minimiser ainsi les risques de collision. Si avec **F3** vous focalisez la caméra sur [AS-506-SM](#) vous verrez que la translation arrière va fonctionner jusqu'à épuisement complet des ergols RCS.

Réintégrer le CM. Comme la préparation était soignée, la séparation se fait silencieusement. Mais si nous n'avions pas positionnés correctement une foule d'éléments, nous serions confrontés à de multiples alertes.

Attention, une fois la séparation effectuée le CM n'est plus en liaison avec la centrale électrique. (*Les piles à combustible*) Notre autonomie résulte désormais des réserves disponibles dans les batteries du CM. Il importe donc de couper toutes les consommations inutiles AVANT SÉPARATION, ce qui n'est pas le cas dans cette scène "simplifiée". Surtout, la séparation est retardée le plus possible, compatible avec un délai suffisant pour écarter franchement les deux modules et nous laisser le temps de positionner la capsule pour effectuer la rentrée. Revenir dans [Columbia](#) et repassez sur les tableaux 2D. Positionnez les trois inverseurs **2**, **3** et **4** conformément aux procédures de rentrée. Dans cette combinatoire les automatismes d'ouverture des parachutes sont armés. Comme nous simulons une panne, on va un à un déclencher les événements attendus, étant supposés le faire à l'altitude préconisée.

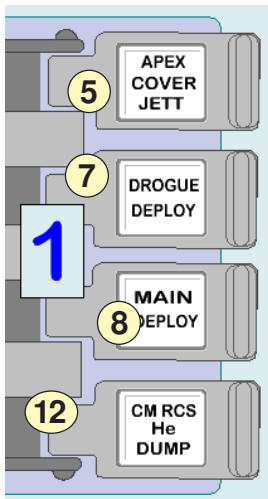


Commencer par séparer le système d'arrimage du LM avec l'un des deux inverseurs **6**. (Fig.138) Passez rapidement en vue extérieure pour le voir s'éloigner. Puis, avec le bouton sécurisé **5** de la Fig.140, procédez à l'éjection du cône de protection des parachutes. Promptement, avec la touche **[F1]**, observer en parfait touriste l'éloignement de cet accessoire. La "gamelle" repoussée s'éloigne assez rapidement du CM. Vous constaterez plus tard qu'en atmosphère, si vous observez en vue extérieure, une fois le parachute primaire établi elle retombe plus rapidement et repasse pas très loin de la capsule pour aller se perdre en mer. L'éjection du cône de protection est suivie sans attendre de l'extraction du parachute primaire en

Ben Môamôa je dis qu'avec tous ces détritux que l'on jette sur notre route, va falloir faire un peu le ménage !



Fig.140





en cliquant sur le poussoir sécurisé **7**. Est-il indispensable de préciser que l'observation de ces diverses étapes se fait par le hublot d'accostage ? Fabuleux, ils se déploient dans le vide et nous freinent comme des grands. C'est rigolo non ? *(Je tente vainement ici de vous faire croire que c'est une récréation, mais je sais que vous n'êtes pas dupes)* Logiquement nous attendrions l'altitude de 8000 ft pour constater la non extraction du parachute principal. En cliquant sur **8** on provoque sa sortie que je vous invite à observer immédiatement en vue extérieure. Pour éviter un risque d'emmêler les suspente et un choc dynamique à l'ouverture, dans une première phase ils sont restreints en forme de champignon diminuant le "maître couple". Puis, des dispositifs pyrotechniques sont automatiquement déclenchés pour obtenir leur pleine ouverture. On se doute que l'extraction des parachutes principaux s'accompagne aussi de l'éjection des ombrelles primaires. L'étape suivante va consister à consommer les ergols qui restent dans les réservoirs des RCS. Ces éléments chimiques s'avèrent très agressifs contre les plongeurs qui vont venir aider les astronautes à évacuer la capsule. Il faut les "évaporer" avant le grand Splat. La purge ne sera possible que si les RCS du module de commande ont été activés. En principe, c'est juste après la séparation. Il faut dans ce but pousser vers le haut les inverseurs à rappel central **9**. Par exemple sur la Fig.141 les groupements 2 ne sont pas mis en pression car leur drapeau affiche  au lieu de . On procède en deux temps. Quand l'altimètre indique 3500 ft (*Index rouge*) on bascule l'inverseur **10** en position haute. Immédiatement l'intégralité des RCS se déclenche et l'on observe sur **A** de la Fig.142 la baisse des deux index pour terminer à 800 PSIA sur l'échelle de droite. Il faut au préalable avoir positionné **B** soit sur **CM 1** soit sur **CM 2**. Durant la brûlure

Fig.141

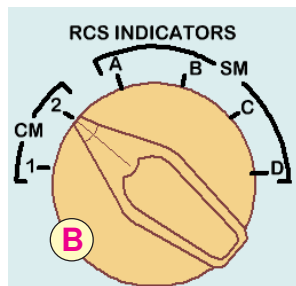
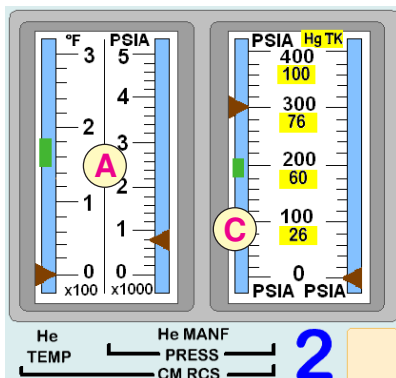
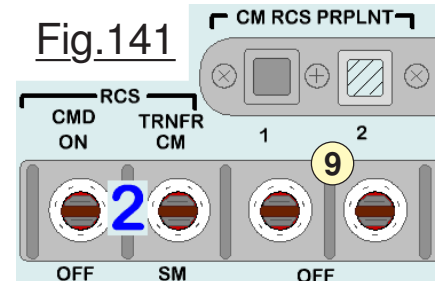


Fig.142

l'hélium, ce que l'on fait en plaçant en position haute l'inverseur sécurisé **11**. En vue extérieure une belle fumée s'évade tout

autour du vaisseau, mais le phénomène ne dure pas. Si vous rentrez promptement dans le CM l'index de pression He sur l'échelle **C** descend rapidement. Puis les deux alarmes **CM RCS 1** et **CM RCS 2** se déclenchent. Acquitter pour faire cesser le vacarme. Terminer par **12** est une "redondance" dans la Check-list, mais actionné durant **10** il engendre une purge sans allumage des RCS. Dans une descente atmosphérique, le grand Splat conclue la mission.

Mais dans l'optique omniprésente de l'embêtement maximum, la météo s'est dégradée durant le retour. Nous nous trouvons en limite d'une dépression avec un vent de force six à sept. Comme l'automatisme est en panne, les parachutes principaux ne sont pas largués, imaginez le spectacle. À l'image de trois grosses voiles ils restent gonflés et tirent fortement sur la capsule, lui imposant une forte gîte. Il importe alors rapidement de les larguer avec l'inverseur **13**.

GLUPS encore une panne !

Qu'à cela ne tienne, vous savez comment procéder. Vous consultez le schéma des Pyrotechnique en page 6 du manuel [SYSTÈMES APOLLO.pdf](#), vous repérez la chaîne fonctionnelle relative à **1** : MAIN RELEASE et en un rien de temps vous trouvez l'origine de ce refus. Vous corrigez l'incident et larguez les parachutes. Vous êtes parés pour réaliser une vraie rentrée atmosphérique.



Yen a marre du coup de la panne,
on devait s'amuser qu'il avait promis le
Nulentout !

Partant de l'inverseur en cause on remonte jusqu'à la source en vérifiant chaque élément. On arrive à la conclusion que le sectionneur **27** n'a pas été armé.

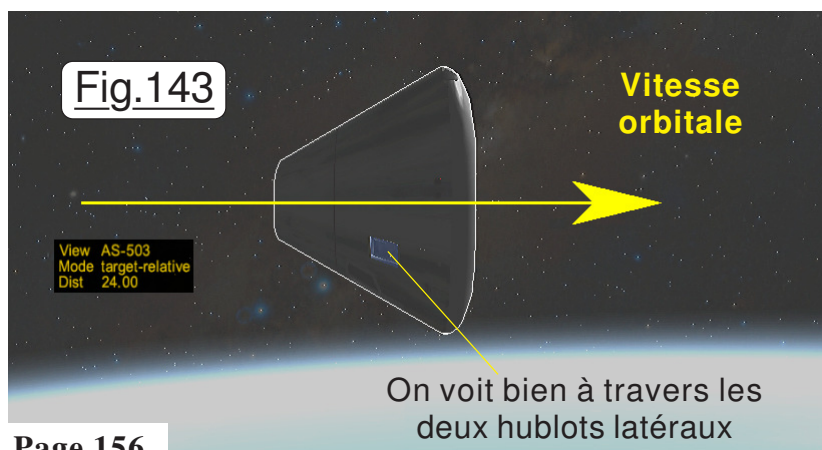
RETOUR EN ENFER > LA RENTRÉE ATMOSPHÉRIQUE :

Incontestablement c'est la phase la plus redoutée des astronautes, que ce soit en Navette ou dans des capsules de rentrée. Compte tenu des dangers inhérents présentés par les échauffements cinétiques, c'est la période la plus risquée, toute faiblesse dans les boucliers thermiques conduisant implacablement à la perte de l'équipage. Déjà quand tout est parfait sur le plan technique, les passagers sont très éprouvés. D'une part ils subissent des accélérations importantes, d'autre part le plasma qui entoure la cellule est pour le moins stressant, sans compter le bruit considérable que fait l'air sur la peau si mince du vaisseau. Enfin ils sont totalement isolés. Les ondes radio ne peuvent ni sortir, ni pénétrer dans cette cage de Faraday que forment les couches fluides incandescentes tout autour de la capsule.

Pour achever la description de ce tableau idyllique, quand on rentre d'une orbite basse, la vitesse du vaisseau avoisine les 8 km/s. C'est déjà considérable. Mais un retour de la Lune est bien plus rapide. Attiré par la Terre le vaisseau accélère et déboule dans l'atmosphère aux environs de 11 km/s. L'énergie cinétique à résorber est bien plus grande. Le freinage atmosphérique sera bien plus "viril" et l'équipage soumis à plus de "mauvais G". Enfin, pour avoir une idée des phénomènes, prenez un galet. Lancez-le dans l'eau plate d'un lac avec force. À la verticale, il percute fortement l'onde et éclabousse tout le tour. À l'horizontale il ricoche à plusieurs reprises avant d'accepter l'immersion. C'est exactement analogue pour le CM. S'il pénètre trop à la verticale, il grille et l'équipage sera tué par les G. S'il pénètre avec un angle trop faible, à l'image du galet le vaisseau ricoche sur l'atmosphère et va se perdre à l'infini. Autant dire que les corrections de trajectoire lors du retour lunaire sont très étudiées. Le couloir de rentrée est très fin, la tolérance minime. Dans les exercices qui suivent, nous allons éluder provisoirement le problème des corrections de trajectoire ou de décrochage d'orbite. La situation proposée nous place bien gentiment dans une rentrée orbitale. On va uniquement réviser les procédures du chapitre précédent. Quand vous chargez la situation **44) Rentrée atmosphérique sans se tuer.scn**, le freinage de désorbitation a été effectué. Le SM a été largué et le CM est positionné pour effectuer correctement notre plongée dans "le feu de l'action". Comme une rentrée ne s'improvise pas, on ouvre **TECHNOLOGIE DES MISSIONS APOLLO** en page 47 histoire de se documenter sur les retours atmosphériques. Dans cette scène le calculateur du module de commande n'est pas opérationnel, on va piloter en manuel.

EXERCICE n°1 : Une première rentrée en touriste.

Globalement nous n'aurons rien à faire, la plongée dans l'atmosphère se faisant dans des conditions pratiquement idéale, nous allons nous contenter de "subir les événements". Le but de cet exercice consiste à observer le déroulement de la rentrée, puis de le commenter. Notez au passage que pour regrouper les instruments les plus importants (*Système EMS, Accéléromètre, Altimètre et FDAI*) nous utilisons le FDAI de gauche. De plus, pour ménager au maximum l'énergie des batteries, l'IMU étant coupée, on n'alimente que le FDAI n°1 comme vous pouvez le vérifier sur le tableau 7. Comme nous ne sommes que des spectateurs regardant un film, on passera sans hésiter en vue extérieure pour mieux appréhender les phénomènes qui s'acharnent sur notre frêle vaisseau. Notre première observation va consister à passer en vue extérieure, à zoomer sur le CM de façon à voir à travers le hublot latéral. Puis, "bouger la caméra" de manière à aligner le hublot d'en face. Reculer progressivement le point de vue. Par exemple la Fig.143 donne une idée de ce que l'on doit observer. Le but de cette petite manipulation consiste à se placer exactement sur le côté, et ainsi évaluer l'angle d'incidence le moment venu. Reculez



encore un peu pour observer de plus loin, à une distance d'environ 24 m. (*Lue dans le texte jaune en haut à gauche de l'écran vidéo*) Le défilement par rapport au sol nous permet de tracer le vecteur Vitesse orbitale. La capsule est bien en rétrograde et présente son bouclier thermique vers le vent relatif quand on touchera les couches denses de l'atmosphère. Restez en vue extérieure. Respectant les protocoles, les astronautes ont bien la tête vers le bas, mais

contrairement à ce que préconise la procédure montrée Fig.80 en 4, le CM n'est pas du tout assez cabré. L'avant devrait pointer environ 30° vers le haut. Ne faites rien, attendez avec patience les premières traces de plasma. Éventuellement vous pouvez passer en accélération temporelle **10 x**, mais au plus petit rougeoiement revenir à l'écoulement normal. Ne plus accélérer temporellement jusqu'à l'impact. Dès que les frottements gazeux viennent exercer une pression dynamique sur le bouclier thermique, conformément à la théorie le vaisseau change naturellement d'attitude. Comme expliqué en Fig.75 du document technique, l'inertie génère un couple cabreur dans le sens désiré car on a volontairement placé le plafond vers le bas et les systèmes massifs vers le haut. On va voir par la suite que cette orientation aérodynamique est stable.

Immédiatement après avoir constaté ce cabrage naturel de la capsule de rentrée, revenir en vue intérieure. L'accéléromètre décolle à peine et **0.05G** n'est toujours pas détecté. On constate que sur l'indicateur représenté sur la Fig.144 l'aiguille reste orientée vers le haut. Effectuez un recalage 180/030/000 du FDAI. Notez au passage que le 30° en cabrage sur le FDAI n'est pas innocent. Il correspond à l'attitude que présentera le vaisseau une fois son orientation stabilisée par le sillage. La sphère se dandine, elle oscille un peu dans toutes les directions, mais globalement conserve assez bien un "centrage moyen". Dès que le témoin **0.05G** s'illumine, imposez une PAUSE et passez en vue

Fig.144

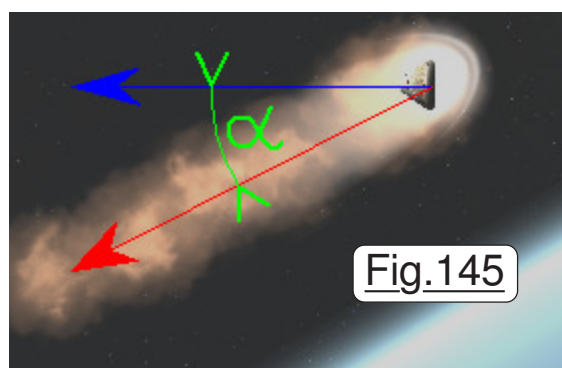


Fig.145

extérieure à environ 200 m. La Fig.145 représente une copie d'écran, mais effectuée en étant plus proche pour mieux repérer la capsule Apollo. On vient de pénétrer dans les couches hautes de l'atmosphère et l'air impose l'orientation. Mais comme toute divergence provoque un rappel aérodynamique, le vaisseau compense de lui-même. Comme il y a des dépassements par inertie, des sortes de surcompensations assez analogues à ce que l'on avait constaté lors du maintien d'attitude par l'AGC, il en résulte des oscillations. Bien que le freinage soit encore dérisoire (0,05G) la fournaise devient nettement visible en vue extérieure. Le vecteur rouge sur la Fig.145 représente notre sillage, par conséquent c'est la réciproque du vecteur vitesse par rapport à l'atmosphère. Le vecteur bleu représente l'axe de roulis de la capsule de rentrée. On retrouve l'angle d'incidence α , à comparer avec la Fig.74 du document technique. En résumé, nous ne dominerons pas cet angle. C'est une caractéristique intrinsèque des capsules Apollo. Dans un prochain exercice, on tentera d'agir en lacet et en cabrage, mais vainement et on n'arrivera pas à dévier le bouclier thermique. **L'attitude en cabrage et en lacet est comme soudée à l'écoulement de l'air.** Quand **0.05G** s'illumine, l'enregistreur graphique commence à dérouler le film de mylar et à inscrire une trace qui sera conservée pour analyse ultérieure. Réitérez encore un **GDC ALIGN**. À ce stade, contentez-vous de "subir" la rentrée qui va se faire "sans nous". On ne va strictement rien faire, le vaisseau va se poser tout seul comme un grand.

Visiblement à l'extérieur ça tabasse ferme, mais il faut endurer. Consultez fréquemment l'accéléromètre, vous remarquerez que cette rentrée est tout compte fait bien gentille, c'est une ballade pour fillette. À aucun moment on ne dépasse 2,5 G ce qui représente les tourments subits par les adeptes de chenilles infernales dans les parc d'attraction. Vous constatez également que la sphère d'attitude sur le FDAI gigote sans interruption mais ne s'éloigne jamais beaucoup de l'attitude initiale, ce qui confirme la stabilité naturelle de l'incidence. Dans le pire des cas l'amplitude totale des oscillations reste inférieure à $\approx 25^\circ$. Ce n'est que vers la fin "du calvaire" que l'attitude change franchement, car la trajectoire devient plus verticale et l'orientation est brusquement modifiée par la sortie des parachutes. À l'altitude de 25000 ft on entend un message vocal "DROG" et par le hublot d'écoutille on voit les deux petites coroles se déployer. L'enregistreur graphique "accuse le coup". Vers 10000 ft, comme prévu le parachute principal s'ouvre.

Pour le plaisir, passez en vue extérieure et observez du bas vers le haut. On voit au loin le cône de protection. Il semble se balader latéralement, mais c'est une illusion. C'est notre vaisseau qui



Et bien Môamôa les exercices où il n'y a strictement rien à faire, j'adore. Ce sont les seuls où j'arrive à respecter rigoureusement les consignes

subit des oscillations de nature pendulaire. Restez encore à l'extérieur.

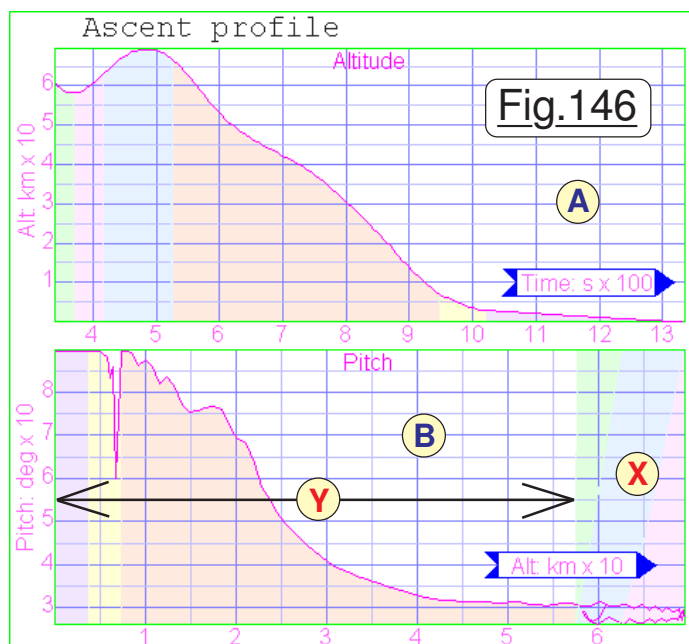
Admirez l'ouverture du parachute principal et l'éjection du frein primaire. Surveillez "la casserole", rapidement elle retombe et nous dépasse. En fait, ce n'est pas elle qui a accéléré, mais c'est nous qui avons ralenti de façon significative. Repassez à l'intérieur. L'enregistreur graphique EMS (*Entry Monitoring System*) a tracé une deuxième impulsion. Surveillez l'altimètre. Vers 8200 ft une annonce vocale précise "twenty five hundred". Il s'agit d'une "surcharge" propre à Orbiter qui prévient que nous passons les 2500 m de hauteur. Ce petit plus sonore qui agrmente bien notre simulateur reste un peu anachronique puisque à l'époque d'Apollo les hauteurs étaient exprimées en pieds, comme c'est précisément le cas sur l'altimètre de bord. (*Sachant qu'un pied avoisine 0,3048 m on a bien $2500 / 0.3048 \approx 8200$*) Quand l'aiguille de l'altimètre arrive à l'index rouge, placez l'inverseur **10** de la Fig.139 sur **DUMP** pour commencer la vidange des ergols. Un petit regard en vue extérieure pour comprendre que tous les moteurs RCS sont activés pour accélérer le processus et obtenir des poussées qui s'opposent. Vers 3300 ft Orbiter prévient : "One thousand". (*1000 m \approx 3200 ft*) Vers 160 ft, quand Orbiter précise "Five hundred", les ergols sont vidangés. Passez immédiatement à la purge de l'hélium de pressurisation avec **11** placé sur **PURGE**. En vue extérieure l'évaporation est visuellement très réussie. De courte durée, elle se termine vers 100 ft et déclenche l'alarme qu'il faut acquitter. Les jauges sur **A** de droite et **C** sont à zéro. (Fig.142) Puis c'est le grand plongeon pas spécialement apprécié des équipages, car l'impact est assez rude. Du reste **Project Apollo** MFD flashe parfois un court instant sur **Crew status : CRITICAL**. Sur le ruban déroulant de l'EMS le stylet accuse franchement le coup. À ce stade il resterait encore fort à faire pour achever la Check-list, mais ce n'est pas l'objet de cet exercice, alors libre à vous de terminer le travail ou d'enchaîner une autre expérience.

Débriefing de ce premier retour au Bercail.

A vant de se lancer dans une expérience plus active, il importe d'analyser en différé les éléments enregistrés pour mieux comprendre les phénomènes présents, le comportement du vaisseau, les indications fournies par l'EMS. Il sera alors possible d'oublier l'enregistreur d'Orbiter et de n'interpréter et utiliser que ce qui était présent sur Apollo. Cette première descente a été une petite promenade, car la situation initiale plaçait le CSM en approche idéale. Il n'en sera pas toujours ainsi. Je vous invite au passage de réitérer cette première expérience pour repasser le film, ensuite on va commenter les enregistrements. Si pour l'équipage cette torture semble durer des heures, en réalité, entre l'apparition des toutes premières lueurs rougeoyantes et l'impact avec l'océan il ne s'écoule que 28 minutes. La Fig.146 représente une copie d'écran d'**Ascent profile** MFD traduisant notre profil de rentrée qui vous l'avez compris sera totalement prohibé lors des vols réalistes. (1) Le graphe **A** est le plus simple à interpréter et à comparer à la Fig.77 du document technique, en la symétrisant verticalement. La zone vert pastel correspond à la plongée primaire avec forte poussée vers le haut. La portance arrive à annuler notre chute et en zone rose nous repousse vers le haut. C'est le ricochet prévu dans le plan de vol. L'altitude augmente. La vitesse est suffisante pour nous envoyer hors atmosphère durant le vol balistique colorié en bleu clair. Ce "rebond" est volontaire. Le freinage primaire est très rude, il faut refroidir le bouclier thermique. Puis, zone orange, le calvaire recommence. On retrouve à forte vitesse les couches denses de l'air. Le freinage cinétique est intense. La vitesse diminue rapidement et l'on perd de l'altitude. Bien que notre vitesse régresse, le freinage devient plus intense car l'air rencontré augmente de densité. Arrivé en zone jaune, le parachute primaire entre en action. La perte d'altitude devient plus lente. Enfin, dernière zone rose, c'est la descente pleinement ralentie par les trois parachutes. Le graphe **B** est plus subtil à interpréter et il n'y a pas de correspondance verticale entre les deux tracés. Horizontalement, ce

(1) **Ascent profile** MFD n'est pas forcément disponible dans la liste quand vous cliquez sur **SEL**, il faut le valider :

Modules > ☒ CustomMFD .



sont les altitudes qui sont repérées. Comme les trois couleurs vert, bleu et rose "interviennent" entre 58 km et 70 km, dans la région **X** j'ai symboliquement tout colorié en diagonale. La région **Y** est plus directement représentative du cabrage. (ATTENTION : Sur ce graphe c'est le cabrage qui est représenté, et non l'angle d'incidence relativement stable) On remarque qu'entre 57 km et 22 km de hauteur le cabrage évolue de façon assez régulière. Comme l'incidence est "constante", c'est la trajectoire qui s'incurve. Entre 22 km et 8 km les oscillations deviennent plus marquées. Du reste dans les protocoles de la NASA il est prévu la possibilité d'ouvrir le parachute primaire dès que la vitesse le permet pour stabiliser plus rapidement la capsule de rentrée.

Pour terminer l'analyse de ce vol, ouvrez **TECHNOLOGIE APOLLO.pdf** en page 75 et lire entièrement le chapitre situé sous l'encadré concernant la *Nouvelle fonctionnalité dans ProjectApollo*. Vous avez une vision complète de l'utilisation et de l'interprétation du boîtier EMS. Nous pouvons passer à des exercices concrets pour mettre en pratique ces informations trop théoriques.

EXERCICE n°2 : On va Draguer Lift !!!

Lexercice très simple, nous allons encore laisser notre vaisseau pratiquement à l'abandon. Encore avec la scène **44) Rentrée atmosphérique sans se tuer.scn**, nous allons matérialiser les actions mécaniques subies par le CM en visualisant les vecteurs force. Nous allons également profiter de ce vol pour "tester les soudures". Ce jeu de mot stupidunulentesque fait allusion au texte écrit en violet et en gras dans la page 157. L'expérience va consister à brutaliser le vaisseau en Cabrage et en Lacet pour vérifier que c'est en vain. Les exercices qui suivront vont ensuite pouvoir nous convaincre qu'un module de rentrée Apollo se pilote effectivement en roulis avec des conséquences évidentes sur l'inconfort de l'équipage.

Pour visualiser les vecteurs force dans Orbiter la procédure est fort simple. Après avoir chargé la scène, mettre en PAUSE > **[F4]** > Visual helpers ... > Forces > puis comme montré sur la Fig.147 cochez les six cases jaunes. Validez la puce montrée en rouge, car si l'on veut vérifier la résultante, il ne faut pas utiliser les échelles logarithmiques. Pour l'échelle **Scale** du 50% convient parfaitement. (Attention pour ceux qui utilisent le "client graphique D3D9RC44" qui est incompatible avec la visualisation des vecteurs force. Consultez la note en bas de la page 15 du document d'introduction)

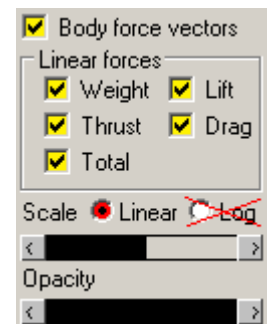


Fig.147

Libérez la PAUSE. Dans un premier temps l'effort total **F** représenté en blanc qui s'exerce sur la cellule est égal au poids **G** représenté en jaune. Se placer bien en face du vaisseau et utiliser les commandes **4 num** et **6 num** pour le placer bien "à plat" en amenant le vecteur **G** exactement entre les deux hublots. Repasser en vue intérieure, annuler rapidement toutes les rotations en vous servant du FDAI et initialiser le RSI avec **GDC ALIGN**. Comme pour l'exercice précédent en **10 x** attendre l'apparition du plasma. Commence alors à se voir le freinage par la trainée **Drag** représentée par le vecteur rouge **D**. Vous n'aurez pas à attendre longtemps pour que la portance **Lift** représentée par le vecteur vert **L** ne prenne une longueur significative. Par exemple attendre que le compteur de mission affiche **21 10**. Placer Orbiter en PAUSE, ainsi on peut à convenance observer l'extérieur à loisir. Placer la caméra de façon à voir le CM de coté comme montré sur la Fig.148 ci-dessous. On peut vérifier que le poids **G** est bien orthogonal à l'horizon matérialisé par l'atmosphère bleue. La trainée **D** est bien dans le sillage matérialisé par le plasma. On note également que la portance **L** est bien perpendiculaire au vecteur vitesse, qui par définition est opposé à la trainée **D**. La résultante de toutes les actions mécaniques subies par le CM se construit en faisant la "somme géométrique" des forces appliquées à notre mobile :

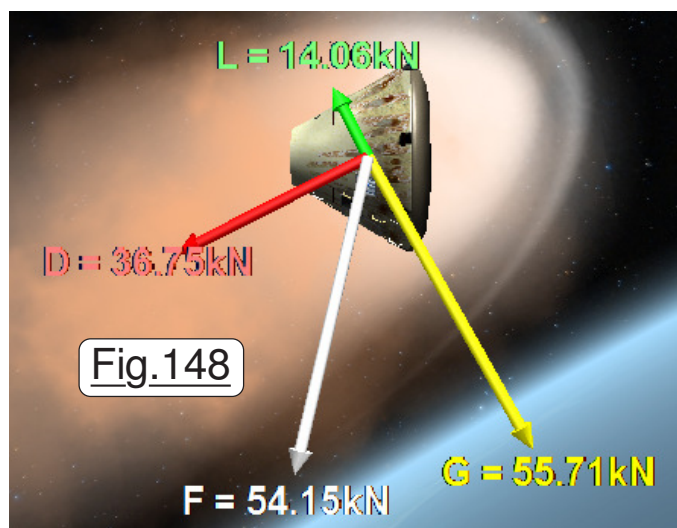


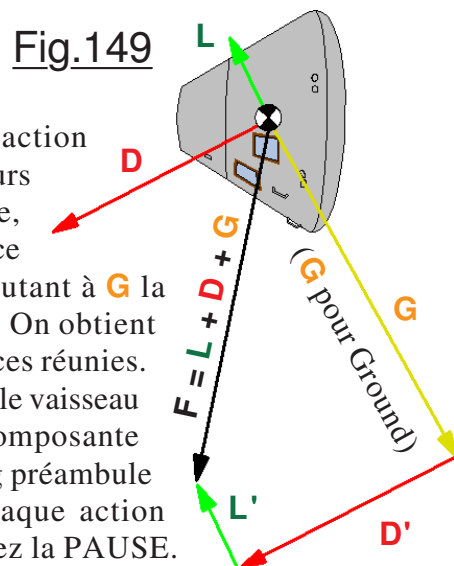
Fig.148

La trainée **D** est bien dans le sillage matérialisé par le plasma. On note également que la portance **L** est bien perpendiculaire au vecteur vitesse, qui par définition est opposé à la trainée **D**. La résultante de toutes les actions mécaniques subies par le CM se construit en faisant la "somme géométrique" des forces appliquées à notre mobile :

$$\text{Résultante } F = L + D + G.$$

Pour ceux qui ne savent pas comment construire une somme vectorielle, souvent nommée "somme géométrique", la Fig.149 va nous permettre de comprendre ce concept tout simple.

L'idée vient du fait que l'effet global de plusieurs forces (*Les mécaniciens utilisent le mot action mécanique*) appliquées sur un mobile ont le même effet qu'une force unique dont les composantes dans l'espace sont égales aux sommes des composantes de chaque action individuelle. Concrètement, il suffit de "mettre bout à bout" les vecteurs représentatifs de chaque force pour trouver l'effet global. Par exemple, notre mobile Fig.149 subit trois actions qui sont la pesanteur, la portance et la traînée. L'action combinée de ces trois forces s'obtient en ajoutant à **G** la traînée **D** tracée en **D'**, puis au bout de **D'** on ajoute **L'** le clone de **L**. On obtient **F** qui à elle seule aurait exactement le même effet que les trois complices réunies. Dans cet exemple, l'effet commun représenté par **F** tend à tirer fortement le vaisseau vers le bas et pousser sur lui de l'arrière vers l'avant. Comme cette composante est opposée à la vitesse, le mobile ralentit. Vous pouvez suite à ce long préambule repasser sur Orbiter. Vous comprendrez maintenant l'effet de chaque action mécanique individuelle **G**, **D**, **L**, et de leur action commune **F**. Libérez la PAUSE.



On constate que le poids **G** ne change pas de grandeur : une évidence. Par contre la traînée augmente de façon significative, et la portance dans une moindre mesure. Comme les poussées aérodynamiques augmentent d'intensité alors que le poids reste constant, l'effet résultant s'approche lentement de la traînée. La capsule est donc de moins en moins tirée vers le bas, par contre le freinage augmente. On voit "qu'oublier" les trois actions élémentaires pour ne focaliser notre raisonnement que sur leur résultante est bien plus commode. Quand les forces de frottement passent par un maximum, revenir en vue intérieure et regardez le RSI et le FDAI. Avec **1 num** tentez de mettre le vaisseau en dérapage latéral, avec comme intention de décaler la trajectoire sur le côté. Bernique, le vaisseau refuse. Vous avez beau vous escrimer à faire chuintier les RCS, le FDAI montre clairement qu'une main invisible replace le vaisseau dans son orientation initiale. Quand le CM accepte de conserver un peu de lacet, on remarque que du roulis induit à fait dévier le RSI. C'est ce phénomène qui engendre cette légère acceptation de décalage latéral. On peut en conclure que tenter de modifier le lacet est voué à l'échec.

Avec les RCS ramener le RSI bien vertical. Puis, tenter de diminuer le cabrage avec **2 num**, par exemple pour modifier la portée du plané. Sur le FDAI l'indicateur de taux de variation reste pratiquement figé. Vous pouvez insister lourdement, le vaisseau est plus buté que vous. Il refuse tout changement de cabrage. Vous pouvez tenter l'autre sens avec **8 num**, même punition. Lacet et cabrage sont auto-stables, on ne peut pas les changer. Le seul résultat obtenu, outre un gaspillage d'ergols, c'est une oscillation contrariée dont la moyenne des positions correspond à l'attitude de stabilité naturelle. Quand le vaisseau ricochant sur l'air repart hors atmosphère, les RCS redeviennent prépondérants. Par contre, dès que l'on retrouve la furie des éléments, amusez-vous à refaire l'expérience. Mis à part que les réservoirs seront moins garnis, quand vous allez splacher la position de l'impact dans l'océan sera pratiquement identique à celle d'un vol pour lequel nous n'avons touché à rien. Il suffit pour s'en convaincre de consulter **Map MFD** à la fin de chaque rentrée effectuée. **Ascent Profile MFD** montre pratiquement les mêmes courbes, et en sortie d'orbiter la trace sur [ProjectApollo EMSScroll.bmp](#) est inchangée. Nous pouvons de cette expérience élémentaire tirer une conclusion fondamentale :

Sur une Capsule Apollo effectuant une rentrée atmosphérique, il est pratiquement impossible d'en modifier l'attitude en TANGAGE et en LACET avec les RCS.

Heureusement, on peut modifier la trajectoire à convenance par modification de l'orientation de la portance en manœuvrant le CM en ROULIS. Les expériences qui suivent vont le prouver.

EXERCICE n°3 : Première expérience "pilotée" tête vers le bas.

Concrètement nous allons effectuer exactement le même vol, toujours en utilisant **44) Rentrée atmosphérique sans se tuer.scn**, mais cette fois nous serons un peu moins passifs. Dès que la situation est chargée, sans tarder, car avant l'allumage de **0.05G** il nous reste à peine 4 minutes et 12 secondes, pas plus, placez le stylet sur la graduation 23.1 comme montré sur la Fig.116 de **TECHNOLOGIE 2.pdf** en page 76. Pour ce faire tournez le commutateur **1** de la Fig.150 sur la position **5**. Puis, à l'aide de l'inverseur à rappel central **2** déplacez la bande défilante à la position souhaitée

rotatif **1** sur **RNG SET**. L'inverseur **2**, qui concrètement assure la fonction de deux boutons poussoir indépendants, sert alors à ajuster la précharge du compteur **3** à la valeur estimée de **364.0** qui correspond à la distance séparant le point d'entrée dans le corridor au lieu d'amerrissage. N'oubliez pas que le **BDS** permet de modifier plus lentement la valeur numérique et de l'appointer avec précision. Enfin, repasser le sélecteur **1** en position **ENTRY** et **4** vers le haut sur **NORMAL**. Ne pas oublier non plus de placer **1** : **sw SC CONT** sur la position **CMC** et **sw CMC MODE** sur l'option **AUTO**. Le dispositif est paré pour assurer sa fonction. Vous pouvez vérifier si vous le désirez que l'inverseur sécurisé situé juste au dessus de **2** est placé vers le haut sur **GTA**, ainsi en sortie de la scène il sera possible de consulter le fichier [ProjectApollo EMSScroll.bmp](#) qui conservera la trace effectuée au cours du dernier vol, à condition toutefois que l'EMS ait été déclenché. Toujours avec promptitude, sur le tableau **1** : **ATTITUDE SET** avec la molette ajustez le cabrage **PITCH** à la valeur de **30°**. Ainsi, dès que la capsule va se stabiliser en pénétrants dans l'atmosphère, le **FDAI** sera assez représentatif de l'orientation du **CM** par rapport au sol. Cette information ne sera exacte qu'au début, puisque nous savons que le vaisseau avance, que la verticale locale change, mais que le gyroscope n'en tient pas compte puisque il est immobile dans l'Univers. Il faudrait pour compenser l'avance du vaisseau une correction de type **ORDEAL**.

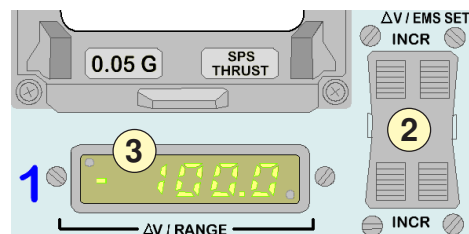
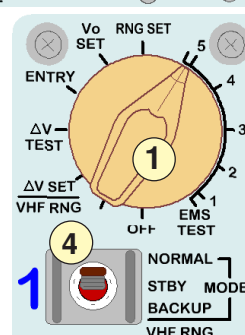


Fig.150



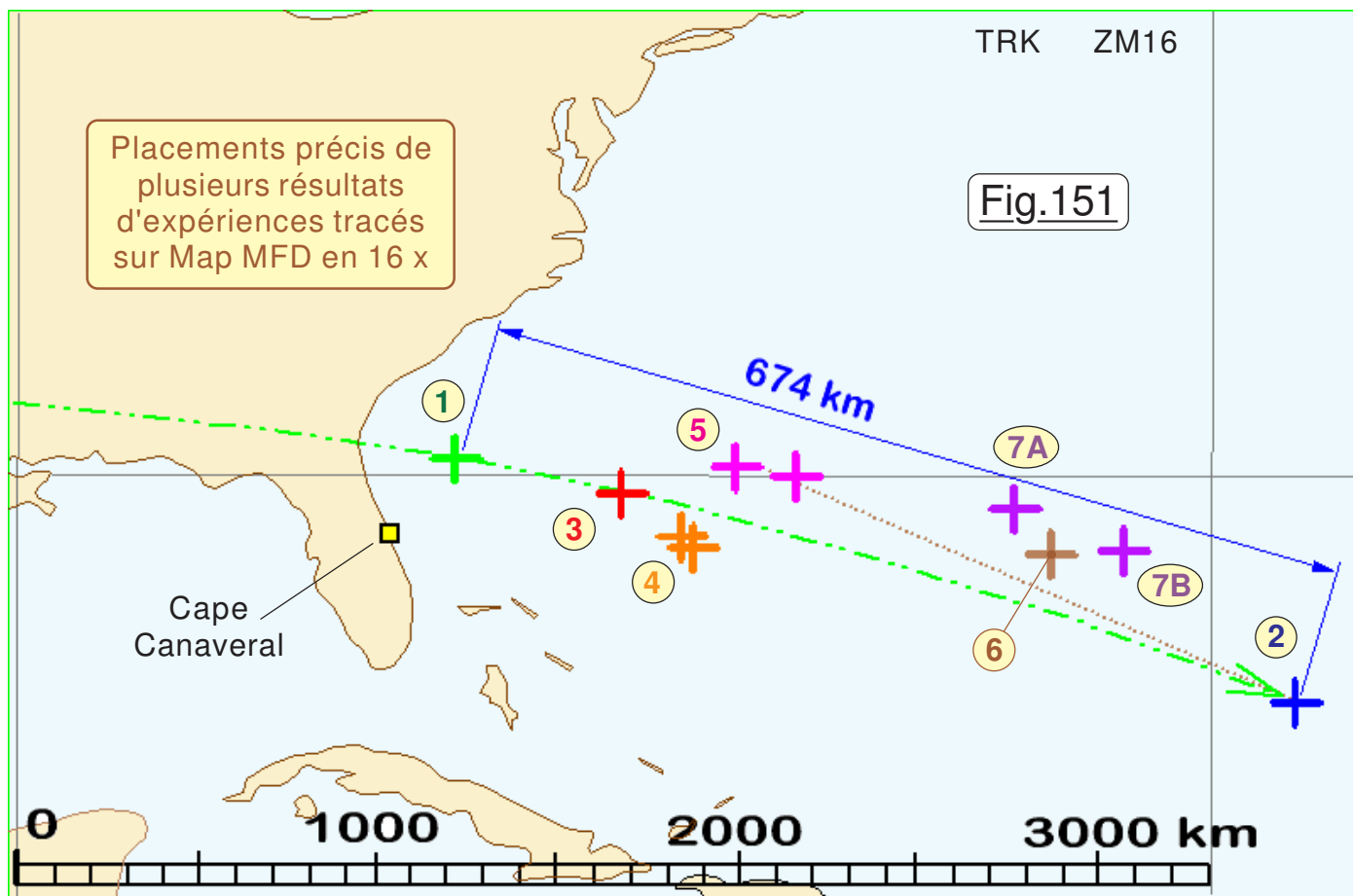
Attendre que le témoin **0.05G** s'allume, que le vaisseau se stabilise à l'attitude d'équilibre naturel et recalcr les instruments de bord à l'aide du bouton poussoir **GDC ALIGN**. Cet événement se produit quand le chronomètre de mission affiche **21 24**. Rien n'interdit d'anticiper un peu et d'effectuer un premier calibrage du **RSI** et **FDAI** un peu avant, vers **21 19** par exemple. La suite est un "long fleuve tranquille". Plus grand chose à faire si ce n'est de bien maintenir l'aiguille du **RSI** vers le haut tout le long de la rentrée. La capsule étant stable, il n'y aura pratiquement pas à corriger. N'intervenir que si le décalage angulaire de l'aiguille dépasse les cinq degrés, autrement dit devienne nettement visible. Quand nous allons aborder la fin de cette plongée abyssale dans la fournaise et que les agressions se calment, surveiller le compteur de mission. Vers **31 03** l'altimètre se réveille et son aiguille commence à bouger. La descente n'aura duré que dix minutes, mais c'est assez intense et si nous subissions réellement ce cauchemar, l'impression de "*ça n'en finit pas*" serait encore plus forte. Observez bien la valeur du compteur **3**. Vers les 30000 ft sur l'altimètre il affiche **2.7 NM** et juste un peu avant les 25000 ft lors de mes expériences il indique une valeur qui avoisine **1.6 NM**. Puis, à 25000 ft quand le parachute primaire s'ouvre, la brusque décélération en fausse la valeur qui alors n'est plus significative.

Cette petite expérience nous montre qu'après un plané dans des conditions extrêmes d'environ 674 km (*364 x 2 car un mille nautique NM fait 1852 mètres environ*) on arrive à 3 km du point prévu par les calculs. Formidable non ? OK, j'annonce ici le meilleur résultat obtenu sur plusieurs retours, mais dans tous les cas la valeur finale n'a jamais dépassé les 4.2 NM ce qui montre la remarquable précision répétitive dans le comportement du vaisseau Apollo émulé dans **NASSP**.

Douillettement bercés par les flots de l'océan, on peut ici aussi oublier la technologie et les check-lists de post-landing. Passez en cockpit 2D simplifié et ouvrez **Map MFD**. (*Dans le cockpit simplifié les MFD sont plus grands et plus détaillés*) La Fig.151 constitue un "compositage" de plusieurs copies d'écran. Avec une grande précision y figurent les positions caractéristiques de plusieurs vols dont celui-ci. La croix verte en **1** indique la position de pénétration dans l'interface, la croix bleue en **2** l'aboutissement de ce premier vol. La distance sur la carte entre ces deux jalons doit avoisiner les 674 km énoncés ci-avant.

EXERCICE n°4 : Deuxième expérience "pilotée" tête vers le haut.

Plaçant le module de commande en attitude réciproque de la précédente, vous avez compris que cette fois la portance va être dirigée vers le bas. Nous allons plonger plus rapidement. Le freinage (*Donc les G subis par l'équipage*) va se montrer plus virulents. Naturellement il faut s'attendre à une distance de plané bien plus courte. Pour vous éviter d'avoir à replacer la bande défilante de l'EMS à la graduation 23.1 chargez la scène **45) Paré pour l'enfer.scn** qui nous fait gagner du temps, mais pour les manœuvres il ne faudra pas trainer car nous ne sommes plus qu'à 2' 36" de la détection du corridor. Il en sera ainsi pour tous les autres exercices qui vont suivre et qui reprendront ce scénario.

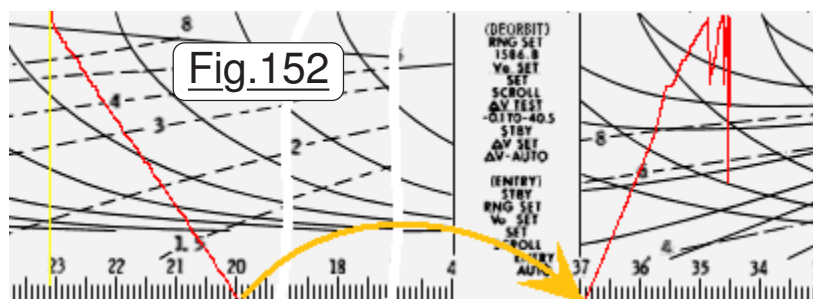


Procédons donc rapidement à la préparation de cette rentrée "scabreuse". Cliquez immédiatement sur le bouton **GDC ALIGN**. Puis, placez le vaisseau ailes à plat tête vers le haut. Il suffit de modifier l'attitude en roulis avec **4 num** par exemple jusqu'à ce que l'aiguille du RSI pointe en bas. Prendre un taux de variation qui amène l'aiguille presque en limite sur le FDAI. Contrer immédiatement le lacet parasite et le cabrage induit. C'est de "la mania" et vous savez faire. Un peu avant d'avoir effectué le demi-tour réduire la rapidité de la rotation. En permanence contrer les mouvements parasites. Si vous avez un peu lambiné, le cabrage va commencer à partir dans des oscillations de forte amplitude. Ne plus vous en préoccuper. La Fig.151B montre le RSI avec en jaune l'aiguille avant d'avoir effectué la rotation, et en noir la position finale une fois le vaisseau orienté comme un avion. C'est terminé pour la préparation de la rentrée, il n'y a plus qu'à observer. Pas la peine de calibrer le décompte [ΔV / RANGE], il ne sera pas crédible vu les conditions de cette rentrée. Effectuez encore deux à trois reprises cette torture, vous obtiendrez à chaque fois des résultats similaires. Nous pouvons passer au dépouillement des données :



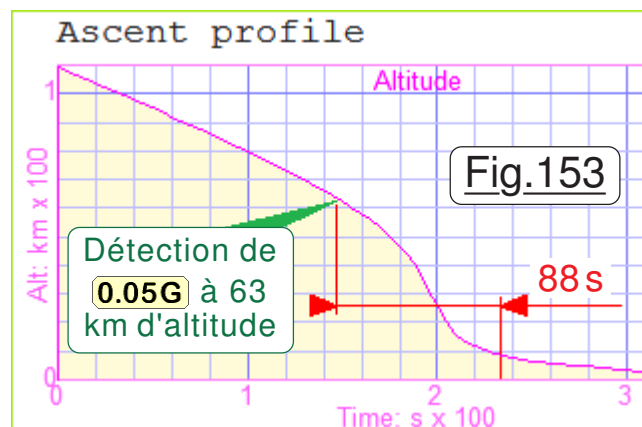
Fig.151B

Bien que nous arrivions de l'orbite basse pour un retour "bien câlin", l'accéléromètre va brutalement en butée et quelques secondes plus tard c'est la perte de l'équipage. Quand le chronomètre de mission affiche **22 21** l'altimètre commence à frétiller. L'ouverture du parachute primaire se produit à **22 52**. Il n'a fallu en tout et pour tout qu'une minute et 28 secondes pour résorber entièrement l'énergie cinétique du vaisseau. Il ne faut donc pas s'étonner de constater que le traceur graphique se soit affolé. Comme le montre la Fig.152 le défilement horizontal a été tellement rapide que le stylet est passé sur l'autre zone, celle de secours qui en principe n'est jamais utilisée.



La Fig.153 montre avec précision l'évolution de l'altitude en fonction du temps. La plongée ne fait que s'accroître et le vaisseau ne rebondit jamais hors atmosphère. C'est totalement logique puisque attraction terrestre et portance tirent toutes les deux le vaisseau vers le bas. L'accélération est forcément exagérée

de l'air. Du reste, avec de telles conditions énergétiques dans la réalité le vaisseau n'aurait pas résisté. Le bouclier thermique se serait dégradé, suivi rapidement de la désagrégation de la cellule. Sur la carte de la Fig.151 le CM, ou du moins ce qu'il en reste termine sa course au point repéré par la croix rouge en **3**. On peut noter que ce dernier se trouve sur la trace au sol de la trajectoire suivie jusqu'en **2**. Si nous étions dans le cas d'un retour lunaire, les conditions seraient pires puisque la vitesse de pénétration serait encore plus grande. On peut conclure cette expérience par :



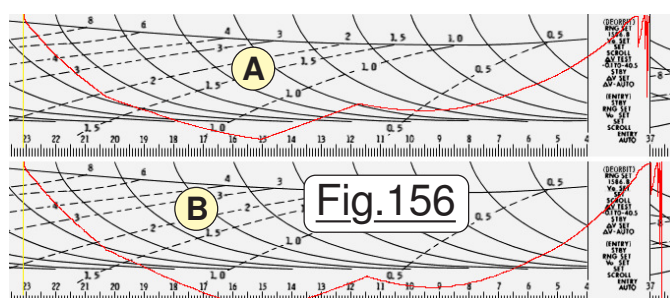
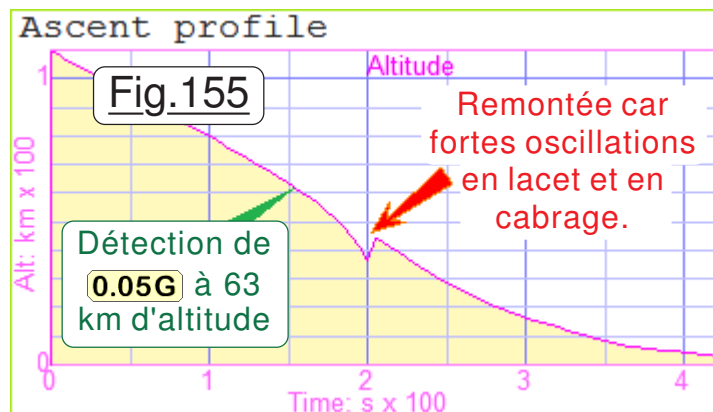
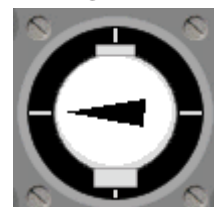
Une rentrée atmosphérique vaisseau "plafond" vers le haut provoque un freinage incompatible avec la résistance du vaisseau et conduit à la perte de l'équipage.

EXERCICE n°5 : Pénétration atmosphérique "vaisseau sur la tranche".

Entre la ballade de fillette de l'exercice n°3 et la tragique issue de l'expérience n°4 on dispose de toute une nuance d'intermédiaires obtenus par des attitudes en roulis comprises entre tête en bas et vaisseau incliné à 90°. Pour cet exercice qui utilise un protocole strictement identique à celui du précédent, on réutilise **45) Paré pour l'enfer.scn**, mais cette fois le positionnement en roulis amènera la flèche du RSI à 90° sur notre gauche comme montré sur la Fig.154 qui montre l'appareil une fois le CM paré pour son retour sur mer. De la Fig.113 contenue dans **TECHNOLOGIE DES MISSIONS APOLLO** en page 74 on déduit que la trajectoire va se courber vers le sud. Par ailleurs, la portance n'étant plus dirigée vers le haut, on devine que le vaisseau ne va faire que descendre, il n'y aura pas de ricochet pour le renvoyer hors atmosphère. Procédez deux fois à ce type de retour. La première vous restez en vue extérieure et tournant autour du CM focalisez votre attention sur les vecteurs force. Vous pouvez en déduire l'effet de chacun et l'effet global avec la résultante **F**. Deuxième tentative, vous restez dans le CM et surveillez les instruments de bord, en particulier l'accéléromètre. Je vous retrouve au débriefing.

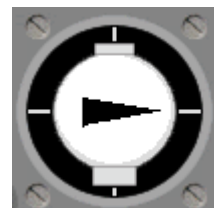
Retour d'expérience : Pour ma part le premier essai finit très mal. Fasciné par le tracé dans l'espace des divers vecteurs force et de leur résultante, j'ai laissé le vaisseau totalement à l'abandon. Une rotation en roulis parasite a progressivement amené l'attitude presque tête vers le haut ... dommage ! Encore un vaisseau de perdu dans la fournaise maléfique. Pour deux autres tentatives, j'ai piloté avec rigueur en roulis pour maintenir l'aiguille du RSI à sa position sur notre gauche. J'ai contrôlé systématiquement toute velléité de changer l'angle de roulis jusqu'à l'ouverture des parachutes. Les deux essais conduisent à des résultats identiques, sur **Ascent Profile** MFD les tracés sont analogues. La Fig.155 en donne une copie d'écran. Dans les deux cas le vaisseau amerrit pratiquement au même lieu, les deux "ploufs" étant repérés sur la Fig.151 par les deux croix oranges **4**. La Fig.156 montre que l'enregistrement des deux tentatives sur l'EMS est "tourmenté". La tentative **A** s'est soldée par une torture de 10G, les parachutes primaire s'ouvrant à **24 49** soit une durée de retour de 3' 25". L'expérience **B** est plus "virile" puisque l'accéléromètre a frisé les 12 G pendant plusieurs secondes. Pour l'équipage c'est trop limite. Le stylet est resté en butée basse puisque la saturation sur l'enregistreur est de 10 G. Les parachutes se sont déployés à **24 34** soit un plané de 3' 10". On peut déduire de ces vols sur la tranche qu'ils ne sont pas recommandés, et à proscrire lors des retours de missions lunaires.

Fig.154

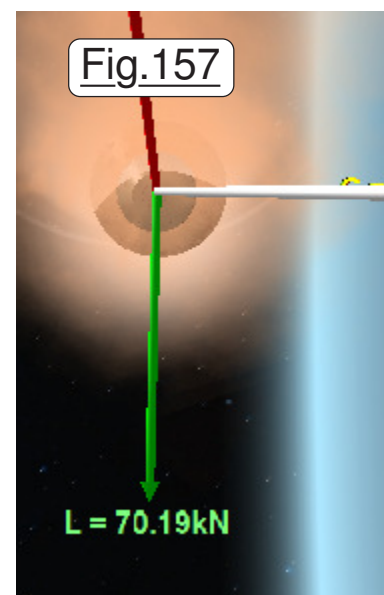


EXERCICE n°6 : Après pile, le coté face.

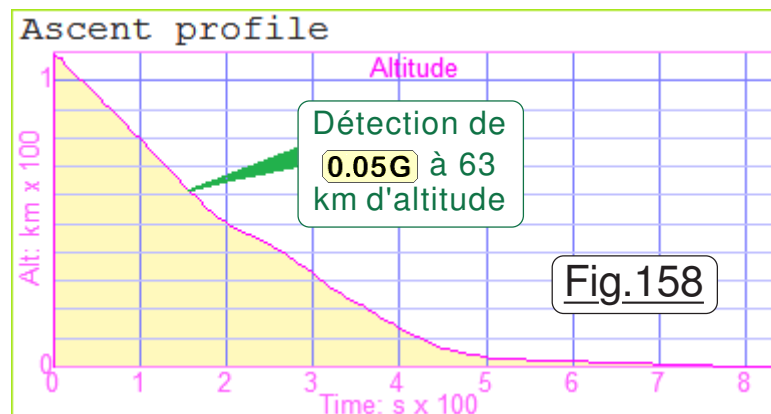
Après avoir effectué cette rentrée très indigeste aiguille du RSI sur le coté gauche, on va "se taper l'autre tranche". Autrement dit, nous allons effectuer une rentrée dans des conditions symétriques. On peut s'attendre à des résultats similaires, sauf que cette fois la trajectoire va s'infléchir vers le Nord. Nous allons, vous l'avez deviné, procéder exactement pareil. Rechargement de **45) Paré pour l'enfer.scn**, initialisation du RSI et du FDAI, roulis pour que l'aiguille de l'indicateur d'attitude pointe du coté droit comme montré sur la figure ci-contre. À nous la tourmente. Inutile lors du débriefing de préciser que l'estomac n'est plus du tout en accord et proteste avec véhémence ...



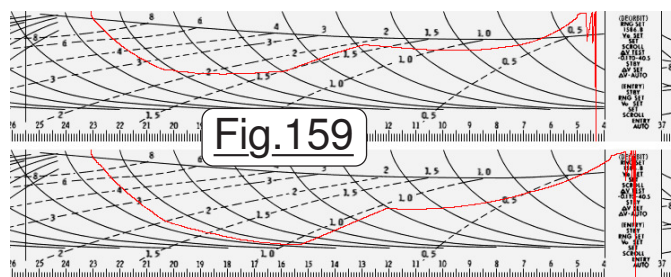
Débriefing (1) : Inutile d'insister sur le fait que vue la symétrie dans les conditions de rentrée, j'avais prévu sans me prendre la tête, que la trace sur **Ascent Profile** MFD serait une jumelle de celle montrée sur la Fig.155 et que la courbe rouge contenue dans le fichier **ProjectApollo EMSScroll.bmp** serait une copie honteuse de ce que montre la Fig.156 en page 163. Et bien pas du tout, les événements ne se déroulent pas tout à fait comme prévu, ce n'est pas le même film ! Pourtant j'ai soigné l'attitude, et comme le montre la Fig.157 le vaisseau est vraiment à 90° de roulis, et la portance **L** est bien parallèle à l'horizon matérialisé par l'atmosphère bleue. La descente est bien plus instable et les oscillations se font sentir sur une bonne partie du trajet. Sur plusieurs tentatives les accélérations maximales sont comprises entre 6 G et 10 G, le vaisseau réalisant l'amerrissage entre les deux croix **5** qui sur la Fig.151 sont coloriées en rose et qui représentent les cas extrêmes rencontrés en réalisant six rentrées d'affilée. Bien qu'affectée d'oscillations entretenues de plus fortes amplitudes, sur **Ascent Profile** MFD montré en Fig.158 le profil est plus régulier. Enfin, manifestement la trace sur la bande défilante montrée en Fig.159 est moins tourmentée. On ne peut que constater ces différences, reste à les expliquer. Comme prévu l'accélération étant plus importante, on



plane moins loin. Compte tenu de l'orientation de la portance, la déviation de trajectoire se fait bien vers le Nord. Par contre, pour l'instabilité d'attitude et le freinage moins intense, je ne vois qu'une seule explication plausible : Le rétroviseur de gauche dépasse plus que le rétroviseur de droite, engendrant des turbulences de sillage asymétriques. (2)



Comme nous l'avons déjà fait à plusieurs reprises, on va "botter en touche". (Je dis "Nous" pour atténuer ma responsabilité, mais vous avez compris qu'ici je suis le seul coupable) Puisque nous n'avons pas d'explication à fournir, on va se contenter de considérer que c'est une caractéristique intrinsèque des capsules Apollo de NASSP et tenir compte de ce comportement lorsque nous réaliserons nos missions virtuelles. C'est l'expérience qui a raison, pas nos appriories. Conclusion : Bien que moins stressante que pour le coté symétrique, ce type de rentrée nous ballote davantage et ne constitue pas pour autant une partie de plaisir. (P.S : MET à l'ouverture des parachutes varie entre **26 13** et **25 49**)



(1) *Debriefing en français signifie : "Maintenant qu'il est trop tard ... on cause"*

(2) *C'est une façon comme une autre de vous dire que je ne vois pas du tout ce qui peut générer cette différence. Mais comme un "expert" doit toujours fournir des explications, peu importe le verbiage utilisé pour noyer le poisson, pourvu que l'honneur soit sauf ...*



C'est de leur faute la dinissymitétri truc, zavaient qu'à régler correctement les rétroviseurs avant de partir. Tout le monde sait ça, ya pas besoin d'être astéronautus machin.

Fig.160



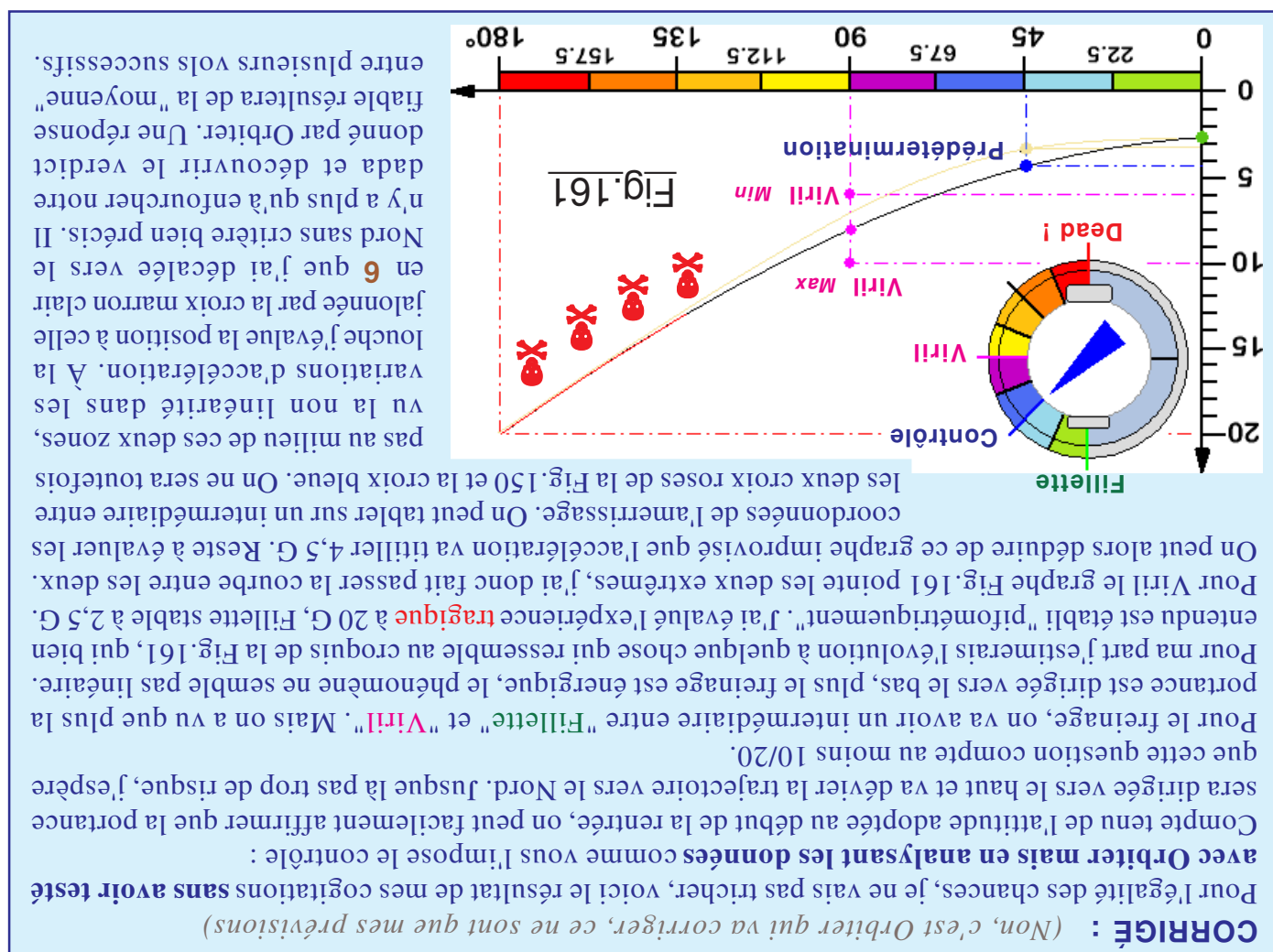
EXERCICE n°7 : À vous de jouer.

C'est tout bon, la machine à essorer n'a plus de secret pour vous, un petit contrôle au passage ne vous impressionne plus du tout, y compris si c'est Popol qui corrige. L'exercice est tout simple : Vous allez surchauffer une fois de plus vos méninges en chargeant **45) Paré pour l'enfer.scn**, puis préparer le vaisseau en adoptant le compromis "vol de fillette"/"brassage viril" représenté sur la Fig.160 qui montre le RSI une fois le CM orienté.

Contrôle :

Avant d'activer Orbiter qui vous fournira une correction incontestable, en utilisant les acquis précédents :

- Prévoir de quel côté sera déviée la trajectoire,
- Estimer le nombre de G subis,
- Positionner la croix sur la carte de la Fig.150 après avoir estimé la position de l'impact avec l'eau.
- Calculez la température de surface du boucliers thermique à MET **22 16**. (3)



Après plusieurs tentatives pour pouvoir extraire des statistiques, on peut résumer les résultats suivants : La valeur maximale des accélérations subies dépend beaucoup du respect de l'angle de roulis. À ma première tentative on a titillé à peine 3,2 G ce qui sur la Fig 161 pourrait justifier la courbe marron clair. Mais sur les autres essais un 4 G assez régulier a été relevé. Sur la Fig.151 les deux croix violettes **7A** et **7B** montrent les points de chute extrême. En conclusion, dans mes cogitations la plus grande imprécision se trouve dans la déviation latérale que j'ai sous-estimée. Mais je plaide non coupable en citant un dicton chinois : "Il est toujours difficile de prédire l'avenir ... surtout quand c'est pour plus tard".

(3) C'est Popol qui a ajouté cette question, pas Môamôa.

MONITEUR BINAIRE >>> DE CHARYBDE EN SCYLLA :

Après avoir subi toutes ces rentrées nauséuses, vous devez commencer à trouver le thème un peu indigeste. (*Ouaououou, le jeu de mot subtil !!!*) Surtout, vous devez avoir envie de changer un peu de menu. Soit, je vous comprends. Mais il ne faudrait surtout pas imaginer que tout a été vu et compris. Loin s'en faut. Au passage j'ai oublié de vous faire remarquer que le RSI se contente de tourner en sens inverse de la sphère d'attitude dans le FDAI, c'est aussi simple que ça. Pour vous convaincre que nous n'avons pas tout compris, je vous engage à observer plus attentivement la Fig.151 sur laquelle bien en évidence a été reportée par une cote de 674 Km tracée en bleu la distance couverte lors de l'exercice n°3. Cette longueur de plané est justifiée en Fig. 107 de la page 72 de **TECHNOLOGIE 2.pdf**. Le déroulement du vol corrobore bien l'anticipation initialisée sur le décompte. Hors, sur la carte entre les deux méridiens nous avons la longueur du périmètre terrestre divisé par 12. Un rapide calcul donne $40000 \text{ km} / 12 = 3333 \text{ Km}$. C'est l'échelle qui est portée sur la carte. Il y a donc une contradiction manifeste. Explication : La compression adiabatique des gaz lors de la rentrée provoque une bla bla bla bla. (*Voir (2) page 164*)

Non, Charybde et Scylla ne sont pas les programmeurs du CMC ! Si je fais allusion ici à ces deux monstres marins de la mythologie grecque, c'est pour vous préparer à un autre repas du genre bourratif. Nous allons dans ce chapitre explorer les méandres du calculateur de bord. Le manuel de pilotage relatif au livret COLOSSUS intègre des procédures telles que P27 qui s'adressent spécifiquement aux "spécialistes" en programmation. Orientée système, je ne suis pas du tout persuadé que les astronautes étaient formés aux finesses du binaire intime du CMC. Ils devaient se montrer toutefois capables le cas échéant d'introduire des informations en octal dans la mémoire du CMC, mais uniquement sur demande de la Terre en cas d'imprévus. Si j'ai inclus ces procédures dans le livret, c'est que les programmeurs de NASSP se sont donné le mal d'émuler le MONITEUR. Il serait donc injuste de les censurer. On peut tester les "routines machine", et surtout les passionnés du codage binaire pourront les expérimenter. Ce chapitre n'a donc rien d'impératif dans le cadre de votre formation à la NASA. Il s'adresse uniquement aux invétérés du 011100010. Pour tous les autres, vous pouvez passer sans regret au chapitre suivant.

La procédure P27 n'a rien d'élémentaire. Les informations données en **Pages 22 et 23** du livret **CMC/DSKY - COLOSSUS** étaient pourtant disponibles sur Internet. Mais pour en comprendre les subtilités j'ai galéré quatre jours. Il serait toutefois dommage de ne pas vous faire profiter de mon expérience. C'est ce qui m'a décidé d'intégrer ce chapitre qui ne va concerner qu'une minorité. On ouvre le manuel en **Page 14** pour réviser la notion de MONITEUR, et surtout pour y repérer la table de conversion du décimal vers l'OCTAL. Pour résumer, l'OCTAL est une façon plus simple de coder du binaire pur que d'utiliser des "0" et des "1". Par exemple 3822 en décimal s'écrit **111011101110** en binaire pur. Vous imaginez un long programme entièrement présenté sous cette forme ? Les informaticiens ont eu l'idée de regrouper les "0" et "1" par paquets. Au tout début, ils ont pensé à des granules de trois éléments ce qui a conduit à l'OCTAL car on dispose de huit combinaisons. Puis il y a eu des regroupements par quatre BIT, ce qui a donné lieu à l'hexadécimal beaucoup plus convivial, mais qui n'est apparu que plus tard. En décimal on va de 0 à 9, puis on passe "au poids suivant". En OCTAL on code de 0 à 7 puis on ajoute une "tranche". Pour notre exemple, 3822 en octal se code : **7356**, avouez que c'est plus facile à écrire, à lire ou à vérifier que 111011101110. C'est la raison pour laquelle ce type de substitution a rapidement envahi le monde de l'informatique système, celle où l'on code directement en langage machine.

Suite à un coup de foudre assez violent dans les hautes couches de l'atmosphère, des champs magnétiques virulents ont malencontreusement faussé quelques variables du CMC au cours du lancement. Il faut savoir que "les mots de mémoire" sont souvent complétés par un bit de parité qui permet une vérification sommaire de l'intégrité de l'information. Par exemple on décide que le BIT de poids fort ne sert pas à coder l'information, mais doit compléter la cellule pour que le nombre de "0" (*Et de "1" par voie de conséquence*) soit IMPAIR. C'est un choix arbitraire, on pourrait parfaitement prendre l'inverse, et décider de PAIR. Dans tous les cas on parlera de BIT de parité. La télémessure descendante a engendré une alerte au sol, les techniciens ayant repéré quelques données erronées. Ils nous contactent pour que nous rectifions en manuel le programme logé en RAM du CMC. En chargeant la situation **46) Tester le MONITEUR avec P27.scn** nous nous trouvons dans le contexte explicité. La mise en orbite vient de se terminer. L'équipage se détend, car l'une des phases les plus critiques d'une mission lunaire vient de s'achever sur un succès, tout le monde se décontracte sur Terre et dans le vaisseau.

- Bravo mission 7, la dynamique confirme une orbite optimale.
- OK Houston, mais nous avons pris un coup de foudre, on pense que le computer a trinqué.
- C'est déjà arrivé sur certains tirs, pas de problème. Juste quelques variables qui ont valsé dans le calculateur. On va vous passer les paramètres.
- OK Houston, on va se coltiner un P27 en début de mission. Paré pour noter, on vous écoute.
- Bien, vous avez neuf variables consécutives qui ont pris leur liberté à partir de Unité, deux, zéro, zéro.
- OK pour l'adresse. On devra coder neuf plus 1, soit 10 cellules. Vous confirmez un 13 en 304 ?
- Affirmatif 7. Pour les données vous coderez 123 - 5 - 45 - 73 - 73 - 06 - 6452 - 0 - 0. Je vais répéter pour que vous puissiez collationner.
- Inutile Houston, nous sommes trois à avoir noté les mêmes informations.
- C'est parfait 7, dès que vous aurez terminé on checkera avec les télémesures.

Et vous, vous avez compris ?



Pas de quoi se tamponner le coquillard avec un marteau à bomber les vitres. On va effectuer pas à pas la manipulation, et chaque ligne sera commentée.

On peut déjà noter que le programme P27 est un **MONITEUR**, c'est à dire un **petit logiciel qui permet de consulter ou modifier à convenance des cellules dans la mémoire de l'ordinateur** de bord. Ce programme impose à l'équipage d'exprimer les adresses mémoire et les données à y logger en binaire. Les paramètres qui nous ont été envoyés par Houston ne sont donc pas des nombres décimaux, mais des "0" et des "1" à placer en mémoire au bon endroit. Par exemple 6452 n'est pas le solde de votre compte en banque, mais 0110100101010 exprimé en octal. La donnée 5 signifie 000000000101, qui traduit en octal donne 00005. Comme les zéros en tête ne sont pas obligatoires à la saisie, on se contentera de cliquer sur **5** puis sur **E**. Vous pouvez observer qu'à CAP COM pour la sixième donnée l'opérateur a indiqué un zéro inutile repéré en violet dans le texte. C'est strictement sans importance comme on va le voir car les "mots de mémoire" seront automatiquement complétés "à gauche" par des "0".

Consulter les documents de COLOSSUS nous apprend que les cellules mémoire du tout premier calculateur intégré au monde avaient une étendue de 17 BIT. Cette valeur impaire choque à notre époque où systématiquement les **mots binaires** présentent des étendues paires. Ce ne fut que lorsque les mémoires à tores magnétiques ont été remplacées par une sculpture dans du germanium ou du silicium, que l'on est arrivé au fait que graver un nombre pair ou impair de BIT conduisait exactement à une complexité identique. Par exemple, si 15 BITS suffisent pour coder, on est obligé matériellement d'en graver 16 sur "la puce" quitte à ne jamais utiliser le seizième. Du coup, on a systématiquement agencé les mémoires d'ordinateurs avec des nombres pairs de BIT : 8, 16, 32, 64, et tous servent pour des raisons d'optimisation. Revenons à la petite merveille conçue au MIT. La Fig.162 présente la structure adoptée par les ingénieurs à cette époque pour le CMC ainsi que pour le calculateur du LM qui était pratiquement un clone.

Fig.162

17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	CODE OP			ADRESSE ou DONNÉE												

La cellule complète intègre donc une **donnée** ou une **adresse** codée sur 13 BIT, un **code opératoire** renseigné sur trois BIT qui indique au CMC ce qu'il doit faire de la donnée ou de l'adresse et enfin un **BIT de parité** pour effectuer une vérification de premier niveau sur le contenu des cellules. Avec un groupe de 3 BIT on dispose de 8 possibilités qui seront traduites en octal par les chiffres 0 à 7. Pour spécifier la donnée, il nous faut 5 paquets repérés par des couleurs différentes sur la Fig.162 avec le paquet de "poids fort" n°13 n'ayant qu'un seul BIT significatif. *Chaque mot* binaire, écrit avec la *combinaison des seuls caractères* de l'alphabet électrique "0" et "1", *présentera une signification précise*.

Revenons à la donnée 06. Toute combinaison octale saisie au clavier inférieure à 111111111111111 conduira à un remplissage automatique par des zéros en tête. Donc, que l'on frappe 6, 06, 006, 0006 ou 00006, conduira à un codage de 0000000000110 en mémoire. C'est le MONITEUR qui nous facilite la vie en ne nous obligeant pas à frapper au clavier tous ces zéros "implicites". Maintenant que le langage machine, qui sera électroniquement conservé en binaire pur, que l'on symbolise par des "0" et des "1", que l'on regroupe par trois pour coder plus facilement en OCTAL, ne présente plus de secret pour vous, on peut sans peur et sans reproche passer à la pratique du MONITEUR. *ENFIN !*

EXERCICE n°1 : Consulter le contenu de cellules mémoire.

Revenons aux consignes données par Houston. "*Vous avez neuf variables consécutives qui ont pris leur liberté*". Traduction : Neuf emplacements de mémoire qui se suivent ont été perturbés. "*à partir de Unité, deux, zéro, zéro*" : La première se situe à l'adresse binaire 0001010000000 exprimées sur 13 BIT, valeur qui traduite en octal par convention donne 01200. Comme le zéro en tête est superflu, l'opérateur épelle 1200. (*Et surtout pas mille deux cents puisque ce n'est pas un nombre décimal*) Vous avez déjà compris que "123 - 5 - 45 - 73 - 73 - 06 - 6452 - 0 - 0" sont les données à placer dans l'ordre. Au passage quand l'opérateur épelle les données il ne dit pas "moins", mais par exemple : Unité, deux, trois, séparatif, cinq, séparatif etc. Il n'y a plus qu'à saisir toutes ces valeurs sur la console. Mais avant de modifier les contenus mémoire, on va aller voir leur état actuel, ainsi nous verrons que l'on agit bien sur le système informatique quand on utilise P27. La procédure est en [Page 20](#) du manuel : **V16 N 65 E OK**, il y a cohérence entre le CMC et le TIMER de mission : Le CMC se porte bien. **V34 E V37 E 00 E** pour placer le DSKY en attente d'instruction. **V01 N 02 E** pour demander d'afficher le contenu d'une cellule mémoire vive. **1200 E P00 V01 N02** pour donner l'adresse de l'emplacement de mémoire. **63572** (R1 : contenu de la cellule 01200) **N15 E P00 V01 N15** pour demander de lister par incrémentation d'adresse à chaque utilisation de **E**. **11450** (R1 : contenu de la cellule 01201) **E (R1 = 71402), E (R1 = 61633), E (R1 = 00111), E (R1 = 14641) etc**

EXERCICE n°2 : Modifier le contenu dans des cellules mémoire consécutives.

Avant de nous embarquer dans la procédure P27 donnée en [Page 22](#) du manuel COLOSSUS, il me semble impératif de clarifier un certain nombre de détails. Il importe en effet d'avoir parfaitement compris ce que l'on veut faire, et le tableau Fig.163 va nous y aider. Il résume entièrement la situation présente et future. Les **adresses effectives** sont celle dans lesquelles on désire concrètement modifier le contenu. Mais toute modification du contenu dans une adresse mémoire peut avoir des effets catastrophiques si l'on se trompe. Modifiez un seul emplacement de programme et le calculateur peut se bloquer. C'est du reste l'une des raisons pour loger les routines de service dans de la mémoire morte. (ROM) Ceci dit, perturber une variable située en mémoire vive (RAM) peut conduire potentiellement à des conséquences fort problématiques. C'est la raison pour laquelle **on doit pouvoir vérifier avant de valider**. C'est la raison pour laquelle toute organisation informatique **utilise des TAMPONS**. Entre les wagons d'un train, pour amortir les chocs à l'accrochage, on intercale des tampons. Ce sont des dispositifs amortisseurs. En programmation, on retrouve cette notion de tampon situé entre deux entités pour prévenir des complications. Dans un système informatisé, les tampons sont constitués par une **zone temporaire réservée dans la mémoire vive** qui pour le CMC est située en 00304 (*Codage octal*) et repérée en rose dans le tableau. Par nature les cellules qui servent d'intermédiaire sont contiguës. Il n'y a pas de trou entre 00307 et 00310 repérée en jaune dans le tableau. C'est un leurre issu du fait qu'inconsciemment nous avons tendance à raisonner en décimal. Mais la valeur qui suit naturellement 307 en octal est tout simplement 310. On retrouve ce cas entre 01207 et 01210 dans les adresses effectives. Dans la Fig.163 la zone teintée de bleu permet de situer la mémoire dans laquelle nous voulons "déposer" des valeurs, que ce soit provisoirement dans la zone tampon ou définitivement dans la "mémoire effective" qui les utilise. Les deux premiers emplacements dans le tampon sont prévus par P27 pour contenir des directives, ils n'auront pas d'image en "mémoire effective". L'emplacement n°2, adresse tampon 00305 contiendra l'adresse de la première valeur à transférer. Enfin, l'emplacement n°1 indique le nombre de valeurs à saisir puis à transférer s'il y a confirmation. Ce nombre est égal au nombre réel de données à modifier plus 1, car il sert de comparaison au **compteur ordinal** qui prend en compte

Ordre n°	Adresse Tampon	Contenu désiré	Adresse effective	Ancien contenu
1	00304	00013	Fig.163	
2	00305	01200		
3	00306	00123	01200	63572
4	00307	00005	01201	11450
5	00310	00045	01202	71402
6	00311	00073	01203	61633
7	00312	00073	01204	00111
8	00313	00006	01205	14641
9	00314	06452	01206	77776
10	00315	00000	01207	50606
11	00316	00000	01210	77764

la première donnée qui est l'adresse contenue en emplacement n°2. Notez au passage que les valeurs trouvées dans les adresses effectives et précisées dans le tableau de la Fig.163 ne seront vraies qu'au début de l'expérimentation. Mais si vous attendez un bon moment pour procéder au listage, certaines peuvent changer car *ce sont des variables utilisées par le CMC au cours du temps*.

Nous pouvons concrétiser maintenant notre expérimentation de P27 :

V34 E V37 E 00 E pour arrêter le programme de listage en cours et libérer le CMC.

V71 E P27 V21 N01 avec R3 = **00304** comme prévu par la procédure. Notez au passage que c'est le verbe V71 qui invoque le programme P27. **V21** clignotant désire une saisie sur R1. Si on consulte le manuel de COLOSSUS on note que **N01** attend une adresse mémoire. (*Notée Adresse machine*) Nous sommes ici dans un cas particulier où c'est un nombre exprimé en octal qui est attendu.

13 E : La valeur 13_8 ($7 + 3 = 10_{10}$) est inscrite dans le tampon et R3 est incrémenté à **00305**.

1200 E : L'adresse est mémorisée dans le tampon et R3 passe à **00306**.

123 E : La première donnée est logée dans le tampon et R3 augmente de 1 et affiche **00307**.

5 E, 45 E, 73 E, 73 E, 6 E, 6452 E, 0 E : R3 arrive à **00316**, plus qu'une donnée à saisir.

0 E P27 V21 N02 avec R3 = **00330**. Nous venons de placer l'adresse et les neuf données en attente dans la mémoire tampon. Comme prévu, le programme P27 passe automatiquement en séquence de vérification, c'est à dire qu'il nous permet de contrôler entièrement les informations du tampon avant de valider.

V1 N1 E pour demander d'afficher le contenu d'un emplacement de mémoire vive dont on doit donner l'adresse qui s'inscrit alors sur le registre R3 :

304 E pour désigner le début de la zone mémoire (*Ici le tampon*) que l'on veut "visiter".

00013 (*R1 : affiche le contenu octal de l'emplacement RAM situé en 00304*)

N15 E pour demander au CMC de lister en cascade des emplacements successifs.

E, E, E, E, E, E, E, E etc pour lister les autres cellules tampon. On doit y lire toutes les valeurs prévues. Cliquer sur **KEY REL** pour sortir de cette routine une fois tous les emplacements vérifiés :

KEY REL P27 V21 N02 Deux options sont à ce stade possibles :

- Soit nous nous sommes trompés et désirons reprendre la saisie :

01 E ou **02 E** reboucle en début de procédure et permet de recommencer.

- Soit l'intégralité des informations saisies sont correctes et l'on désire antérioriser :

V33 E ou **P** pour valider le transfert. Dans ce cas le DSKY affiche **P00** ou **P02**.

EXERCICE n°3 : vérifier que le transfert a bien été correctement effectué.

E st-il bien indispensable de vous expliquer comment faire ? "On prend les mêmes et on recommence". Sachant que l'on veut lister le contenu d'une zone mémoire, on va refaire exactement ce que nous avons expérimenté dans l'exercice n°1, mis à part le fait qu'il n'y a pas à vérifier le bon fonctionnement du CMC en lui faisant afficher l'heure, et qu'il se trouve déjà en attente d'instructions.

V01 N 02 E pour demander d'afficher le contenu d'une cellule mémoire vive.

1200 E P00 V01 N02 pour donner l'adresse de l'emplacement de mémoire.

00123 (*R1 : contenu de la cellule 01200*)

N15 E P00 V01 N15 pour demander de lister par incrément d'adresse à chaque utilisation de **E**.

00005 (*R1 : contenu de la cellule 01201*)

E (*R1 = 00045*), **E** (*R1 = 00073*), **E** (*R1 = 00073*), **E** (*R1 = 00006*) etc

Chic alors le CMC a retrouvé la raison. Mais concrètement vous devez vous demander à quoi correspondent exactement les diverses valeurs que nous avons imposé. Franchement je n'en sais strictement rien. J'ai proposé des valeurs totalement au hasard dont l'effet ne peut être qu'aléatoire. Si vous consultez **COLOSSUS.pdf** en **Pages 20/21/22/23**, vous pouvez déjà vous rendre compte que la **programmation en langage machine**, car c'est bien de ça dont il est question ici, relève de la connaissance intégrale des codes processeurs. Ce type de travail très spécifique relève d'un public averti. Il me semble totalement hors programme (*Encore un jeu de mots nulentesque*) de détailler les arcanes de la programmation binaire du CMC d'Apollo. Ce n'est pas du tout l'objectif de ce tutoriel. Mais au moins, ceux qui se sentent concernés auront déjà vu comment intervenir directement sur le calculateur de bord. Désolé de ne pas donner la liste et le format des variables utilisées par COLOSSUS, mais pour l'heure l'équipe de NASSP n'a pas précisé ce qui actuellement fonctionne. Ceci dit, pour reprendre cet exercice et donner des valeurs cohérentes à P27, il vous suffit de reprendre le chapitre *Mise à jour manuelle du VECTEUR D'ÉTAT* abordé dans **Les OUTILS d'aide pour NASSP.pdf** en page 2.



J'en peux plus, trop c'est trop. MAIS VOUS VOUS MOQUEZ DE MOI ! Passe encore que vous fachiez le boxon dans la mémoire du CMC, que vous fassiez n'importe quoi avec la REFSMMAT, mais ne pas traiter les exercices du chapitre précédent sous prétexte qu'il s'adresse à des spécialistes, c'est vraiment vous foutre de ma G... Alors avant de passer au chapitre qui suit, vous me bichonnez illico et au petit poil les trois exercices qui précèdent. Pas la peine de vous repointer avant ! !

Désolé les copains, je voulais vous épargner le chapitre "DE CHARYBDE EN SCYLLA" mais "qui vous savez" n'a pas l'air vraiment d'accord. En fait, si les astronautes devaient pouvoir intervenir directement sur le CMC, il y a des raisons. Apollo 13 en a été un bon exemple pour lequel il a fallu improviser des programmes qui n'avaient pas été envisagés. Tant pis, faites contre bonne fortune bon cœur et réalisez les exercices précédents. C'est le prix à payer pour prétendre partir vers la Lune.

EXERCICE SIMPLE SUR LE MODE "MINIMUM IMPULSION" :

Pratiquement une récréation, nous allons effectuer un exercice très très simple pour nous sensibiliser sur la notion d'*orientation en mode "Minimum Impulsion"*. En bas de la Page 34 du livret **SYSTÈMES APOLLO.pdf** il est précisé que ce mode n'est valide qu'en automatique sous DAP mais pas en mode manuel de pilotage. On va pouvoir vérifier facilement cette affirmation. Dans ce but vous charger **47) Tester Minimum Impulsion.scn** qui nous place en vue extérieure à environ 25 m du CSM bien sur le coté droit.

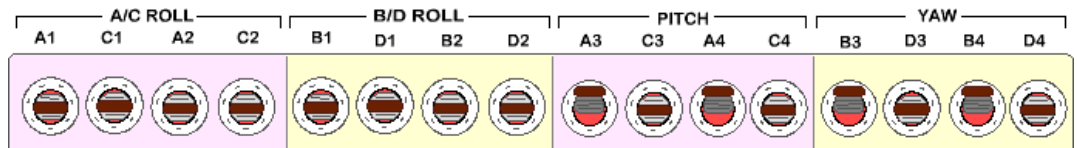
Inutile de numérototer les exercices ... il n'y en a qu'un seul :

- Touche / **num** pour forcer le mode ROTATION sur les RCS.
- Activez **8 num** puis **2 num**, comme représenté sur la Fig.164 les deux Quads sont utilisés en cabrage.
- Placez-vous bien au dessus du CSM et utilisez **1 num** puis **3 num** pour voir que les deux Quads sont également sollicités en lacet. Réalisez la séquence @ pour réinitialiser les conditions du test.

(La séquence encadrée nommée @ simplifie l'écriture du didacticiel en évitant des répétitions.)

- **V49 E P00 V06 N22 > 1 : sw CMC MODE sur AUTO > P > P > [F1]** pour passer à l'extérieur. On constate que comme pour le mode manuel, les deux Quads sont utilisés pour cabrer.
- **@** pour revenir "à la case départ". Configurez les seize inverseurs de 8 : **[AUTO RCS SELECT]** conformément à la première combinaison "Minimum impulsion" montrée en Page 19 de **SERVITUDES OPÉRATIONNELLES** sans oublier de placer 1 : **[MANUAL ATTITUDE]** les 3sw sur **MIN IMP**.

Combinaison où seuls A3-A4 et B3-B4 sont mis à contribution.



- **1 : sw CMC MODE sur AUTO > P :** Repasse en **P00 V06 N18 >**
- Revenir en vue extérieure avec **[F1]**. On constate cette fois qu'un seul des deux Quad est actif, (*Celui du haut car on n'a validé que A3/A4 et non C3/C4*) mais jamais les deux simultanément.
- **@** pour retrouver la configuration aux triples zéros **> V25 E + 00000 E + 00000 E + 03000 E >**
- **V49 E P00 V06 N22 > 1 : sw CMC MODE sur AUTO > P > P > [F1] >**
- On constate une nouvelle fois en vue extérieure que seul un Quad à gauche ou à droite s'allume pour effectuer les corrections en lacet. Nous sommes bien en mode "Minimum Impulsion".
- Toujours en mode ROTATION sur les RCS, pendant que le DAP commande les RCS pour placer le vaisseau à 30° de décalage latéral par rapport à la REFSMMAT, utilisez les touches **1 num** et **3 num** pour reprendre le pilotage en manuel. Les RCS sont à nouveau tous mis en service, montrant qu'en pilotage avec le RHC le mode simple impulsion n'est pas valide. Tant que l'on appuie sur une touche il y a poussée des petits moteurs de manœuvre.

En revanche, pour stabiliser la dernière attitude validée le système de contrôle automatique continue à "contrer" nos actions au relâchement de **1 num** et **3 num**, mais reste en utilisation d'un seul Quad à la fois, les inverseurs 8 : **[AUTO RCS SELECT]** imposant toujours leur configuration au pilote automatique.

@

- **[F1]** pour revenir à l'intérieur **> 1 : sw CMC MODE sur FREE >**
- **KILR** pour ***** KILL ROTATION ACTIVE *** > KILR** pour libérer les rotations **>**
- **1 : sw sur IMU CAGE > 1 : pb GDC ALIGN** pour conformité sur FDAI n°2.

Réparer une scène pour NASSP :

Concrètement ce chapitre n'a rien à voir avec la préparation au pilotage dans NASSP. Il ne concerne que les copains qui régulièrement se concoctent des situations spécifiques pour satisfaire des envies personnelles. Si vous débutez dans Orbiter et que pour le moment vous ne voulez pas consommer de temps à ce type d'activités, n'ignorez-pas pour autant ce chapitre, il est **volontairement inclus dans le tutoriel car il nous impose de souhaitables RÉVISIONS**. Faites discrètement l'impasse de ce chapitre qui fait partie intégrante de votre formation à la NASA, et vous pouvez compter sur la vigilance de P... qui vous savez pour vous ramener à l'écurie ! Restons ZEN, il était temps de réviser certaines notions.

Intrinsèquement nous savons pertinemment que de toute façon c'est du "bricolage", un pis-aller pour pouvoir se créer une scène apte à explorer des facettes spécifiques du vol lunaire, quitte à ce que l'ensemble de la mission ne soit pas totalement possible. Je ne crois pas que la procédure que je vous propose puisse nous permettre de générer une situation totalement pure et sans vermine cachée. Toutefois, quand on dispose d'une scène qui correspond exactement à la phase d'une mission que l'on veut expérimenter, mais que visiblement VAGC refuse ses services, réparer le scénario peut aboutir à une situation presque correcte et tout à fait utilisable.

Base de départ pour corriger une scène :

On supposera toutefois dans ce qui suit que la "structure" de départ est saine, autrement dit que globalement tout y est correct. Les diverses jauges sur le tableau de bord sont fonctionnelles, les réserves en tout genre (*Carburant, Azote, Oxygène et Hydrogène etc*) sont crédibles, l'équipage est en bonne santé. Bref, nous partons d'une "souche" dans laquelle seul le CMC refuse de fonctionner correctement.

Valider Virtual AGC dans une scène :

L'origine des problèmes décrits dans le chapitre précédent résident généralement dans le fait que le scénario n'est pas correctement déclaré pour fonctionner avec VAGC. On trouve une ou deux lignes de type : YAAGC 0 qu'il faut modifier avec un quelconque traitement de texte (*Bloc-notes.exe* par exemple) et les transformer en **YAAGC 1**. Il faut utiliser l'environnement *System ProjectApollo/Sol_VirtualAGC* dont il est question dans **LES OUTILS D'AIDE POUR NASSP** en page 15, mais parfois dans certaines configurations les véhicules disparaissent des vue extérieures et les CTD deviennent alors fréquents.

Il faut ensuite vérifier que le paramètre REALISM soit bien à 5 : **REALISM 5**.

Enfin, pour assurer une cohérence globale de fonctionnement de NASSP il faut une concordance entre la référence de la mission et le nom de la mission modélisée. Vers le début de BEGIN_SHIPS on doit vérifier la correspondance entre les paramètres VECHNO et APOLLONO :

BEGIN_SHIPS

Columbia:ProjectApollo\Saturn5

VECHNO 205

APOLLONO 7

REALISM 5

} **Vérifier la cohérence.**

SYNTHÈSE.

- * YAAGC = 1 signifie que Virtual AGC est utilisé.
- * REALISM = 0 : Quickstart mode. (*Mode simple*)
- * REALISM = 5 : Standard mode.
- * VECHNO = 506
- * APOLLONO = 11

Au passage, je vais vous livrer un petit secret : Quand j'utilise souvent une scène dans laquelle je dois recalculer les trois molettes d'ATTITUDE SET au "triple zéro", je trouve assez indigeste d'attendre la valeur désirée si au départ les trois angles sont "éloignés" de zéro. Il suffit dans le scénario de modifier les trois paramètres comme ci-dessous :

ASCP_BEGIN

OPX 40.000000

ROULIS : 40°

OPY 180.500000

CABRAGE : 180,5°

OPZ 0.000000

LACET : 0°

ASCP_END

Cette petite modification élémentaire me semble infiniment plus simple que de lancer la scène, de caler les molettes, de ressortir, de récupérer le contenu Current state, de le remplacer en scène originelle dans laquelle il faut de plus replacer le texte d'introduction.

On peut sauvegarder notre "bricolage" et s'en servir, mais notre PATCH n'est pas achevé, il reste encore à le vérifier et surtout "recadrer" certains systèmes. On doit mettre un peu les mains dans la graisse, mais les modifications à conduire constituent un très bon exercice de révision.

Exercice n°1 : Tester une scène problématique :

C'est de loin l'exercice le plus simple à réaliser, car il suffit de constater que ça ne va pas du tout. Comme exemple nous allons utiliser la scène **01) Fonctionne pas NASSP.scn** que je n'ai aucun mérite à vous fournir car c'est en rédigeant mon tutoriel que je me suis cogné au mur. Pas moyen de trouver une scène pour vous faire travailler la MCC (*Correction de trajectoire*) avec le SPS dans laquelle le CMC fonctionne. C'est en désespoir de cause que j'ai examiné ce fichier et "agencé" la méthode explicitée dans ce chapitre. Effectuer un "double" de cette scène pour ne pas "polluer" l'original. Toutes les scènes de ce chapitre sont réunies dans le dossier **<FONCTIONNE PAS NASSP !>**.

P suivi de **RSET** pour réveiller le DSKY qui était en sommeil.

V16 N65 E tout va bien, il y a cohérence avec le **[MISSION TIMER]**.

On va vérifier les paramètres du DAP :

V48 E ça commence, on se coltine un **OPR ERR** ! Pourtant notre consigne V48 E est légale.

V05 N09 E effectivement les erreurs sur R1, R2 et R3 sont toutes à **00000**.

On va tenter un autre programme :

RSET V34 E V 37 E 52 E même punition, le CMC refuse de réaligner l'IMU.

RSET V 37 E 30 E encore ! Veut plus utiliser le SPS.

N'insistons pas, nous avons compris que VAGC n'est pas validé dans le scénario.

Vous quittez Orbiter et avec le traitement de texte de votre choix vous corrigez les deux YAAGC 0 et vérifiez la cohérence de **VECHNO 506** avec **APOLLONO 11** et ajoutez juste après **REALISM 5**. N'oubliez pas non plus de corriger l'environnement avec **System ProjectApollo/Sol_VirtualAGC**.

Exercice n°2 : Redémarrer le CMC dans une scène corrigée :

Ravis d'avoir "Paché" notre scénario, il ne nous reste plus qu'à le réactiver et profiter intensément de la joie d'avoir bien travaillé. OUPS ! C'était trop facile, et trop beau pour durer, dès que l'on charge la situation nous avons une alarme qui nous casse les oreilles avec **CMC** allumé. Acquitez avec **MASTER ALARM**. Inutile de s'exciter sur **PRO, VERB**, rien à faire, le DSKY est paralysé.

Pour réactiver le calculateur il suffit de le couper puis de le redémarrer.

- Sectionneurs 5 : **[GUIDANCE NAVIGATION] [COMPUTER] cb MNA** et **MNB** coupés.
- Sectionneurs 5 : **[GUIDANCE NAVIGATION] [COMPUTER] cb MNA** et **MNB** armés.

Quand on revient sur le tableau 1 **CMC** n'est plus allumé, mais **PROG**, **RESTART** et **MASTER ALARM** nous narguent.



ATTENTION : Quand se produit un incident il ne faut surtout pas utiliser **RSET** qui éteint les témoins d'alerte du DSKY, mais également remet à zéro les indicateurs d'erreur de V05N09.

V05 N09 E effectivement sur R1 nous avons un onze zéro sept (**01107**) comme ils disaient à l'époque. Renseignement pris on a perdu des données. Il va falloir rétablir la REFSMMAT !

C'est pas fameux du tout ça. Bon, pas de panique, on va aviser.

RSET pour éteindre les deux témoins.

V16 N65 E : Le DSKY s'anime, mais manifestement il y a incohérence avec le **[MISSION TIMER]**.

En comparant avec GET d'Apollo Project MFD on constate que c'est l'horloge du CMC qui est perdue. C'est normal, quand on coupe complètement le CMC, au redémarrage l'horloge indique le temps écoulé depuis le redémarrage. On va donc remettre les pendules à l'heure !

On débute la procédure par saisie d'une heure légèrement plus tardive que celle du **[MISSION TIMER]** :

V25 N36 E (Affiche **V21-N36** et une saisie de l'heure CMC sur les trois registres)

+ **00025** pour imposer la valeur de l'heure en DÉCIMAL.

E valide la donnée (Affiche **V22-N36** pour saisir la valeur des minutes dans R2)

+ **00018 E** (Affiche **V23-N36** pour saisir la valeur des secondes dans R2)

+ **00000** (Ne pas oublier que le nombre de secondes est en 100e de seconde)

Attendre que **[MISSION TIMER]** arrive exactement à l'heure préchargée et :

E qui déclenche l'initialisation de l'horloge interne.

V16 N65 E pour vérifier la cohérence.

Exercice n°3 : Vérifier que VAGC est de nouveau fonctionnel :

V48 E >>> ATTENTION : On constate dans R1 que le DAP est actif mais la présence du LM n'est pas prise en compte. On va donc corriger :

V21 E 21101 E P l'AGC est fonctionnel, on peut configurer le DAP. Les masses indiquées pour le CSM et le LM sont nulles. Avec **[CTRL] I** on trouve 28773 kg pour le CSM et 15206 kg pour le LM. En multipliant ces valeurs par le classique 2,2 on trouve **+63300** et **+33453** exprimées en livres qu'il faut imposer au CMC : **V21 E +63300 E V22 E +33453 E P P P V46 E**. Le DAP est engagé.
V48 E P P P pour vérifier puis **V37 E 00 E**. CMC en attente on peut passer à l'exercice suivant.

Exercice n°4 : Vérifier que le pilote automatique fonctionne :

Puisque le DAP est activé et correctement initialisé, on peut commencer par se faire une orientation dans la REFSMMAT. Pour ne pas se prendre la tête on va commander un triple zéro facile à vérifier sur le FDAI de gauche. Vous ouvrez votre manuel **SERVITUDES.pdf** en **Page 46** et vous configurez les divers inverseurs pour préparer notre machine. Puis on engage l'automatisme :

V 49 E : Pas besoin de changer les angles qui sont déjà nuls dans les trois registres.

P P P : Les RCS se mettent à cracher, les aiguilles d'erreur s'animent. Lentement mais surement notre vaisseau s'oriente dans l'espace. Quand la position est stabilisée, les aiguilles de tendance recentrées, la sphère d'attitude du FDAI de gauche est bien au triple zéro. Tout va bien dans le meilleur des mondes.

Exercice n°5 : Rétablir le vecteur d'état :

Compte tenu de la façon dont notre scène a été obtenue, il semble prudent de rétablir certaines informations qui probablement sont erronées. C'est d'autant plus facile à faire que la procédure reste élémentaire. On va en profiter pour replacer 2 : **[CAUTION/WARNING] sw BOOST** sur **NORMAL**. Puis on ouvre le manuel **EXPLOITATION DU CMC/DSKY** à la **Page 41** et l'on effectue la mise à jour en mode automatique, mais avant n'oubliez pas un petit **V 34 E** pour la forme. Pas la peine de changer la source avec **SRC** car Colombia est déjà indiqué en bas à gauche. La procédure se déroule sans anicroche, tout va bien pour le moment. Achevez ce protocole correctement, car la dernière fois l'inverseurs 2 : **[UPTLM] CM** avaient été laissés sur **NORMAL** alors qu'en standard il doit se trouver sur **BLOCK**. Cet état du vaisseau est disponible dans **02) Fonctionne pas NASSP.scn** pour ceux qui le désirent.

Exercice n°6 : Commencer à réinitialiser la centrale inertielle avec P51 :

L'aboutissement de toutes ces manipulations réside dans l'utilisation automatique du SPS pour réaliser des manœuvres de corrections ou de modification de trajectoire. Hors la procédure de mise en service du SPS commence par l'appel à P52 la routine de recalage de la centrale inertielle. Autant s'y mettre tout de suite. Quand la plateforme inertielle est perdue, la seule possibilité consiste à refaire le point sur des étoiles. Mais on note dans l'encadré en bas de la **Page 31** du manuel que si l'IMU a été arrêtée, ce qui est notre cas de figure, il faut commencer par un P51 avant d'engager un P52. Nos premières actions vont consister à réaliser la procédure **Vérification des optiques de bord**. (**Page 42**) Quand les angles affichés correspondent bien à ceux attendus dans le manuel, placez 122 : **sw MODE** sur **ZERO** et attendre que les deux axes soient affichés à **00000**. On peut alors passer au programme P51 précédé par précautions de routine d'un **V34 E V 37 E 00 E**. (*Ces touches du DSKY commencent à s'encrasser !*) Glups, c'était trop beau, encore un **PROG** qui s'allume avec un **V05 N09E 00210** à la clef : **ERREUR 210 : IMU non prête**. Couper les deux sectionneurs 5 : **[GUIDANCE NAVIGATION] [IMU] cb MNA** et **MNB** puis les rétablir. Quand on revient face au DSKY **NO ATT** s'illumine à son tour. Cliquer sur **RSET**, seul **PROG** obtempère. On note au passage que sur le FDAI n°1 la sphère s'est recentrée. ATTENDRE que **NO ATT** se fasse oublier tout seul, ce qui prend un peu de temps.

V34 E V 37 E 00 E pour purifier une fois de plus le DSKY. C'est parti pour P51 :

V37 E 51 E P51 ~~V50 N25~~ (*Avec l'action attendue : R1 = 00015*)

Ouf, la procédure s'amorce normalement. Comme l'inverseur est resté sur **ZERO** les optiques sont centrées. **E P** puis en mode **MANUAL** centrer avec **Z, S, Q** et **D** l'étoile de référence n°1, par exemple Rasalhague (35) avec le TÉLESCOPE puis dans le SEXTANT. Recommencer avec Fomalhaut (45) pourquoi pas ? **Pour ma part je cherche à collimater des étoiles aussi éloignée l'une de l'autre que possible. L'une "vers le bas" et l'autre vers le haut, puis très décalée à "droite" ou à "gauche"**. Terminer la procédure conformément à la Check-list. Berkkk, la **"Différence d'angle Star"** annoncée dans R1 est trop importante. Il faut reprendre entièrement la "subroutine". Pour ma part j'ai pointé respectivement Nunki (37) puis Deneb (43). Notre ténacité est payante puisque l'on arrive à un affichage d'erreur **R1 = +00000** ce qui reste assez inespéré. Le système inertiel commence à retrouver ses marques, c'est encourageant. L'état actuel est sauvegardé dans **03) Fonctionne pas NASSP.scn** pour ceux qui veulent "se recalcr".

Exercice n°7 : Recaler la centrale inertielle avec P52 :

Logiquement cette deuxième phase du rétablissement de la REFSMMAT devra avoir entièrement régénéré les variables utilisées par les programmes de navigation. Il doit ensuite être possible d'utiliser en standard le SPS. Ce chapitre copieux qui n'est constitué que de révisions devrait être placé dans les chapitres qui traitent des situations de crise. En effet, recaler entièrement la navigation en fait intrinsèquement partie et vous prépare efficacement à faire face aux gros problèmes potentiels.

V34 E V37 E 00 E histoire d'user un peu plus les touches 3,7 et 0 du DSKY !

V37 E 52 E pour entrer de plein pied dans le vif du sujet. (*Mince j'ai mis le pied sur une ...*)

Inutile de vérifier les optiques de bord, c'est déjà fait.

Ne pas omettre dans la procédure de basculer 122 : sw **MODE** sur **CMC** en tête de procédure. Le logiciel va chercher Antares (33) comme première étoile de référence. Pour ma part je n'ai pas à corriger le centrage, la croisée des réticules l'encadrent parfaitement. Puis en deuxième jalon le programme sélectionne Altair (40) qui ne m'impose qu'une très fine correction avec le SEXTANT. Cette correction insignifiante prouve que notre deuxième P51 a fonctionné à la perfection. Conformément à la Check-list de P52 il faut terminer par un ALIGNEMENT DU GDC ce qui s'avère élémentaire puisque la sphère du FDAI n°1 est en "triple zéro" dans la REFSMMAT actuelle, et que les molettes sont déjà dans cette configuration. L'IMU est recadrée et peut reprendre vaillamment du service. On peut ranger soigneusement les optiques de bord dans leur placard dédié et se réinstaller confortablement dans le siège du CM. Éventuellement **04) Fonctionne pas NASSP.scn** nous situe dans cette "configuration propre". Dernière petite vérification : Passez les RCS en mode ROTATION avec / **num** et engagez trois rotations. Quand les trois angles auront changé notablement comparer FDAI n°1 au FDAI n°2 qui doivent rester "identiques".

Exercice n°8 : Vérifier que le DAP pilote bien le SPS en mode automatique :

C'est une condition impérative si on veut pouvoir effectuer les corrections de trajectoires, une mise en orbite, un retour vers la Terre ... Nous allons programmer une poussée quelconque sans se préoccuper de l'orientation du vaisseau, simplement pour vérifier que P40 fonctionne normalement. Mais nous savons que le programme P40 doit se voir précédé d'un P30 qui définit l'heure d'allumage et la variation de vitesse désirée. **Naturellement en préalable nous avons exécuté scrupuleusement toutes les actions qui conduisent à la mise en service et à la vérification du SPS.** Pour ceux qui le désirent la scène **05) Fonctionne pas NASSP.scn** nous propose le vaisseau paré pour pousser avec le SPS.

Passons ensuite à sa programmation : **V37 E 30 E** pour invoquer le programme dédié à cette mission.

V25 E +00027 E +00020E +00000E pour définir le GET d'allumage. (*Anticipation ≈ 30 min*)

P V21E +01234E P P P pour préciser le gain de vitesse désiré. (*Ici 123.4 m/s*)

40 E qui fait directement passer à l'appel du programme P40. Pour vous permettre de reprendre à convenance cet exercice **06) Fonctionne pas NASSP.scn** place Orbiter à ce stade des manipulations.

Au rechargement il faut réactiver le programme P40 sur le DSKY :

V37 E 40 E P40 ~~V50-N18~~

+00236

+34032

+01508

(*Pour la forme on va réinitialiser les angles d'orientation au neutre*)

V25 E +00000 E +00000 E +00000 E

P40 ~~V50-N25~~ (*Pour engager la poussée. R1 = +00204*)

P pour déclencher le processus. Il y a test des cardans à $\pm 2^\circ$ puis après un petit délai, affichage du décompte et des paramètres programmés pour la poussée. Il n'y a plus qu'à attendre l'extinction du DSKY à 35 secondes de l'allumage programmé et surtout à cinq secondes valider la poussée avec **P**. Pour achever cette "saga", **07) Fonctionne presque NASSP.scn** nous situe à une minute de l'allumage. Il n'y a plus qu'à le valider dans les cinq dernières secondes du décomptage.

Narf narf narf ... s'allume bien le SPS, mais se coupe avec anticipation. Il manque environ 21.6 m/s au **dV** programmé. Pire, bien que sur l'écran les curseurs des angles des cardans affichés sur **[SPS GIMBAL]** restent bien centrés, on part en cabrage et en lacet "virulents". En vue extérieure les flammes du SPS montrent bien qu'elles ne sont pas axées. Bien que tout semble normal, force est de constater qu'il y a encore un problème caché. Mais le résoudre ne fait pas partie de ce chapitre, il convient maintenant de changer un peu d'activité et de passer à une autre facette des vols Apollo. *Il faut toujours remettre au*

GESTION DES ALERTES ET DES PANNES :

Avec tout ce que nous avons passé en revue de détails au cours de notre formation dans le simulateur de la NASA, avec toutes les quintes de toux que nous avons déclenché chez P...., vous devez vous douter confusément que ce stage tire un tantinet à sa fin. Durant ces apprentissages nous avons à plusieurs reprises abordé le sujet. On a vu comment analyser une situation, faire appel aux informations croisées, utiliser les schémas et les procédures pour effectuer un diagnostic, et enfin comment agir pour contourner l'obstacle. Ce chapitre n'est pas fondamentalement nouveau, c'est plus une révision sur les méthodes à utiliser qu'une formation à proprement parler, avec pour leitmotiv "l'AUTONOMIE". Néanmoins, avant de chevaucher le monstre et s'envoler pour de bon, il vous reste à conforter votre assurance dans la gestion des crises. Nous savons déjà parer un certain nombre de problèmes. Dans ce chapitre on va se trouver confrontés à d'autres incidents, parfois assez déstabilisant quand la vie de l'équipage est en cause. Si vous prétendez avoir mérité vos galons et pouvoir pénétrer dans le module de commande, tout en haut de la fusée, vous devez pouvoir vous sortir des situations proposées sans lire au préalable une solution qui accompagne chaque exercice et propose une façon de raisonner et de surmonter les difficultés. Autrement dit, comme des grands vous devez FAIRE FACE !

☞ Toutes les scènes de ce thème sont dans le dossier <GESTION DES PANNES>.

Exercice n°1 : Le SPS qui ne coopère pas.

Frustrant au possible ce type de panne. On a totalement préparé le vaisseau et programmé un allumage automatique du moteur orbital. La procédure se déroule normalement. Dans les dernières 5 secondes, comme prévu dans les procédures NASA on valide le programme en cliquant sur **PRO**. Pour s'y trouver confronté, chargez **1) Panne sur le SPS.scn** qui pour nous éviter d'avoir à trop patienter nous place à un peu plus d'une minute du GET prévu pour l'allumage. Le décompte sur le DSKY est nominal. Comme prévu, à 00 : 35 l'écran du calculateur s'éteint. C'est bon signe. À 00 : 29 il s'illumine et surtout à 5 secondes de l'allumage il se met à clignoter sur **V99-N40** nous incitant fortement à cliquer sur **PRO** pour valider la mise à feu ce que naturellement vous faites sans attendre. C'est parfait, tout fonctionne correctement. -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 puis plus rien. Que du silence. SCONGREGNEUGNEU !

PROG . Néanmoins on va vérifier la configuration du tableau de bord **SYSTEMES APOLLO.pdf** ou ailleurs la programmation du CMC, que ce soit pour P30 et pour P40 n'a généré aucun **OPR ERR** ou la check-list ? Peu probable vu notre rigueur actuelle quand on s'active sur le tableau de bord. Par la première hypothèse consiste à incriminer la préparation machine. Aurions-nous sauté un item dans ouvert en **Page 28**. Comme c'est le gros moteur qui ne s'allume pas, rien à voir avec la vectorisation, on va donc restreindre nos vérifications au schéma fonctionnel de poussée du SPS :

- 1 : **SW SC CONT** sur **CMC** et 1 : **SW CMC MODE** sur **AUTO** : l'automatisme est validé.
- 3 : **[SPS He VLV]** **SW 1** et **2** sont sur **AUTO** : La pressurisation Hélium automatique est activée.
- Sur le tableau 3 les pressions sont correctes. La température de 40°F est un peu faible, il aurait été plus judicieux de préchauffer sur **A** mais ce constat n'explique pas le problème.
- Commentaires 3 : **[SPS] SW LINE HTRS** sur **A/B** pour faire monter la température dans les tests qui vont suivre, mais ce n'est qu'une précaution certainement non indispensable.
- 1 : **[AV THRUST]** **SW** sur **A** alimente bien le moteur.
- Test moteur >>> Placer 1 : **SPS THRUST SW NORMAL** sur **DIRECT ON** un court instant. Le moteur reste muet. Le chapitre **Allumage du SPS en manuel** ne laisse plus beaucoup d'hypothèses vraisemblables. La ligne **A** est peut être en défaut :
- 1 : **[AV THRUST]** **SW** sur **B** et couper **A** par mesure de sécurité.
- Nouveau test moteur >>> Il fonctionne. Soit le circuit gère par **A** est déficient, soit l'un des deux sectionneurs de la ligne **A** n'est pas engagé.
- En passant sur le tableau 8 on constate effectivement que
- 8 : **[SERVICE PROPUSSION SYS]** **[PILOT VLV]** le **cb A** n'est pas armés.

CONCLUSION : Un incident fuyatif aurait fait sauter ce disjoncteur ? Mais on peut le réarmer sans problème. Nous avons certainement omis un item quand la procédure d'activation du SPS nous renvoie à la sous-liste **Vérification état du SPS**. C'est de loin l'explication la plus plausible ...

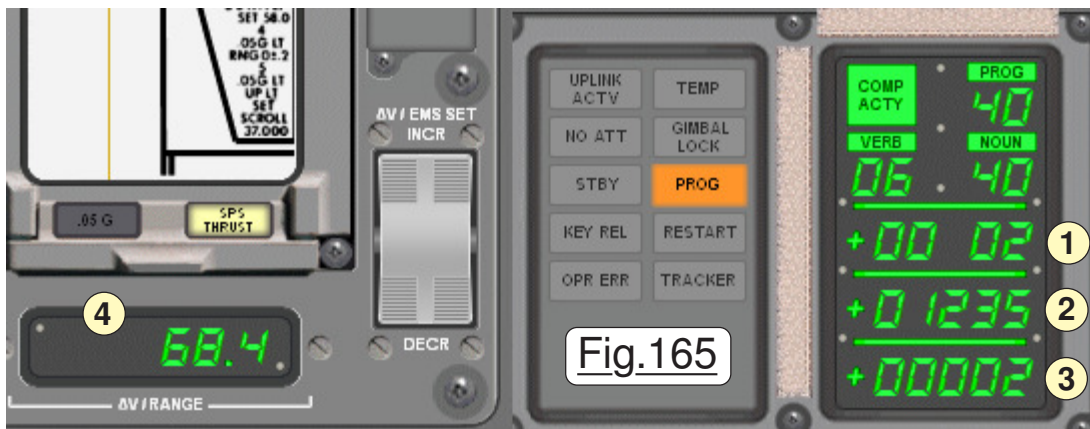
Analyse :

Exercice n°2 : Problème du SPS qui ne se coupe pas.

C'est la réciproque du problème précédent. La procédure P40 se déroule normalement. Si dans le délai des cinq dernières secondes on valide l'allumage, il se produit normalement et sur l'indicateur [ΔV RANGE] le décomptage est normal. Tout va bien, nous sommes parfaitement décontractés. Et puis, brutalement et sans prévenir c'est l'incident. Le témoin **PROG** avec **MASTER ALARM** s'allument, on subit un V05 N09 de type 01407 et surtout quand le dV désiré est réalisé le moteur ne se coupe pas !

Pour expérimenter ce cas critique, chargez la situation 2) Pb sur P40 qui ne coupe pas le SPS.scn dans laquelle vous laissez faire pour observer le déroulement des événements. Au rechargement le compteur [ΔV RANGE] a perdu sa valeur exacte de 123.4, mais vous avez largement le temps de rétablir sa valeur si vous avez suivi normalement votre formation. Observez-bien ce qui se passe. Dès que le moteur s'allume passez en ralentissement temporel 0.1x pour avoir le temps de voir un minimum de choses.

Observation : La Fig.165 représente une copie d'écran exactement au moment où le témoin **PROG** s'allume. Quand tout est normal, en 1 il y a pré chargement en négatif de la durée prévue pour la combustion. En 2 la valeur diminue, car elle représente le dV qui reste à fournir. En 3 au contraire la valeur augmente, car elle indique le dV déjà obtenu. Au nominal, la somme des deux valeurs est constante et représente le dV total programmé. Dans ce cas d'incident, on constate que la valeur pré chargée dans R1 fait zéro suivi d'un comptage positif. En 2 et 3 les valeurs affichées sont aberrantes. Par contre, on



constate que lorsque le témoin d'alerte s'allume, le dV à fournir en 4 n'est pas encore complet. Si on coupe le SPS exactement au facteur déclenchant l'alerte, la poussée ne sera pas dramatiquement exagérée.

Expérimentez une fois de plus, mais cette fois le curseur de la souris est sur le cabochon de sécurité de l'inverseur 1 : [ΔV THRUST] sw A pour le couper promptement à l'apparition de **PROG**. Pensez que c'est le **BDS** qui rabat la sécurité et commande la coupure du moteur. Personnellement quand j'ai stoppé la combustion, dV est encore de 59.5 ce qui laisse la possibilité de "dégrossir" dV à 1 ou 2 m/s et de terminer finement avec les RCS.

Analyse : Pour cette expérience je ne vais pas vous laisser vous enliser dans des recherches vaines. Il ne s'agit pas d'une quelconque erreur de notre part, tout est correctement programmé et configuré. Même Popol ne trouve rien à redire. En fait, il s'agit d'une vraie panne ! Une panne de programme. Le logiciel NASSP est pointilleux, il s'accommode très mal de scènes bricolées dans lesquelles un clampin (*C'est à dire Môamôa dans ce cas*) a été modifier ici et là quelques paramètres pour créer à l'économie une scène quelconque. De telles situations "impures" engendrent des comportements imprévus tel que celui-ci.

Conclusion : Dans le document proposé en préambule je vous explique que NASSP étant en évolution, les scènes relatives à Apollo 11 peuvent comporter des "vermines". Donc, y compris dans les scénarios fournis avec NASSP nous risquons de tels aléas. Je trouve que c'est assez cocasse, car panne logicielle, ou panne simulée volontairement, dans les deux cas nous serons confrontés à des films de ce genre. Nous sommes avertis et devons ... GÉRER COMME DES PROs !

PROCÉDURE :

Tout allumage automatique du SPS pouvant se solder par l'incident rencontré ci-avant il faut :

- Attendre les cinq dernières secondes de P40 pour valider l'allumage avec **PRO**.
- Immédiatement déplacer le curseur de la souris sur la sécurité de 1 : [ΔV THRUST] sw A.
- Placer le majeur sur le **BDS** pour parer toute éventualité.
- S'imposer un strabisme divergeant en regardant à la fois [ΔV/RANGE] et le DSKY.
- Si **PROG** et **MASTER ALARM** s'allument, couper immédiatement le SPS avec le **BDS**.

- Terminer la manœuvre en manuel avec le SPS et les RCS en mode TRANSLATION.

Exercice n°3 : Problème de température sur des groupements RCS.

Pour ménager vos palpitations, quand vous lancez **3) Pb thermiques sur les RCS.scn** l'alarme sonore stressante est déjà coupée. Restons zen. De plus, pour vous simplifier les manipulations, les RCS sont disponibles et l'on peut à notre guise orienter le vaisseau. En réalité, vous étiez en période de repos et CAPCOM vous réveille pour vous signaler que deux témoins d'alerte sont allumés. Comme ce n'est pas très pénalisant, HOUSTON a attendu pratiquement la fin de cette période de repos pour intervenir. À vous de jouer, mais cet exercice est bien gentil gentil tout plein.


Analyse :

Comme ces deux témoins d'alerte sont relatifs à la température des groupements de moteurs RCS, on consulte **2 : [SMRCS] ind TEMP PKG** l'index le plus à gauche sur les quatre appareils de mesure. On voit immédiatement qu'il est très en dessous de la zone verte. Inutile de commuter **2 : RCS INDICATORS sel SM** sur la position **D** car il s'y trouve déjà. On va donc traiter cet incident en premier. Si le groupement **SM** sur la position **D** car il s'y trouve déjà. On observe dans **SYSTEMES APOLLO.pdf** en **Page 36** que le circuit de chauffage est élémentaire. Soit c'est l'inverseur **9** qui n'est pas commuté sur **PRIM** ou **SEC**, soit c'est le sectionneur **8 B** qui n'est pas armé. Comme l'inverseur est manifestement correctement positionné, il ne reste plus qu'à "sauter" sur le tableau 8 pour confirmer nos hypothèses. Ce sectionneur accepte de se réenclencher. Ce doit être une petite surtension passagère qui l'a fait sauter. Allez, on place maintenant **2 : RCS INDICATORS sel SM** sur la position **B**. Surchauffe... Solaire probablement. Un blocage du thermostat qui laisserait le chauffage en permanence n'est pas exclu :
• Coupez le chauffage sur **D**. Vous constatez une baisse de flux sur la pile à combustible n°1. Donc le thermostat **D** alimentait bien en énergie les résistances chauffantes. Rétablir l'énergie.
• Coupez le chauffage sur **B**. Le flux sur **FC1** ne change pas. Donc le thermostat a bien coupé l'énergie, la surchauffe est donc bien le résultat d'une exposition permanente au Soleil.
Pour vérification dans le cadre de notre apprentissage passez en vue extérieure. Vous avez compris. Revenir à l'intérieur pour traiter le problème à la méthode Apollo :
• La vue par le hublot de droite montre bien notre exposition solaire en observant le LM.
• Initialisez le **FDAI n°2** au triple zéro. Passez les RCS en mode **ROTATION**.
• Faire effectuer un demi-tour au train spatial pour placer dans l'ombre le Quad **B**.
Autorisation de passer en vue extérieure pour vérifier la validité de cette manœuvre. Mais en restant dans le vaisseau on a aussi confirmation car à travers le hublot de droite l'antenne à grand gain du LM est bien éclairée face arrière alors qu'avant ce côté de la parabole était "noir".
Reprendre cet exercice, mais cette fois déclenchez le chronomètre de mission. Pour le Quad **D** en six minutes le témoin s'éteint, par contre il faut environ une demi-heure pour que l'index revienne en zone verte et s'y stabilise. Le témoin du groupement **B** se fait oublier en moins de deux minutes, mais il faudra 30 min pour qu'il regagne le haut de la zone verte, et 1h 30 min pour atteindre le centre.
• Attendre que l'index pour le Quad **B** soit centré en zone verte et... régulation thermique passive !

Exercice n°4 : Une avalanche de problèmes simultanés.

C'est souvent dans les moments de plénitude totale et de sérénité absolue, que survient le gros pépin. Sans prévenir, brutal et sans pitié. L'équipage d'Apollo 13 en a fait la douloureuse expérience. Non, l'exercice que je vous propose n'a pas du tout ce caractère de gravité, et pour cause. Une explosion n'est pas envisagée par la NASA, raison pour laquelle aucun programme dans le simulateur n'est prévu pour confronter les équipages à cette hypothèse totalement exclue. Par contre, des incidents peuvent rapidement engendrer une situation de crise, et dans ce cas l'équipage ne dispose pas forcément de beaucoup de temps pour réagir. Rappelez-vous les concepts fondamentaux :

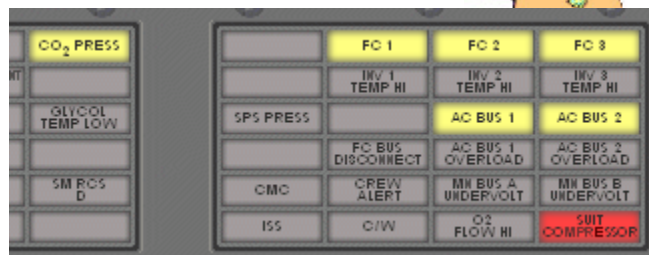
- * Ne pas aggraver la situation,
- * Analyser rapidement et utiliser les hypothèses les plus probables,
- * Ne pas attendre que CAPCOM nous dicte la conduite à tenir, car il faut se débrouiller et tout particulièrement si l'incident survient quand les liaisons radio sont coupées.
- * Si plusieurs témoins sont allumés, gérer en priorité les urgences.

La scène qui permet d'illustrer ce propos : **4) De nombreux problèmes!.scn** annonce la couleur : Du rouge, du jaune, et la tonitruance de  ... alors ASSUMEZ !

GLUPS, effectivement quand autant de voyants s'illuminent d'un seul coup ce n'est pas spécialement bon signe. S'il en tourne c'est un tantinet petit souci qui pointe son museau. Si l'on prend en compte les couleurs, c'est le témoin rouge dont il faut s'occuper en premier, les autres peuvent attendre un chouilla. C'est bien ce que préconise la liste des conseils donnés en page précédente.

Cogitez, observez les différents indicateurs dont les affichages ne correspondent pas à la norme, faites rapidement vos hypothèses et surtout AGISSEZ !

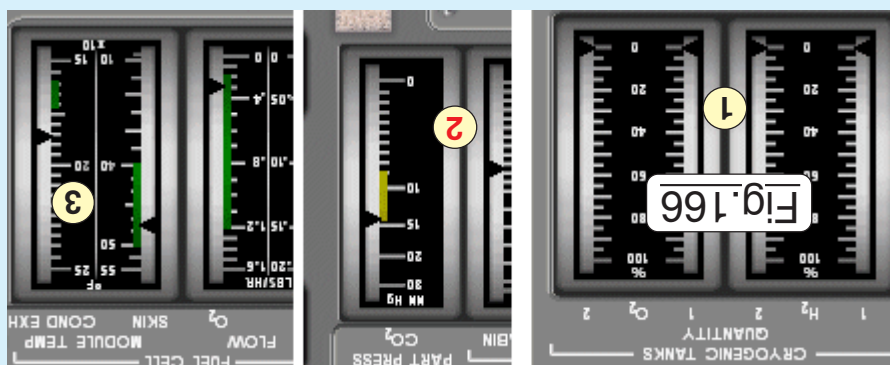
HOUououou lala, môamôa je dis que tout ça d'un coup, c'est pas normal ! C'est le tableau des alertes qui est en panne, c'est rien de plus.



Hé oui, nous avons déjà rencontré un problème assez semblable au cours de notre formation. C'était en page 130. Nous savons que des systèmes électromagnétiques comme les indicateurs à galvanomètre mobile comme en 1, les moteurs électriques des pompes comme celles de SUIT et des FC fonctionnent en courant alternatif. Par ailleurs tous les indicateurs ne sont pas inertes ? L'appareil de mesure **AC INDICATOR** sur le tableau 3 confirme notre diagnostic. Effectivement on constate sur le tableau 275 que le sectionneur **1 MAIN A** a sauté. Probablement un petit pic de courant passant, car il accepte de se réenclencher normalement. Quand on revient sur le tableau des alertes **SUIT COMPRESSOR** n'est plus allumé. Les moteurs se remettent en route, le rafraichissement des FC va reprendre. Les jauges des réservoirs cryogéniques ont repris du service. Les inverseurs RESFT des lignes de génération alternative permettent d'acquiescer, les deux témoins AC BUS s'éteignent à leur tour. Ceci dit, il faut rapidement filtrer l'air respiré. Le taux de CO2 est élevé, le mal de tête gagne. Mettez en service la deuxième pompe de filtration. Passez en accélération temporelle **0.1x**, et rapidement tout rentre dans l'ordre. Quand la pollution en CO2 passe en dessous de la zone orange sur **2** vous pouvez couper le deuxième compresseur. Pour éteindre **O2 FLOW HI** il suffit de couper **Direct O2** sur le tableau 7. Enfin si vous avez chaud, regardez **2 : [TEMP] ind SUIT** et surtout placez en position haute **2 : [SEC COOLANT LOOP] sw EVAP** et **sw PUMP AC1**. On voit en recommençant intégralement cet exercice qu'en moins de cinq minutes la situation normale est entièrement rétablie.



Le courant alternatif bande de sabichabazouk ! Et vous vous prétendez capables de piloter jusqu'à la Lune ! C'est décidé, j'écris au président, inutile de continuer à gaspiller l'argent des contribuables, on abandonne définitivement Apollo !



CONCLUSION : Sans perte de temps il faut trouver le point commun à toutes ces anomalies. Allez, un petit effort. Quel est la source commune de tous ces tracas. C'est pourtant facile.

La Fig. 166 qui représente une copie d'écran effectuée au démarrage de la situation va nous aider à raisonner. Il n'y a pas eu d'explosion, donc une panne simultanée sur tous ces systèmes n'est pas vraisemblable. Seul les indicateurs **2** et **3** relèvent de témoins d'alertes. Le témoin **FC1** concerne les piles à combustible. Effectivement on constate qu'en **3** la température du condenseur est élevée. L'allumage de **CO2 PRESS** est bien plus alarmant, car il concerne **2** et met directement en cause la sécurité de l'équipage, et même sa survie. La saturation en CO2 résulte d'un manque de filtration qui s'explique probablement par le non fonctionnement du compresseur signalé par **SUIT COMPRESSOR**. On remarque en outre sur les deux indicateurs **1** que nous n'avons plus de H2 ni de O2 ... ce qui n'est vraiment pas crédible.

Une mission presque complète en mode manuel :

H eureusement, une telle épopée n'a pas eu lieu. Certains vont objecter que si, qu'Apollo 13 correspond exactement à ce cas de figure. Pas du tout. Une explosion sur le train spatial n'a jamais été une option envisagée par la NASA. Un retour sur la lancée en utilisant le LM n'avait jamais été simulé, ce sauvetage a été entièrement improvisé. Par contre, une panne totale sur les systèmes de navigation ou du calculateur de bord était prévue. Peu probable vu la fiabilité des matériels utilisés, mais crédible. Il faut savoir que le CMC utilisait pour la première fois des circuits intégrés dans un système aussi complexe. Ces technologies étaient naissantes et les ingénieurs ne disposaient d'aucun recul à cette époque. On peut affirmer que le choix d'utiliser des circuits intégrés était téméraire, mais vu le peu de place disponible pour loger le calculateur dans le CM ou dans le LM, il n'y avait pas vraiment d'autre choix possible.

C ompte tenu de ces décisions stratégiques, une panne totale du CMC était donc sérieusement envisagée et les astronautes ont été formés pour pouvoir prendre la main sur les automatismes à tous les stades d'une mission, y compris quelques secondes après le décollage. Cette facette de votre formation a été réservée vers la fin, car elle va vous demander une parfaite maîtrise du vaisseau dans pratiquement tous ces systèmes fondamentaux. Il ne faudra plus avoir la plus petite hésitation pour se placer en KILL ROT par utilisation des références externes, interpréter le FDAI, utiliser les RCS et le SPS etc. Naturellement vous avez compris qu'il ne sera plus question de passer en vue extérieure, d'utiliser les écrans modernes d'Orbiter sauf **LunarTransfer** MFD pour simuler les données envoyées par la Terre. Bref, votre livret de pilote est pratiquement entièrement rempli. Les cases d'aptitudes sont presque toutes cochées. C'est la dernière ligne droite et Popol se frotte les mains, car il sait que vous allez en baver.

C ontexte : L'heure d'effectuer la première MCC est arrivée, mais depuis plusieurs heures la Terre est en effervescence, la mission est très mal engagée. La T.L.I. n'a pas été nominale, le calculateur a visiblement fourvoyé le vaisseau sur une mauvaise route. L'étude de la trajectoire par analyse Doppler des signaux radio montre que non seulement le vaisseau est sur une trajectoire de collision avec la Lune, mais l'éjection a été bien trop énergétique. Non seulement la vitesse est trop rapide, on va arriver avec beaucoup d'avance, mais surtout **le train spatial n'est pas sur une trajectoire de libre retour**. Comme une mauvaise nouvelle n'est jamais isolée, au moment de réveiller le CMC un crépitement d'électronique qui grille s'est fait entendre dans le vaisseau et l'odeur caractéristique d'un circuit qui a brûlé a enlevé tout doute. Les deux bus principaux ont disjoncté. Vous avez immédiatement coupé les sectionneurs du CMC et rétabli les bus principaux. Tout est presque redevenu normal à bord quand vous rechargez la situation **01) Mission complète en manuel.scn** sauf qu'à partir de **25:19:00** il va falloir piloter sans aide à la navigation. Autant dire que le retour se présente sous de très mauvaises augures. Toutes les scènes qui accompagnent ce chapitre sont réunies dans le dossier **<Calculateur CMC et AGC en panne>**.

- *Houston de 506, les énergies sont rétablies, et pour la dynamique ?*
- *OK 506 pour les bus. Une correction de route au périlune serait trop importante pour un retour sur la lancée. Vous allez devoir au préalable vous placer en orbite.*
- *OK Houston, et pour la MCC ?*
- *Vous corrigez pour un périlune de 150k, toujours sur la Tranquillité. Mais pour le freinage de capture vous allez consommer un maximum, vous serez short pour l'éjection. Il vous faut larguer impérativement le LM pour diminuer le poids.*
- *OK on va larguer le gros passager.*
- *ATTENTION 506, larguez à 90° du vecteur vitesse pour qu'il s'éloigne de votre trajectoire et reculez aux RCS pour un dégagement d'environ 2 m/s.*
- *Bien noté Houston, on libère le LM, on s'écarte et on procède à la MCC.*

Vous avez compris tout ce qu'il faut faire, alors à vous de jouer :

Exercice n°1 : Se placer à 90° du vecteur vitesse et larguer définitivement le LM.

C omment placer le train spatial orthogonalement au vecteur vitesse alors qu'il n'est plus possible d'utiliser les systèmes d'aide à la navigation ? Raisonnons un peu : Partis depuis la Terre on fonce vers la Lune. Donc globalement le vecteur vitesse va de la planète vers son satellite. On va donc placer le nez du vaisseau vers la Terre, puis au FDAI effectuer un quart de tour en lacet par exemple. Comme l'on veut juste voir le LM s'écarter de notre route, l'angle droit n'est pas un impératif absolu. Cette phase de la manœuvre n'impose pas une grande précision angulaire.

Notez au passage qu'une bonne part des configurations sont en place. Les pyrotechniques sont armées, le SPS en mode manuel est opérationnel, les RCS sont disponibles en mode TRANSLATION car nous savons que la MCC sera affinée avec les petits moteurs.

Notre dernière orientation laissait la Terre globalement en face, donc avec le télescope on doit pouvoir la pointer. N'oubliez pas d'activer l'énergie sur les optiques. Pointer vers le haut jusqu'à centrer le bas du LM. Un peu sur la gauche on remarque notre source de vie. Vérifiez le mode ROTATION sur les RCS et une fois la Terre retrouvée dans le collimateur, provoquez du lacet à gauche jusqu'à ce qu'elle soit cachée derrière le LM. Compte tenu des caractéristiques des optiques, vous savez qu'en fait elle doit se trouver environ 10° plus bas.

NON, pas question de passer en vue extérieure !

Ben Môamôa je trouve que P.... il exagère, car je sais très bien que vous n'en aviez absolument pas du tout l'intention !

Bon, on fait confiance au matériel, on cale un triple zéro sur le FDAI n°2, et on fait piquer le vaisseau de 10° dans la zone noire. L'inertie est grande, inutile de lancer le train dans une folle rotation. Vous accélérez en rotation durant environ 20 secondes, puis vous passez en **10x** pour "patienter". Quand les -10° sont affichés, "KILL ROT" en utilisant sur le FDAI les indicateurs des taux de rotation. Nouveau recentrage de la sphère d'attitude et par exemple lacet à droite de 90° pour obtenir notre orthogonalité. Quand approchant la zone rouge, et que l'écart de non blocage perturbe la rotation de la sphère d'attitude, "KILL ROT" toujours avec les indications du FDAI.

Maintenant vous pouvez passer en vue extérieure pour vérifier une fois de plus que théorie et pratique font assez bon ménage pour peu que nous ayons une bonne maîtrise des divers systèmes du vaisseau.

Pour larguer définitivement l'encombrant passager qui plombe le bilan de masse, vous vous débrouillez !

Exercice n°2 : Réaliser la correction de trajectoire en manuel.

C'est vraiment bien. Vous commencez à restituer tout ce que vous avez appris, et avez de votre propre initiative entièrement sécurisé les pyrotechniques. De plus, avant de provoquer la séparation vous n'avez pas oublié de repasser les petits moteurs en mode translation. Comme quoi, la rigueur commence à payer. Coupez le radar de proximité dont le *tuit tuit tuit tuit tuit tuit* **tuit tuit** devient rapidement pénible.

Par VHF, comme prévu Houston vous transmet les données de la manœuvre :

- Sur **LunarTransfer** MFD : **PRG > NEXT** jusqu'à **TLI > EXE >** (*FSt est déjà sur l'option TLCC*)
- **PRV** jusqu'à **PeA > SET > 150k** ↗ >
- **NEXT** pour indexer **Mod > +** pour **Surface > NEX** jusqu'à **TgT >**
- **+** pour **Tranquillit.. > EXE > DV**. On observe que **BT ≈ 22.54 >**

La durée d'allumage est relativement importante, "**Main**" est plus approprié que les RCS.

- **EXE > DV >** Le **BT** pour la correction de trajectoire qui ne percute plus la Lune n'est que 23 secondes, mais c'est classique. Loin des sphères d'influence des astres, les manœuvres sont peu couteuses en "fuel".

Pour orienter le vaisseau, dans la réalité CAPCOM nous désignerait des étoiles caractéristiques, mais vu la difficulté de se repérer dans le ciel d'Orbiter, on va "tricher" et utiliser le collimateur du pilote automatique de LTMFD. Nous n'avons que 300s pour orienter convenablement le CSM. C'est largement suffisant si les rotations manuelles sont dominées. Par contre si vous pataugez, le temps imparti sera dépassé. N'oubliez pas que le roulis correspond à la célérité la plus grande, il faut le privilégier. Effectuer les "KILL ROT" quand on approche des orientations désirées se fait naturellement avec les FDAI ... (*P.... surveillance !*)

- **EXE** pour visualiser la cible du pilote automatique et / **num** pour le mode rotation et centrez la croix. Pour ceux qui le désirent **02) Vaisseau orienté paré pour la MCC.scn** nous place dans la configuration requise. Mais dans ce cas au rechargement il faut à nouveau couper le sifflet au radar, éventuellement recalculer à zéro le compteur de **[ΔV RANGE]** et surtout réinitialiser le P.A. de LTMFD :
- **EXE > DV > EXE > DV**.

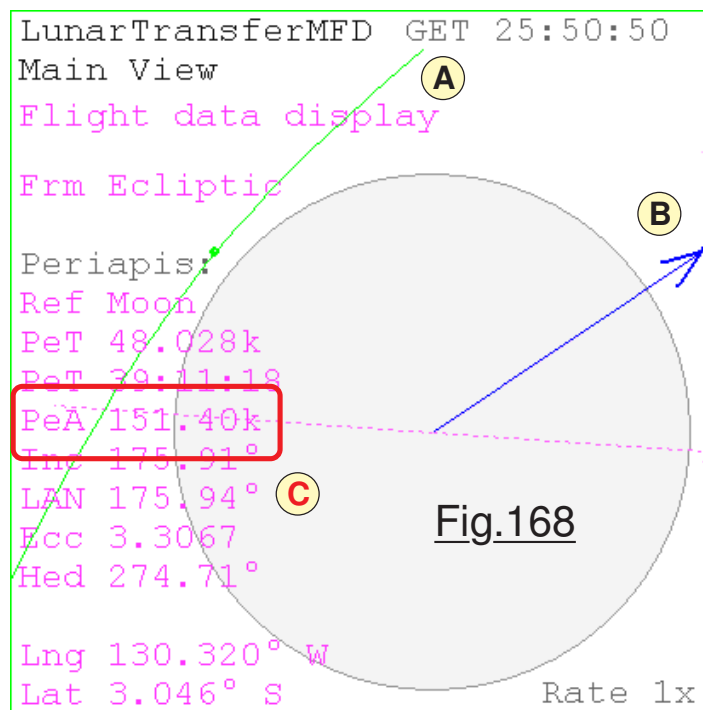
ATTENTION : Pensez à armer les deux sectionneurs de **[DIRECT ULL]** sur le tableau 8.

Avant de procéder à la poussée, réajustons au triple zéro le FDAI n°2 pour pouvoir surveiller la stabilité de l'orientation durant la poussée. À environ une minute de l'allumage activez 1 : **[ΔV THRUST] sw -NORMAL-** sur **A** non sans avoir au préalable vérifié que **[SPS THRUST] sw** est bien sur **NORMAL**. Enfin n'oubliez pas la poussée ULLAGE entre -15 et -5 secondes de l'allumage du SPS. Puis rapidement le **BGS** sur l'inverseur de mise à feu. C'est là qu'un bon entraînement va s'avérer capital. Quand le décompte sur **Tlg** arrive à zéro : **DIRECT ON**. Immédiatement positionnez le curseur de la souris sur la position **NORMAL** de l'inverseur du SPS. Coupez le moteur à un **BT** d'environ 0.3 à 0.5 secondes. Terminer avec **Page 180** les RCS en annulant exactement la valeur de **BT**.

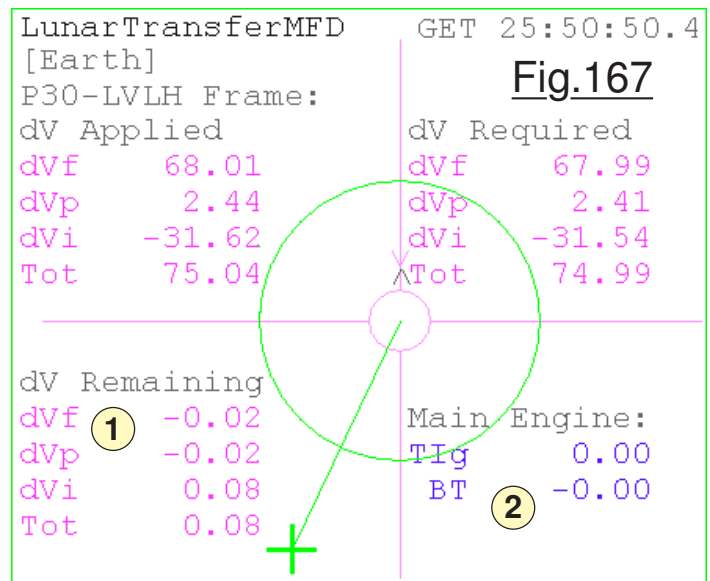
Durant la poussée un rapide regard pour vérifier que la pression est nominale dans la chambre de combustion du SPS, ainsi que sur le FDAI n°2 dont la sphère d'attitude ne doit pas "bouger". Si elle se met à tourner, stoppez immédiatement la combustion, les cardans du SPS ne sont pas centrés ! Vous remarquez qu'en poussée avec les RCS, comme montré sur la Fig.167 la croix se décale du centre de la cible, laissant à penser que l'erreur qui va en résulter sera importante. Non, si vous observez la sphère d'attitude sur le FDAI, le changement d'assiette est dérisoire. De plus, c'est pour une faible variation de vitesse. Il est donc inutile de s'en préoccuper. Il est également possible que certains vont peut être couper trop tard et le **BT** sera dépassé. Si le retard dépasse la seconde, il n'y a plus qu'à effectuer entièrement une autre MCC. Par contre si il reste inférieur à la seconde, on peut corriger aux RCS "en reculant". Notez au préalable en **1** la valeur de **dVf**, et en **2** la valeur de **BT**. Mettre à zéro le compteur de **[ΔV RANGE]**.

Appliquez une rétro-poussée. Quand la valeur de **[ΔV RANGE]** arrive au **dVf** qui avait été noté, stoppez la poussée. Les valeurs en **1** et **2** ne font que s'incrémenter, donc elles auront pratiquement doublé. La correction de trajectoire est alors rattrapée. Comme le flux de télémesures est assuré, vu que nous sommes "en visibilité radio", par effet Doppler la Terre a calculé notre nouvelle trajectoire et nous envoie le résultat :

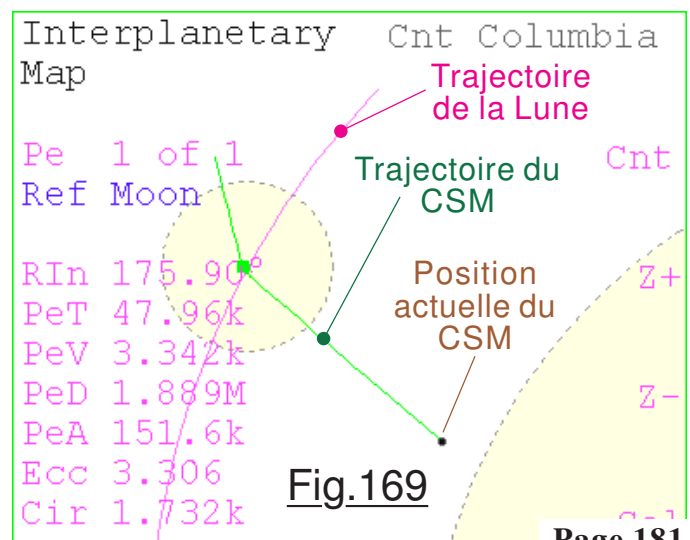
• Sur **LunarTransfer MFD > PRG > NEXT > EXE >**



périlune. On y passe exactement à l'altitude prévue le 18 Juillet à 6 h 49 min T.U. avec pratiquement deux jours d'avance. La Fig.169 est un extrait de la carte d'IMFD dans lequel les SOI sont coloriées en jaune. Il confirme une trajectoire très ouverte autour de la Lune qui nous accélère vers l'extérieur de l'orbite sélène. Il serait possible de réaliser une manœuvre de retour direct vers la Terre sans se mettre préalablement en orbite. Mais cette correction de trajectoire qui impose une longue



La Fig.168 présente une copie d'écran correspondant à la fin de la MCC effectuée dans ces conditions, que je vous propose dans **03) MCC réalisée pour PeA 150 km.scn** pour que vous puissiez continuer avec des paramètres identiques à ceux du tutoriel. La trace verte en **A** est notre route. On constate bien qu'elle ne se referme pas en boucle pour un libre retour vers la Terre. Le tir "est tendu" et nous allons nous perdre très loin. En **B** le rayon vecteur de notre position actuelle sur la trajectoire. J'ai surchargé avec le tracé d'une flèche pour montrer notre direction. Surtout en **C** la prédiction de LTMFD. Pour vérifier la précision sur le long terme de ce calculateur, chargez la situation et laissez le vaisseau aller jusqu'au



brûlure exige de plus une modification constante de l'orientation du vaisseau au cours du freinage, ce qui n'est pas envisageable raisonnablement en pilotage manuel. C'est la raison pour laquelle le département dynamique a opté pour une mise en orbite circulaire préalable. Par contre, il ne faut pas se leurrer. Le freinage de capture va exiger un BT de l'ordre de presque sept minutes et ne laissera que moins du tiers des réservoirs. C'est juste suffisant pour réaliser l'éjection vers la Terre et la ou les corrections de trajectoire, et il ne faudra pas donner dans la médiocrité.

Exercice n°3 : MCC "pifométrique".

Nous allons dans cet exercice effectuer une petite manipulation simple pour montrer qu'avec une orientation très approximative on peut déjà dégrossir une trajectoire. La Fig.170 représente une copie d'écran notablement retravaillée. En effet, si vous chargez la situation dans laquelle le vaisseau est orienté paré pour effectuer la poussée de MCC, et que vous passiez en vue extérieure, vous constaterez que le vaisseau et la Lune sont très sombres. Peu importe, le dessin représente rigoureusement notre réalité virtuelle.

(*Réalité virtuelle, en volou une expression contradictoire !*) En 1

divers vecteurs vitesse sont représentés. En rouge la vitesse actuelle qui va du vaisseau vers le centre de la Lune puisque la trajectoire est actuellement de collision. En bleu, la poussée du SPS qui va donner un dV dans cette direction. La composition des vitesses en 2 montre qu'à la vitesse rouge s'ajoute le dV en bleu pour donner la vitesse finale représentée par le vecteur vert. Nous savons que c'est la vitesse qui construit la trajectoire, le vecteur vert pointe à coté de la Lune, on ne percutera plus son sol.

L'important à remarquer, c'est que le vaisseau se trouve globalement à angle droit par rapport à notre vecteur vitesse actuel. C'est logique puisque on ne veut pas augmenter ou diminuer la vitesse, mais la faire changer de direction. Chargez la situation **04) Paré pour larguer le LM.scn** dans laquelle le train spatial est orthogonal à la trajectoire. Procédez à l'éjection du LM, puis, pour ne pas le percuter cabrer de 90°. Activez **LunarTransfer** MFD pour avoir le décompteur sur **BT**. Effectuez la poussée sans orienter le vaisseau conformément à cible. Une fois la correction effectuée, dans laquelle seul de temps de poussée a été respecté, l'orientation étant très approximative, demandez à TLMFD le résultat de ce travail bâclé. On ne passera pas dans le plan de **Tranquillity**, le périlune titille les 1000 km, mais avouez que pour une correction aussi sommaire le résultat n'est pas spécialement débile. Retenez surtout l'importance de bien se situer dans l'espace, de comprendre ce que font les automatismes. Ne nous contentons jamais de représentations synthétiques artificielles sur des écrans électroniques artificiels au possible.

Exercice n°4 : Orientation aux étoiles pour la mise en orbite lunaire.

Globalement la procédure va ressembler à celle mise en œuvre pour la correction de trajectoire. L'opération sera bien plus soignée que celle vue lors de l'exercice n°3. Par contre, pour cette phase critique du nouveau plan de mission l'allumage va se faire de façon classique quand nous serons derrière la Lune, avec pour conséquence immédiate le silence radio. Les données sont donc calculées et envoyées avant que 506 ne soit caché par l'horizon. Du reste c'était également le cas dans des vols historiques. Récupérez **03) MCC réalisée pour PeA 150 km.scn** et passez en accélération temporelle jusqu'à GET **35:00:00**, heure à laquelle on pénètre comme montré sur la Fig.169 dans la SOI de notre astre de capture. Personnellement je suis passé en cockpit 2D simplifié et j'ai poussé jusqu'à **1000x** sans problème. C'est acceptable pour beaucoup d'ordinateurs vu qu'aucun pilote automatique n'est engagé.

• Sur **LunarTransfer** MFD : **PRG > NEXT** jusqu'à **LOI > EXE >**

Le texte **Vessel is too far from the moon** est affiché car nous sommes encore trop loin de la Lune. Attendre GET **37:00:00** la distance est déjà suffisamment faible pour permettre des calculs. Durant cette approche, **SM RCS A** et **MASTER ALARM** se déclenchent. Trouvez pourquoi elle se produit et surtout y remédier.

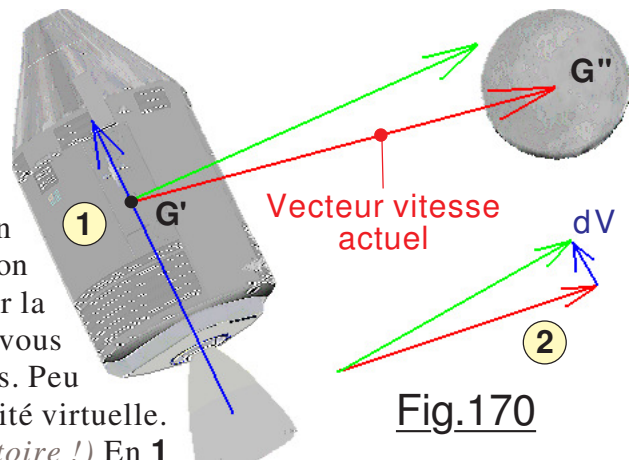


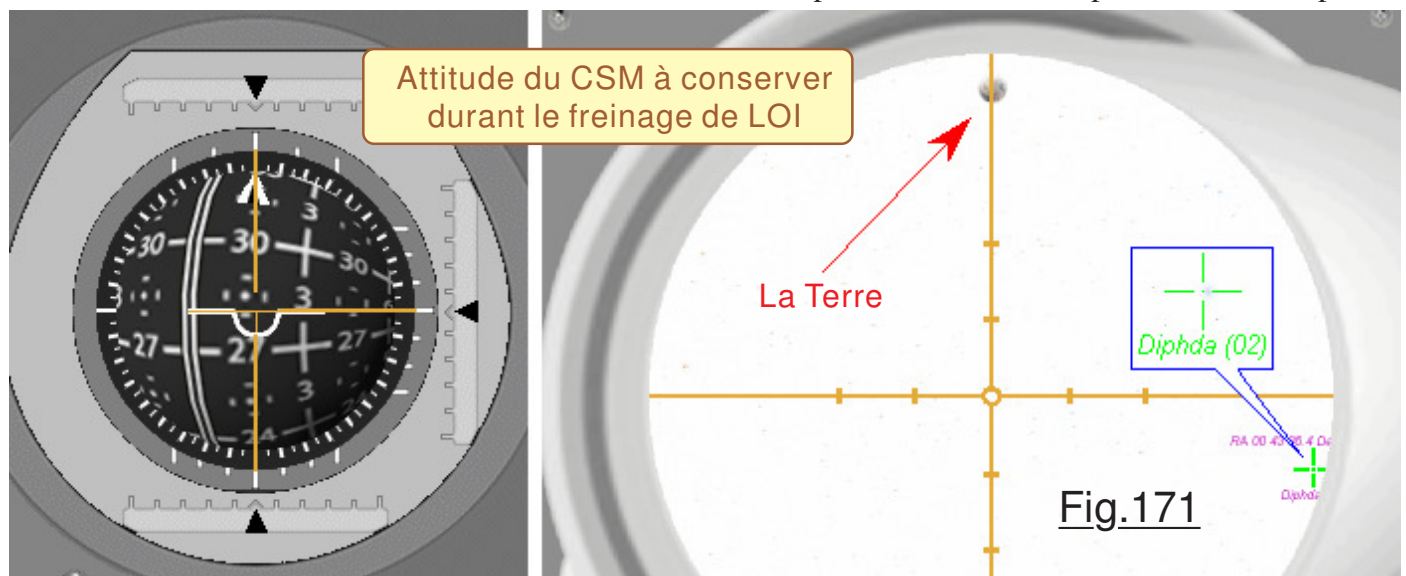
Fig.170

Analyse : Comme nous n'avons pas effectué de régulation thermique passive le Quad situé côté Soleil surchauffe. Il suffit de le faire passer dans l'ombre pour rétablir la situation. Comme nous allons réorienter le vaisseau pour préparer le freinage de capture, le groupement va se retrouver à l'abri des rayonnements de l'astre diurne. Donc pour le moment on peut oublier.

Nous sommes encore bien en vue pour les échanges radio et les télémesures. Dans ces exercices nous allons donner dans du Apollo pur et dur. Je vous suggère dans un premier essai de ne pas aller consulter LTMFD pour avoir les caractéristiques de l'allumage ni de s'en servir pour orienter. Vous pourrez par une deuxième manipulation consulter le calculateur et ainsi comparer les données que je vous propose ici.

- *Houston pour 506 nous avons les paramètres pour la LOI.*
- *On peut noter Houston, réception cinq sur cinq.*
- *OK 506 vous allumerez à exactement Golf Écho Tango 39:07:36 pour 405 secondes.*
- *Bien compris Houston et pour l'orientation ?*
- *IMU pour un roulis nul avec Cabrage 282° et Lacet 17°.*
- *Des étoiles possibles ?*
- *Deux références, le télescope étant au zéro. Vous placez la Terre à midi à un diamètre de la limite oculaire. Vous aurez Diphda zéro deux vers les quatre heures presque en bordure du champ.*
- *Cinq sur cinq Houston, dans combien de temps le rétablissement radio ?*
- *Reprise des télémesures estimée à Golf Écho Tango 39:53:00.*

Le calculateur est hors service, mais l'IMU est une unité indépendante qui continue d'assurer sa stabilité dans la REFSMMAT. La "dynamique" peut donc nous donner une orientation gyroscopique. Pour nous faciliter grandement la recherche d'attitude ils ont trouvé une bonne solution à roulis nul. Nous aurons à pointer la Terre très facile à trouver dans le ciel profond. L'utilisation de l'IMU permet de dégrossir facilement l'assiette. Attention à la désorientation quand vous allez affiner avec le télescope ... mais ce n'est pas vraiment nouveau. La Fig.171 nous détaille ce que nous devons obtenir et maintenir durant la poussée. Inutile d'attendre le dernier moment pour réaliser l'orientation du vaisseau. Procédez avec méthode et surtout pas de translations parasites qui fausseraient les prédéterminations dynamiques. Une fois l'orientation obtenue sur le FDAI n°1, affinez avec le télescope ... sans oublier au préalable de le replacer



à zéro. Quand l'orientation est parfaite, il faut réaliser un vrai KILL ROT et surtout s'assurer une référence de pointage précise. Le vaisseau étant orienté au mieux, centrez la Terre dans le télescope puis dans le sextant. Ce sera notre confirmation de pointage avant l'allumage. Annulez toutes les rotations en dégrossissant avec le FDAI, puis en affinant avec le sextant. Pour donner aux RCS un maximum de sensibilité couper les ergols (Tableau 2) sur deux Quads et ne conserver que le **A** et le **B**.

Exercice n°5 : Le freinage de capture avec les instruments d'Apollo.

Tolérance zéro, nous n'avons pas droit à l'erreur. Un petit oubli et c'est l'équipage qui est condamné. Freinage trop long ... périgée négatif. La Terre ne va pouvoir déterminer l'orbite qu'à notre sortie de l'horizon. Hors pour corriger un périgée il faut se trouver de l'autre côté. On peut toujours remonter l'altitude "à la quadrature", mais la consommation est alors importante. On ne percuterait plus la Lune, mais nous y resterions définitivement en orbite faute de carburant. On se concentre. Ne tournez pas cette page pour tricher. Tentez une première LOI comme des grands, pour le fun. L'exercice ne sera valide que si vous n'utilisez aucun MFD d'Orbiter. Pour la mesure du temps vous utiliserez l'un des chronomètres de mission. À vous de faire preuve de sang froid ... ASSUMEZ !

La durée d'allumage dépasse les 400 secondes. En consultant **SYSTÈMES APOLLO.pdf** en bas de la **Page 25** nous constatons que la mise en orbite va consommer environ 67 % des réserves d'ergols. C'est assez inquiétant mais CAP COM nous assure que pour la TEI et les MCC, les 29% de réserve seront suffisants. Probablement, mais à condition de réaliser des manœuvres parfaites.

Pour calibrer la durée de la poussée nous allons utiliser le compteur de mission du tableau 1 car il peut décompter. Il est bien plus facile de surveiller un 00:00 qu'une valeur qui augmente, d'autant plus qu'il est à proximité de l'inverseur d'allumage du SPS. On va certainement couper une seconde trop en avance. Il en résultera un périgée plus important ce qui va dans le sens de la sécurité. On a vérifié avec CAP COM que le **[MISSION TIMER]** était cohérent, donc on peut lui faire confiance. Position **STOP** sur **[EVENT TIMER]**, faire un **RESET**. Afficher 06:45 et basculer l'inverseur sur **DOWN**. Le chronomètre est paré.

Contrairement à la réalité nous ne pouvons pas partager les tâches. De plus, l'étendue de l'écran vidéo ne montre pas forcément la valeur des secondes sur le **[MISSION TIMER]** et simultanément l'inverseur de poussée. Pour compenser ces limitations informatiques, nous allons visualiser sur le MFD de gauche **Project Apollo** MFD, mais uniquement pour avoir la valeur de GET présente à l'écran pas trop loin des inverseurs à manipuler durant la manœuvre. Pour ne visualiser que cette information relative au pilotage, **BCK** jusqu'à n'avoir que le compteur de mission. BRIEFING pour se préparer à la mise à feu :

- À GET 39:06:00 affinage final de l'orientation par utilisation du sextant. Rétablir tous les Quads RCS et laisser en mode rotation, car durant la poussée il faut pouvoir contrer une éventuelle dégradation de l'attitude que nous allons surveiller sur le FDAI n°2. Calage de ce dernier au triple zéro.

- Entre GET 39:07:16 et 39:07:26 poussée de ULLAGE vérifiée sur 1 : **[ΔV RANGE]**.
- À GET 39:07:35 déclenchement sur **START** du décompteur **[EVENT TIMER]** puis immédiatement mise à feu avec l'inverseur **SPS THRUST** placé sur **DIREC ON**.
- Vérifier immédiatement la pression dans la chambre de combustion du SPS, et la stabilité de la sphère d'attitude dans le FDAI de droite.
- Durant la poussée surveiller le décomptage et l'attitude sur le FDAI n°2 dont les aiguilles de tendance sont également des aides. **(1)** Penser aussi à surveiller la carburation sur le tableau 3.
- La coupure doit se produire à 39:07:36 + 405 secondes soit GET = 39:14:21.
- À trois minutes de la coupure GET doit afficher 39:11:21.
- À vingt secondes de la coupure GET doit afficher 39:14:01.

(1) Pour ma part seul un léger roulis était discernable. J'ai immédiatement compensé aux RCS. À l'expérience, conserver l'attitude s'avère très facile. Pour couper exactement à 00:00, à trente secondes de l'extinction décomptez dans votre tête. En "scandant les secondes" vous associez la vue sur le chronomètre avec votre mental. La précision gestuelle sera ainsi améliorée. Je n'ai pas utilisé d'accélération temporelle durant cette phase de la mission.

OUF, à l'extinction du moteur la sphère d'attitude est toujours bien calée sur son triple zéro.

👉 NON ! PAS QUESTION DE REGARDER LE RÉSULTAT SUR LunarTransfer MFD !

L'équipage doit attendre que les communications radio soient rétablies, à partir desquelles le département dynamique recalculait la trajectoire. On va donc patienter, comme pour l'équipage jusqu'à **39:53:00**.

- *Houston pour 506 nous avons vos télémesures, vous nous recevez ?*
- *On vous écoute Houston, réception parfaite .*
- *Bravo 506 votre périgée est de 152 kilomètres pour une apogée de 212. Le plan est nominal et va vous faire survoler Tranquility, c'est du bon boulot. Il vous reste trente et un point deux pourcents de réserve, ça va largement suffire pour le retour. Prenez un peu de repos.*
- *Merci Houston, on en a besoin, c'est assez stressant quand on se retrouve seuls derrière la Lune.*
- *On travaille sur la dynamique pour la TEI. On vous réveillera.*

Pour conforter cette expérience en phase finale, si vous le désirez, **05) Réaliser la LOI.scn** nous positionne à 37 secondes de l'allumage, vaisseau correctement orienté et entièrement configuré.

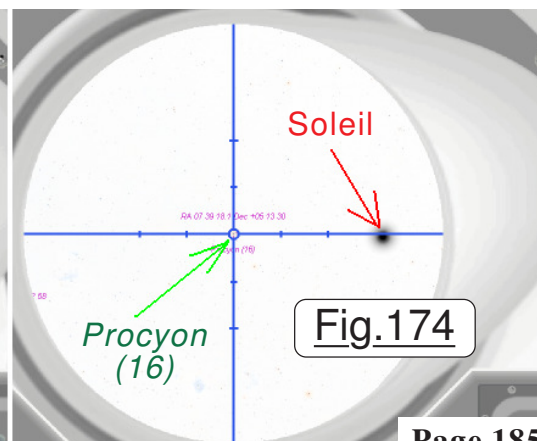
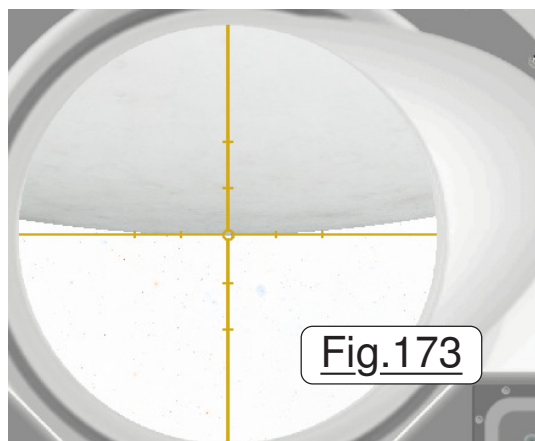
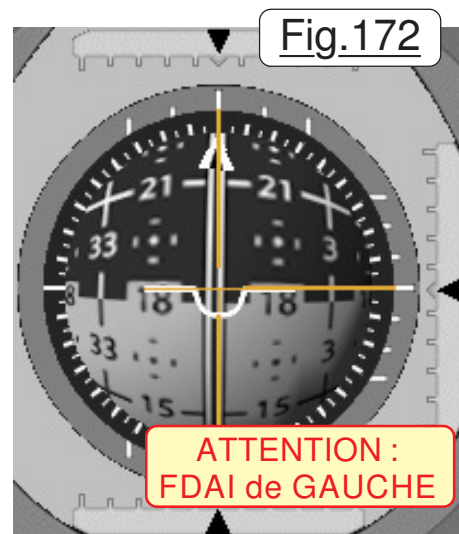
*Les informations qui sont données par radio en page 179 n'ont rien de magique. Pour les déterminer j'ai simplement activé **LunarTransfer MFD**. Une fois en possession des éléments fondamentaux j'ai utilisé son collimateur pour orienter le vaisseau en m'imposant un roulis nul sur l'IMU ce qui facilite significativement les manœuvres car la sphère d'attitude tourne "en relation directe" avec les orientations élémentaires du CSM. Cette préparation consistait aussi à pouvoir observer dans*

Exercice n°6 : Orienter en manuel pour la TEL.

Avec les tristes 31,2 % de réserve d'ergols, alors qu'il en a fallu 70% pour freiner, nous sommes en droit de nous poser des questions. Quand CAP COM nous assure que c'est suffisant pour revenir, le doute peut s'installer. Se veulent-ils exagérément rassurants ? On va voir qu'il n'y a pas tromperie, que c'est en effet possible. Le freinage a été boulimique en énergie, car nous étions sur une trajectoire de fuite qui allait nous faire quitter le giron terrestre pour toujours. Mais en capture lunaire, nous sommes à nouveau dans les filets de l'attraction terrestre. Pour revenir à la maison il suffit d'accélérer par rapport à la Lune pour s'en échapper, mais à contre courant de sa vitesse orbitale. Ainsi on freinera par rapport à la Terre, et ainsi s'éjectant de la Lune on va retomber sur notre monde nourricier. C'est le principe de la TEL. Comme l'attraction lunaire est "modérée", pour s'en échapper il faut relativement peu d'énergie. On doit y arriver. Chargez **06) La Terre sort de l'horizon.scn** correspondant au rétablissement des liaisons radio. Sept heures de sommeil nous sont octroyées par CAP COM : Réveil à 47:00:00. Puis, on doit attendre **47:35:52** pour préparer l'éjection. Le département dynamique ayant analysé les données en a déduit qu'il fallait laisser la Terre tourner de façon à ce que notre pénétration atmosphérique puisse se faire sur un océan et non sur un sol de roche ou avec de grands arbres, comme en Afrique par exemple. De plus, la récupération en mer est infiniment plus simple que sur terre, surtout si l'atterrissage se produit aux antipodes. Enfin le dialogue ci-dessous a été réalisé quand le CSM était encore à vue de la Terre :

- *Houston pour 506 nous avons les valeurs pour l'éjection.*
- *Réception QSA 5 S 9 Houston on vous écoute. (QSA 5 : 100% compréhensible, S 9 : Niveau de réception maximal)*
- *OK 506 : Allumage à Golf Écho Tango 47:59:51 pour 170.2 secondes.*
- *Bien noté Houston et pour l'orientation ?*
- *IMU toujours avec un roulis nul, un Cabrage de -3° et Lacet à droite de 2°.*
- *C'est noté Houston, on orientera avec l'IMU. Et pour la confirmation ?*
- *Attitude inertielle bien stabilisée, vous attendez exactement 47:35:52 et vous commencez par recentrer l'optique pour avoir l'horizon au centre du collimateur. Puis avec SHAFT et TRUNNION vous réorientez l'optique pour avoir Procyon (16) centrée et le Soleil à droite sur le réticule.*
- *Merci Houston, on comprendra mieux en utilisant les optiques.*

A bord le moral revient au plus fort. CAP COM annonce un BT de 171 secondes qui vont exiger environ 29 % d'ergols. Il ne nous restera plus grand chose pour les MCC, mais nous savons qu'elles sont de courte durée. C'est très tangent, il faut faire au plus juste. Mais c'est possible. Par contre tolérance zéro pour le restant de la mission. Il est 47:00:00, vous passez les RCS en rotation et conformément aux instructions vous orientez le vaisseau comme montré sur la Fig.172 en soignant l'immobilité en rotation. Parfaire le KILL ROT car en principe c'est l'attitude correspondant à la MCC. Utiliser le SEXTANT pour affiner au mieux l'immobilité en attitude. Puis vous placez les optiques dans les manchons et observez par le télescope. La Lune masque en partie l'ouverture visuelle, et comme nous orbitons l'horizon se décale en hauteur et s'évade lentement vers le haut. Quand vous approchez de 47:35:52 modifiez le cadrage avec **Z** et **S** de façon à obtenir l'état représenté sur la Fig.173, puis faire tourner l'optique avec les touches **Q** suivi de **Z** pour placer au centre du collimateur l'étoile de référence n°16. La Fig.174 représente le pointage effectué. Il suffira ensuite de surveiller le centrage de Procyon.



Exercice n°7 : La poussée d'éjection avec les instruments d'Apollo.

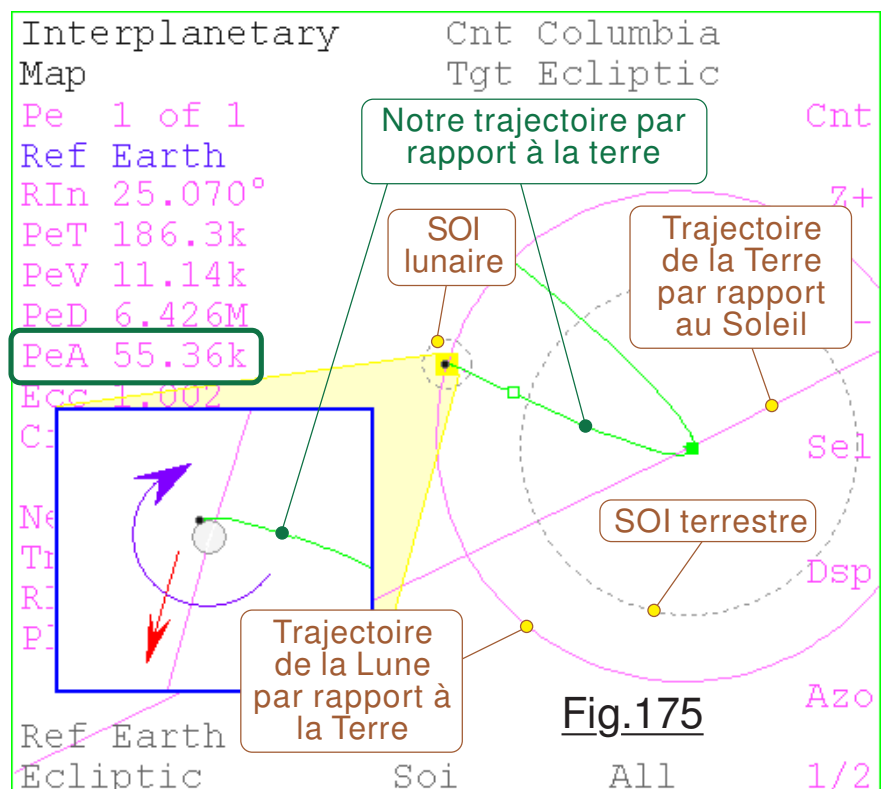
Vaisseau correctement orienté, vous savez exactement comment allumer, la procédure constitue une petite révision relative à l'exercice n°5. Qui vous savez surveille, alors si vous tentez d'utiliser un quelconque MFD d'Orbiter ou si vous passez en vue extérieure pour voir ... vous serez définitivement exclus des membres d'équipage en partance pour la Lune. Préparez bien votre manœuvre, car il ne faut pas gaspiller une seule seconde de carburant. (*Avouez qu'indiquer une quantité d'ergols en secondes c'est bitrange, comme quoi dans le contexte on peut raconter n'importe quoi !*) Surtout, une fois la poussée de T.E.I. effectuée, pensez à sortir le CSM de son immobilité en rotation et d'engager une régulation thermique passive si vous ne voulez pas risquer un problème durant le retour.

Comme la poussée s'effectue de façon classique "derrière" la Lune, il faut attendre **48:08:00** pour que la télémétrie soit rétablie et que les techniciens puissent calculer les paramètres de notre trajectoire. Pour ceux qui veulent interroger **LunarTransfer** MFD pour avoir "des nouvelles", attendez cette valeur de GET pour respecter le réalisme, c'est bien plus agréable d'avoir à patienter avant que le verdict ne tombe. Sur le tableau de bord on note qu'il nous reste 3,7 % de réserve en ergols. Cette maigre ressource nous permet environ 18 secondes de poussée. Ce sera suffisant si l'éjection est bien réalisée pour pouvoir effectuer deux corrections de trajectoire. Mais si la route est divergente la situation risque de devenir sans issue. C'est long d'attendre quand la vie d'un équipage est en cause.

- *Houston pour 506, dynamique établie, vous nous recevez ?*
- *Parfaitement Houston on est sur des charbons ardents.*
- *C'est parfait les gars, vous ne pouviez pas faire mieux. Votre PeA est de 57 kilomètres.*
- *Et pour notre amerrissage ?*
- *Vous allez plonger très au Sud, mais bien dans l'océan. L'USS Hornet se déroute, il sera sur les lieux quand vous allez faire le grand plongeon. Bien travaillé, il reste assez de coco pour les MCC.*

En quelques secondes, la pression est retombée. En principe on va rentrer à la maison. La rigueur et le professionnalisme seront toujours les facteurs les plus solides pour assurer la sécurité.

Personnellement, la meilleure carte pour vérifier mes navigations interplanétaires est **Map** d'IMFD. Elle constitue un outil privilégié, que l'on peut centrer sur toute cible de notre choix, visualiser tout ce que l'on désire ou au contraire filtrer, montrer les sphères d'influence. Bref, je ne "m'embarque jamais" sans cet outil merveilleux. La Fig.175 constitue un extrait de **Map** IMFD juste après l'éjection TEI. L'encadré vert confirme "les calculs faits par la NASA". L'encadré bleu correspond à un ZOOM effectué sur le vaisseau à l'intérieur de la sphère d'influence de l'attracteur prépondérant actuel. On observe que la poussée s'est bien effectué "de l'autre côté" de la Lune et que nous ne sommes pas en visibilité radio de la Terre. La flèche rouge ajoutée montre le déplacement de la Lune sur son orbite. On éjecte à contre-sens, donc notre vitesse orbitale par rapport à la Terre diminue. On va donc retomber vers cette dernière. Par contre on orbitait en RÉTROGRADE, la flèche courbe violette a été ajoutée au dessin. Elle représente notre sens de circulation orbital. La poussée à contre-sens par rapport à la flèche rouge correspond à une accélération par rapport à la Lune. Notre vitesse augmente, donc on va bien s'éloigner de cette dernière. Il s'agit bien d'une éjection avec vitesse de libération. On quitte définitivement l'astre mort criblé de tant de cratères.



Exercice n°8 : Première correction de trajectoire en mode manuel.

Simple exercice de révisions qui consiste fondamentalement à utiliser **LunarTransfer** MFD pour simuler les contacts avec la Terre et déterminer le moment de la poussée, la durée de la brûlure, et le pilote automatique de ce calculateur pour préparer l'orientation idoine. C'est par ce processus que j'ai déterminé les paramètres proposés dans les exercices précédents sous forme de dialogue avec la NASA. J'ai pensé que ce serait infiniment plus sympathique, et surtout je désirais vous obliger à utiliser plus intensément les systèmes de bord supposés encore valides après la panne des systèmes de navigation virtuels. Rien ne vous interdit pour conforter votre savoir faire en utilisation de LTMFD de refaire ces exercices en oubliant les dialogues avec Houston et en privilégiant l'usage du calculateur spécifique. Nous savons que de toute façon la mise en œuvre des procédures automatique avec le CMC impose une prédétermination des paramètres avec un quelconque calculateur d'Orbiter, c'est actuellement incontournable. Enfin, pour ceux qui le désirent, **07) Paré pour la TEI.scn** propose le vaisseau paré pour effectuer la poussée de TEI et déjà orienté. Procyon (16) est parfaitement stabilisée dans le SEXTANT, le décompte numérique est initialisé à 2 min 50s. Il reste juste à effectuer l'allumage calibré au bon moment soit GET 47:59:51.

NOTE : Durant le transfert vers la Terre, nous allons utiliser une accélération temporelle de **10000x** sans inconvénient puisqu'aucun pilote automatique de NASSP n'est engagé. Si Orbiter refuse d'augmenter la cadence, c'est que dans **LunarTransfer** MFD vous avez oublié de déconnecter le P.A. lorsque vous vouliez visualiser la croix d'orientation dans le collimateur.

Pour ceux qui le désirent, en chargeant **08) TEI effectuée.scn** le CSM sera exactement dans les conditions obtenues lors de ma manipulation qui engendre un périégée terrestre de 57 km d'altitude. Naturellement vous pouvez parfaitement poursuivre sur "votre lancée", y compris si le périégée annoncé par LTMFD vous fait percuter la Terre ou passer relativement loin. Dans tous les cas, si vous avez respecté la durée de combustion préconisée une courte MCC sera suffisante pour corriger la trajectoire, but de cet exercice. Le chronomètre de mission indique **48:05:10**. Vous avez remarqué sur la Fig.175 qu'IMFD annonce un périégée de 55.36 k alors qu'**Orbit** MFD dans la scène chargée prétend une distance de 191 km. LTMFD en fin de poussée de TEI prévoyait 57 km, alors que quelques heures plus tard il précise 56,23Km. Ces divers calculateurs ne semblent pas vraiment sur la même longueur d'onde. Passez en **10000 x**. Il faudra réactiver cette accélération temporelle car un message vocal de correction de trajectoire fait repasser à l'écoulement unitaire du temps. Vous surveillez le "premier" **PeT** sur LTMFD et au fur et à mesure qu'il diminue, vous ralentissez l'accélération temporelle. Quand on arrive aux confins de l'atmosphère à une altitude proche de 140 km pour un **PeT** d'environ 132 secondes, notre petit monde s'est réconcilié. Chaque calculateur a mis des chiffres dans ses équations. (*De l'eau dans son vin en bon français*) LTMFD annonce 55.48 km, **Orbit** MFD 55.53 km et pour ceux qui ont validé IMFD dans les modules, ce dernier confirme avec 55,53 km. Tous ces outils sont donc unanimes quand nous ne sommes plus très loin de l'objectif. Inutile de consommer du temps pour la fin de cette expérience, rechargez une scène adaptée.

Comme déjà pratiqué dans les chapitres précédents, LTMFD ne va nous servir qu'à orienter le vaisseau et calculer le dV nécessaire à la MCC. Par contre, une fois l'orientation réalisée, nous utiliserons l'intégrateur de bord pour déterminer la variation de vitesse obtenue durant la poussée. Au rechargement de la situation **09) Paré pour la première MCC.scn** nous sommes en cockpit simplifié, **LunarTransfer** MFD est actif à gauche et **Orbit** MFD opte pour une collision avec la Terre de -1379 km. Un "laissez-faire" comme pratiqué ci-avant montrerait en réalité un passage à environ 56 km d'altitude. Le "TIMER de mission" indique **54:11:45** et l'on procède à une première correction de trajectoire :

- **PRG > NXT** trois fois pour indexer **Programm TEI > EXE >** Les deux options **Mod Periapsis** et **Fst TECC** sont déjà sélectionnées sur le calculateur.
- **PRV** pour indexer **PeA > SET > 57k ↻ > NXT** pour **Hed > SET > 45 ↻ >**
- **EXE** pour visualiser la trajectoire prédictive **> DV >**

On constate que la durée de combustion **BT** de 0,19 s est incompatible avec un allumage du SPS qui ne peut rester inférieur à 0,4 s. Nous devons donc pousser avec les RCS en mode linéaire.

On note que le dV total **Tot** fait 1.63 m/s soit par évaluation : $1,63 / 0,3 = 5,4$ ft/s environ.

- **EXE** pour activer le pilote automatique et visualiser le collimateur d'orientation. Pensez à passer les RCS en mode rotation puis centrez parfaitement le croix sans trop lambiner car le chronomètres **Tlg** est déclenché. (*Interdiction d'utiliser **KIL** de project Apollo !!!*)

- **[F8]** pour revenir sur les tableaux 2D > **pb 1 : GDC ALIGN** pour pouvoir surveiller facilement l'orientation sur le FDAI n°2 quand on va pousser > Repasser les RCS en mode linéaire pour ne pas oublier >
- Placer 1 : **sel EMS TEST** sur **ΔV SET**. Avec le poussoir bipolaire **ΔV / EMS SET** initialisez le décompte numérique **[ΔV RANGE]** à la valeur **-5.4**. Pensez à replacer le sélecteur rotatif sur la position **ΔV** si vous voulez voir le résultat de l'intégration des accélérations linéaires sur X'X.
- Sur LTMFD cliquer sur **EXE** pour désactiver l'*AutoBurn* qui avait servi pour orienter.
- Attendre que **Tlg** = 5.00 sur LTMFD et enfoncez **6 num**. Pousser avec les RCS jusqu'à annuler la valeur sur le décompteur incrémental **[ΔV RANGE]**.

Comme l'information **Tlg** et **[ΔV RANGE]** ne sont pas simultanément visibles sur l'écran vidéo, décomptez mentalement à partir de -30 secondes avant l'allumage. Arrivé à zéro dans votre tête, déclenchez la poussée et relâchez **6 num** quand **[ΔV RANGE]** s'annule. Notez qu'à la place de **6 num** il est possible d'utiliser le bouton poussoir **DIREC ULLAGE** ce qui pardonnerait des RCS laissés en mode rotation.

- **PRG > NXT > EXE** qui montre les résultats obtenus avec la fonction **Flight monitor**.

(Pour ma part j'ai obtenu un PeA de 60 k et un Hed de 44,99° tout à fait corrects)

Exercice n°9 : Deuxième correction de trajectoire en mode manuel.

Dernière phase avant la redoutable rentrée atmosphérique, nous allons effectuer une deuxième correction de trajectoire bien qu'elle ne soit pas du tout indispensable. Si nous laissons faire, le chemin actuel nous amène dans des conditions de pénétration tout à fait acceptables. Néanmoins, comme historiquement il y avait deux MCC, et surtout pour conforter nos acquis, on va réitérer l'exercice précédent en utilisant **10) Paré pour la deuxième MCC.scn** qui nous situe bien à l'intérieur de la SOI terrestre. Dans son plastron P.... jubile, car vous avez pensé tout seul à engager une légère rotation en roulis pour assurer une régulation thermique passive avant de poursuivre notre route quand vous avez achevé votre première MCC. C'est très bien, et en plus cela nous évite une ire coutumière de plus !

En fait, nous avons pénétré dans la SOI terrestre vers **71:25:50** il y a déjà quinze heures. Houston nous incite à refaire une correction toujours avec 45° pour l'angle **Hed** et 57 k pour la valeur du périégée. Je me contente ici de résumer les actions qui sont quasi équivalentes à celles de l'exercice n°8 mis à part qu'au lieu d'effectuer une correction de type "en route" avec **Mod Periapsis** et **Fst TECC** nous allons spécifier les caractéristiques d'une rentrée atmosphérique qui autorisent entre autre à imposer un angle de pénétration.

- **PRG > NXT** trois fois pour indexer **Programm TEI > EXE >**
- **+** pour valider **Mod Reentry > NXT > +** pour l'option **TECC >**
- **PRV** pour indexer **ReA > SET > 6.5** car on va imposer un angle de pénétration de 6,5°>

(Explications dans TECHNOLOGIE APOLLO.pdf en page 49 et Fig.77)

- **NXT** pour **Hed > SET > 45** > *(On désire toujours un cap d'arrivée de 45°)*
- **EXE** pour visualiser la trajectoire prédictive > **DV >**

On constate qu'il faut un **BT** de 4,55 secondes qui impose un allumage du SPS.

Le dV total **Tot** fait 38.62 m/s soit par évaluation : $38.62 / 0,3 = 128,7$ ft/s environ.

- **EXE** pour activer le PA et visualiser le collimateur d'assiette. Orienter le vaisseau.
- **[F8]** pour les tableaux 2D > **pb 1 : GDC ALIGN** > Repasser les RCS en linéaire et armer le SPS >
- Initialisez le décompteur **[ΔV RANGE]** à la valeur **128.7 > EXE** pour désactiver l'*AutoBurn*.
- Attendre que **Tlg** = 5.00 sur LTMFD et pousser avec le SPS jusqu'à annuler la valeur sur **[ΔV RANGE]**. Pour chronométrer les 4 secondes de poussée compter mentalement. Terminer finement aux RCS.

(Mon expérience donne un PeA de 35.7 k et un Hed de 44,99° et surtout un ReA de 6,55°)

J' imagine que vous avez tous compris que ce chapitre qui avait été annoncé avec fracas comme une formation à la gestion des crises tout au long d'un vol, avait surtout pour but déguisé de faire une foule de révisions avant de quitter dans "peu de chapitres" notre séjour à la NASA. Il visait principalement à reprendre les fondamentaux dont il ne faudra jamais nous départir quand ce sera le grand saut. Désormais vous êtes capables d'assumer pratiquement d'un bout à l'autre un "Aller / Retour lunaire" en pilotage manuel, sans le secours des systèmes sophistiqués d'Apollo pour aider à la navigation. Un tel retour en manuel vous avait été promis en haut de la page 92 ... promesse tenue ! La Terre grossit dangereusement dans le hublot, il faut commencer à se préparer pour la rentrée. Dans les chapitres précédents nous avons abordé la plongée infernale avec un vaisseau déjà conditionné pour la pénétration atmosphérique, et séparé du SM. Mais cet environnement n'est pas gratuit, on va s'y employer dans le prochain chapitre.

PRÉPARATION DE LA RENTRÉE ATMOSPHÉRIQUE :

Assurément le chapitre sur la gestion complète d'une mission en mode manuel n'était pas autre chose que la continuité déguisée de **GESTION DES ALERTES ET DES PANNES**, chapitre commencé en page 175. Par contre, ce nouveau thème d'études n'a rien à voir avec les techniques de pilotage en situation de crise. Que le retour de la mission soit effectué en manuel intégral ou au nominal avec l'AGC, dans tous les cas on va "débouler de la Lune" avec une énergie cinétique considérable qu'il va falloir résorber comme nous avons appris à le faire en page 156 de ce didacticiel. La phase finale ne sera pas nouvelle du tout, et vous savez parfaitement que ce ne sera pas une ballade pour fillette. Mais dans ce chapitre on va procéder intégralement à la préparation du vaisseau et du système EMS contrairement à ce qui était fait dans les chapitres précédents. On va utiliser la situation **48) Deuxième MCC effectuée.scn** qui n'est en réalité que l'état d'Orbiter correspondant à la concrétisation de l'exercice n°9 de la page 188. Bien que résultant d'une mission entièrement conduite "en manuel", nous revenons dans du pilotage "standard" raison pour laquelle cette scène réside dans le répertoire de base et non dans **<GESTION DES PANNES\Calculateur CMC et AGC en panne>**.

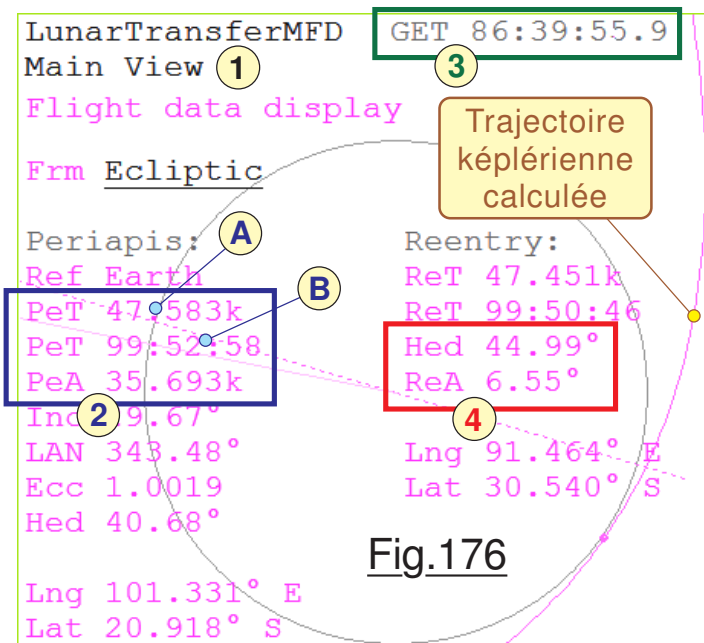
Constituant la phase la plus redoutée d'une mission spatiale, le retour doit impérativement respecter la chronologie du plan de vol. Réaliser avec retard l'une des actions critiques de la rentrée ne peut que conduire à la perte du vaisseau et de son équipage. Le livret **RETOUR DE MISSION.pdf** étant valable pour toutes les missions, les horaires sont donnés en relatif par rapport à l'instant de séparation entre le CM et le SM. Mais notre mental ne nous prépare pas à raisonner en relatif. Pour savoir si nous sommes "dans les temps", il est préférable de comparer la valeur du **MISSION TIMER** à l'horaire prévu pour l'action à accomplir. C'est la raison pour laquelle le plan de vol comporte en dernière page un tableau qu'il nous importe de compléter dès que nous avons l'estimation de l'heure d'arrivée au point d'entrée dans l'interface. Ayant complété ce tableau, il suffit de laisser le livret retourné pour en voir la dernière page quand **RETOUR DE MISSION.pdf** en main nous allons enchaîner les opérations décrites qui ne doivent pas souffrir de retard. On pourra, par comparaison du tableau, éviter de se faire distancer, car une fois dans la fournaise il ne sera plus possible de revenir en arrière.

L'ouverture de **48) Deuxième MCC effectuée.scn** se fait en tableau 2D simplifié avec à gauche LTMFD en mode **Flight data display**. Si vous cliquez sur **VM** en **1** l'affichage passe en mode **Earth Return** ce qui du reste ne modifie pas grand chose à ce stade du vol. Quelques commentaires me semblent les bienvenus : En **2** nous trouvons trois informations importantes. **PeA** de 35,693 km représente un périégée théorique que présenterait la trajectoire si la Terre "était ponctuelle". Mais cette altitude se situe dans l'atmosphère dense. Si nous ne faisons rien, le vaisseau va plonger trop brutalement et se détruire. Il importe donc d'utiliser la portance du CM pour "ricocher" une fois et ainsi répartir la charge thermique qui agresse le bouclier et les **G** subis par l'équipage. Plus pertinente pour nous est l'information **PeT A** qui précise que le passage théorique au périégée Képlérien se produira dans 47583 secondes soit

dans environ 13 heures 13 minutes. (*Conjurant le sort d'Apollo 13 je n'ajoute pas 13 secondes !!!*) Si nous ajoutons ce délai à l'heure GET actuelle indiquée en **3** nous obtenons :

86 : 39 : 55 (S'incrémente à chaque seconde)
+ 13 : 13 : 03 (Diminue à chaque seconde)
= 99 : 52 : 58 (Valeur constante)

Cette valeur correspond exactement à **PeT B** affiché qui correspond à l'heure GET de passage au périégée théorique. Par nature **3** s'incrémente toutes les secondes, c'est le temps qui s'écoule, **A** diminue toutes les secondes, c'est le délai qui s'amenuise. L'heure d'arrivée en **B** reste constante, sauf bien entendu si la trajectoire était modifiée. Ce GET affiché en **B** représente pour nous l'information la plus pertinente car



avec cette valeur nous allons pouvoir convertir la chronologie relative du manuel **RETOUR DE MISSION.pdf** en plan de vol lié directement au **MISSION TIMER**. Sans avoir à beaucoup se torturer les méninges, on peut prévoir que 7H 30' avant le périgée correspondent à GET 92 : 22 : 00, heure mission à partir de laquelle le manuel devra être grand ouvert, et nous bien réveillés. Affinons notre prévision :

Pratiquement tous les vols lunaires aboutissent à une vitesse d'arrivée du même ordre de grandeur. Pour tous, à un détail près nous allons viser un angle de pénétration de 6,5°. Ces similitudes engendrent une trajectoire d'arrivée dans l'atmosphère très reproductible, et surtout une possibilité d'anticipation fiable. On peut donc sans erreur pénalisante proposer les prédictions suivantes :

GET	Vitesse (m/s)	Altitude (Km)	Remarque
99:45:00	10110	1038	
99:46:00	10270	817	
99:47:00	10410	620	
99:48:00	10540	448	
99:49:00	10660	302	
99:50:00	10750	185	
99:50:43	10810	122	E.I. théorique
99:51:00	10810	101,2	
99:51:12	10750	88,4	Allumage de 0.05G

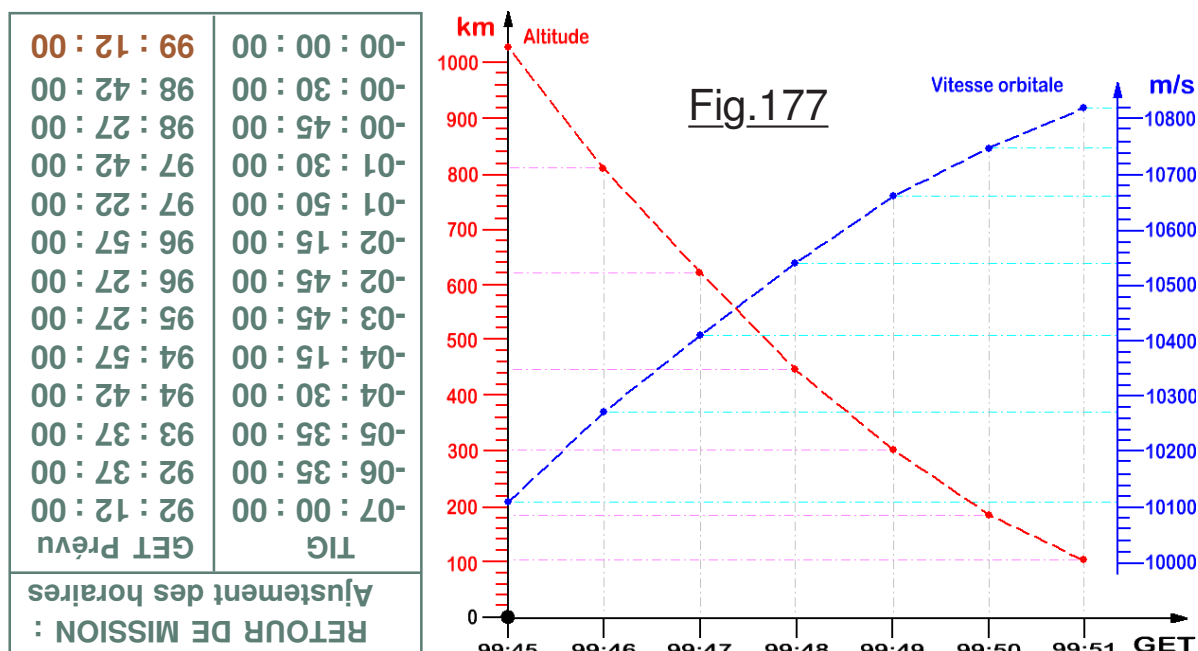
La Fig.177 traduit ces nombres sous forme de deux graphes superposés. On observe que la vitesse orbitale tracée en bleu augmente régulièrement au fur et à mesure que le temps s'écoule, ce qui est naturel puisque situés dans le champ de gravitation terrestres nous tombons sans que rien ne ralentisse notre

chute. La courbe rouge représente le rayon distance (*Hauteur*) en fonction du temps. Cette altitude diminue vertigineusement, car notre célérité fait pratiquement 34 fois la vitesse du son ! Vous imaginez l'énergie cinétique qui en découle et qu'il faut résorber sous forme de chaleur ?

Exercice n°1 : Déterminer la chronologie GET du retour de mission.

Maintenant que nous avons une idée un peu plus précise de ce qui nous attend, il faut anticiper les événements et tout particulièrement analyser la chronologie en fonction de GET. Dans ce but on consulte la page 19 du livret **AS-506.pdf** de la mission Apollo 11. On voit que le point d'entrée E.I. détecté par **0.05G** se situait à 195:05:09. (Noté ENTRY en page 19)

Pour cette mission, l'instant de séparation correspondant à **-00:00:00** du livret **RETOUR DE MISSION.pdf** est donné pour 194:46:07. Il est facile d'en déduire qu'entre **-00:00:00** et **0.05G** il s'est écoulé 39 minutes. Dans notre cas nous ne connaissons pas l'heure d'arrivée au point d'entrée E.I, mais uniquement l'heure de passage au périgée Képlérien. Quand **0.05G** s'allume, nous sommes à environ 95 secondes du passage au périgée. Nous avons toutes les valeurs pour compléter le tableau de la couverture en page 20 du plan de vol **AS-506.pdf**. Arrivant au périgée à 99:52:58 (Voir Fig.176) on en déduit que **0.05G** va s'illuminer à 99:51:23 avec l'instant **-00:00:00** se produisant à 99:12:23. Naturellement il ne s'agit que d'une estimation et l'on oublie les secondes. Il ne vous reste plus qu'à "remonter le temps" et compléter le tableau du livret **AS-506.pdf**. Ci-dessous le corrigé ... on ne sait jamais !



Exercice n°2 : Préparation initiale et vérifications générales.

C'est autrement moins facile qu'effectuer les calculs précédents qui relèvent d'un niveau primaire. Cette phase de la mission est d'autant plus délicate à assurer que le calculateur de bord est du genre "en grève". Il va falloir réaliser les programmes P61, P62, P63 en mode "pifométrique". Certains jours nous préférerions être dans le simu de la NASA, avec les techniciens narquois qui s'amusent à nous voir patauger. Mais les aléas font partie de la vie des astronautes et il faut faire avec. On repasse à bord avec **48) Deuxième MCC effectuée.scn** qui nous situe à une valeur GET de 86 : 39 : 57. Notez au passage que le vaisseau est en léger roulis autour d'un axe qui ne risque pas de provoquer un blocage IMU et qui assure une régulation thermique passive évitant ainsi la surchauffe d'un Quad ou d'une canalisation SPS. La rotation n'est discernable visuellement que si l'on passe en 10x et à peine indiquée sur le taux de variation roulis des FDAI. L'axe de rotation est celui qui correspondait à la dernière MCC, ce n'est pas forcément le meilleur pour une PTC, mais par moment j'avoue que je botte discrètement en touche.

Toutefois il faudra attendre 92 : 37 : 00 au compteur de mission pour commencer à préparer la rentrée. En effet, le CMC est démissionnaire, donc il n'y a qu'à vérifier les réserves de flottaison et passer directement à -06:35:00. Dans la check-list on peut sauter l'appel à P27 puisque le CMC est définitivement hors circuit. C'est en réalisant pas à pas les items des livrets que l'on se rend compte à quel point savoir passer d'un sous-tableau à un autre sans chercher est indispensable pour ne pas avoir la hantise de déborder les délais prévus. La Terre grossit dans le hublot et le stress commence à se faire sentir. Dans moins de sept heures ce sera le verdict. Allez, on continue : 326 : [OXYGEN] vlv ...

Quand vous vérifiez les systèmes ECS vous allez trouver quelques divergences par rapport aux informations du livret. Ne pas trop s'en préoccuper car ce sont les valeurs des check-lists de la NASA et le comportement de NASSP est un peu différent. Surtout nous utilisons une situation "bricolée", alors il faut en payer le prix. Durant la vérification des systèmes électriques EPS vous allez constater que **sel 3 : BAT BUS A** conduit à une tension affichée de 29 V comme montré en Fig.178 ce qui est insuffisant et traduit une batterie en partie déchargée. Hors une fois le CM en autarcie, il n'y aura que les batteries pour assurer la génération électrique. On est à plusieurs heures de l'arrivée, alors il faut engager immédiatement une procédure de rechargement de la batterie A. Il faudra penser à stopper cette recharge. Quand on se permet comme ici d'improviser, il faut absolument coller un "post-it" sur le tableau de bord. Coupez un morceau de papier, inscrivez "couper rechargement BAT A" et glissez ce "pense bête" dans le manuel **RETOUR DE MISSION.pdf** à la page 8 au centre du livret. Vous pouvez aussi ajouter "Entièrement rechargée à 39,8Vcc". On ouvre le manuel à la **Page 06** et l'on engage un rechargement sur BAT A.

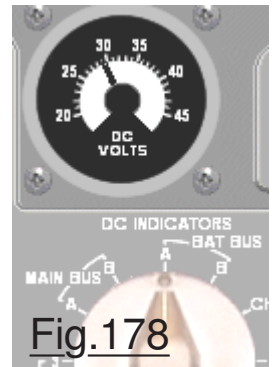


Fig.178

Poursuivant avec stoïcisme la check-list, lors de la vérification de l'état du SPS vous constatez une pression de 3 : [SPS PRPLNT] PRESS ind He anormalement faible. À peine 400 PSIA au lieu de 3300. Rien d'anormal. Les réservoirs sont pratiquement vides, il ne reste qu'environ 8 à 10 secondes d'allumage. Quand on en arrive à -05:35:00 le chronomètre affiche 093 15 56, nous avons pratiquement 22 minutes de gagnées sur l'horaire, mais nous avons sauté P27 et V35, ce qui aurait consommé cette avance temporelle. Pour la suite, on voit bien qu'il ne faut pas trainer si l'on désire respecter le planning, et il en sera ainsi durant toute cette phase bien chargée de la mission. Pour ceux qui le désirent, diverses étapes du retour sont préservées dans le dossier <RETOURS LUNAIRES>. L'étape actuelle est sauvegardée dans **49B) GET 93-15-56.scn**. Ces diverses situations vous permettront de reprendre à votre guise la plongée atmosphérique au stade désiré et ainsi vous exercer à profusion.

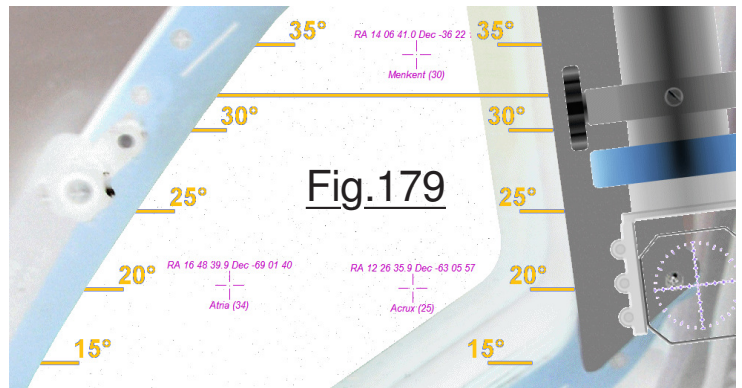
Exercice n°3 : Construire une référence gyroscopique.

Continuons la liste de vérifications. Inutile d'invoquer P52 puisque le calculateur de bord est inutilisable. Si l'IMU n'est plus parfaitement alignée c'est sans importance. Par contre le vaisseau est dans une orientation "quelconque". Nous allons profiter du temps de disponible pour commencer à préparer la séparation. Dans un premier temps on va orienter dans une attitude qui avoisine le PROGRADE avec les seules références externes. La solution est simple, il suffit de diriger l'axe X'X vers la Terre.

- Houston pour 506, la dynamique à cogité, vous nous recevez ?
- Fort et clair à cette distance, on est obligé de réduire le gain. Allez-y Houston, on note les consignes.
- Vous allez placer les optiques à zéro. Le calculateur est naze, mais les télescopes fonctionnent. Calé au zéro vous devez trouver Achemar zéro quatre dans le champ.

- OK Houston, on repère l'étoile numéro quatre.
- Par du lacet à gauche et en cabrant un peu vous devez pouvoir trouver Acrux et Atria la 25 et la 34 qui vont nous servir de référence.
- Ensuite ?
- Vous calez le FDAI de droite au triple zéro. Remplacez également l'IMU à cette orientation, ainsi vos deux sphères d'attitudes seront en phase. Vous piquez de 58°, vous aurez alors la paire dans le collimateur. Centrez dans le hublot d'accostage et alignez les deux étoiles sur 20°.
- C'est noté Houston on aligne 25 et 34 sur la ligne des 20°
- Enfin vous recalez les deux FDAI au triple zéro, ce sera notre nouvelle référence.

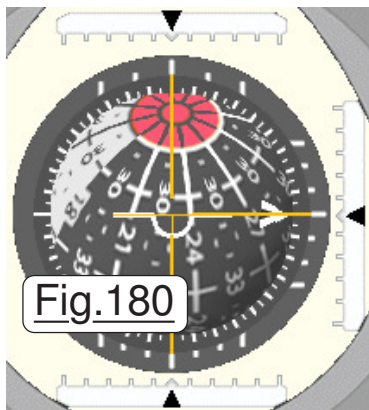
Compte-tenu de votre état actuel de formation, vous avez tout compris et en quelques contorsions dans le CM vous installez les objectifs, vous ramenez les optiques au zéro, vous orienter pour trouver les deux étoiles sélectionnées comme cible. Ensuite vous calez vos gyroscopes et vous piquez d'environ 58°. Vous savez que cette rotation va amener nos deux cibles en face dans l'axe X'X du vaisseau. N'oubliez pas de contrer toute rotation parasite induite. Puis en affinant avec les RCS vous amenez conformément aux consignes ces deux étoiles sur la ligne des 20° du hublot d'accostage. Comme montré sur la Fig.179



Menkent (30) sera également visible vers le haut du hublot. Attention, pour observer bien dans l'axe de la fenêtre il faut utiliser la touche  comme nous le faisons avec l'ouverture d'écouille. En chargeant **49C) Nouvelle référence gyroscopique.scn** vous en serez exactement à ce stade de nos diverses pérégrinations. On va bientôt voir la Terre dans le hublot, c'est bon pour le moral.

Exercice n°5 : Orienter vers la Terre en PRO GRADE.

O opération anodine à partir du moment où le vaisseau a retrouvé le nord. Les Ingénieurs balistique font "tourner" leurs programmes sur les gros ordinateurs de la NASA et rapidement ils déterminent les paramètres de cette manœuvre enfantine. Naturellement vous n'oubliez-pas en rechargeant la scène 49C ou en poursuivant avec la votre, ce qui est mieux, de bien recalibrer les deux sphères d'attitude au triple zéro.



- Houston de 506 vous nous donnez les coordonnées d'attitude ?
- OK 506. Pour pointer votre museau vers nous vous orientez à 270 degrés en roulis, moins 50 en cabrage et au 305 pour le lacet. Plein centre hublot d'accostage vous nous verrez coté nuit vers le haut.
- Merci Houston, on s'y attelle, nous avons hâte de vous faire un coucou.

Pas grand chose à ajouter. Personnellement j'ai calé en premier le cabrage et le lacet. J'ai terminé par le roulis qui place le coté sombre vers le haut. C'est dans cet hémisphère que nous allons plonger vers notre destin. La Fig.180 montre le résultat et **49D) La Terre bien centrée.scn** peut vous servir de corrigé. Naturellement à aucun moment depuis le début de ce chapitre vous n'êtes passé en vue extérieure, évitant ainsi la furie de *Qui vous*

savez et surtout pour ne pas tricher et rester dans du pilotage Apollo pur et dur. Nous n'avons plus grand chose à faire jusqu'à **-04:15:00** soit **094:57:00** sur le **MISSION TIMER**. Nous réalisons alors la séquence en terminant par l'item 382 : **SUIT HT EXCH vlv BYPASS** sur **FLOW** car V25 N01E n'est pas possible puisqu'elle implique l'utilisation du CMC. Avez-vous pensé à re fermer le clapet de protection ? L'horloge locale affiche **095:01:47** soit environ 26 minutes jusqu'à la suite du programme en **-03:45:00** qui correspond à **095:27:00**. Comme l'auto-vérification aurait imposé environ cinq minutes si nous étions en procédure standard, nous voyons que pour le moment il n'y a pas à se précipiter. Si l'on valide **LTMFD** en mode **Flight data display** on peut voir que la trajectoire est correcte, une correction de route n'est vraiment pas impérative. Nous allons donc éviter une telle manœuvre qui modifierait l'orientation et obligerait à reprendre l'attitude **PROGRADE**. En parcourant le manuel, vous constaterez que l'étape **-02:45:00** peut être sautée puisqu'elle concerne des préparatifs pour la navigation. Il faut toutefois passer l'antenne **Page 192** bande S sur la position **C**. Petit regard par le hublot **latéral** pour vérifier que la Terre

est toujours en face et que l'immobilisation en rotation est satisfaisante. Le centrage n'est plus parfait mais ce n'est pas fondamental, le tout, c'est de ne pas la perdre de vue. La batterie A absorbe toujours deux ampères et n'est pas à la tension de saturation, on la laisse en charge. Le prochain jalon temporel se situe à **-02:15:00** soit **096:57:00** sur le **MISSION TIMER**. On dispose de beaucoup de temps, aussi il faut en profiter pour faire le ménage et ranger tout ce qui "traîne" en lévitation et qui ne manquera pas de venir semer le trouble quand on va retrouver la pesanteur. Vérifiez au passage les raccordements des cordons ombilicaux vers les scaphandres, la bonne santé des casques de protection. En bref se préparer. Comme sur certains P.C. (*Dont le mien*) il est dangereux de dépasser une accélération temporelle de 10x, une fois écoulé cette longue période j'ai sauvegardé la situation dans **49E) GET 96-57-00.sc** pour éventuellement reprendre à cet instant de notre expérience.

Exercice n°6 : Flagrant délit de négligence.

Souhaitons que Popol qui est allé voir le Directeur des vols pour mettre au point le planning de fin des formations ne revienne pas trop vite, s'il apprend ça vous pouvez rentrer chez vous et faire la valise ! En effet, une check-list n'est pas le compte-rendu d'un discours politique, elle doit absolument être prise en compte. Hors dans l'exercice n°2 secteur -06:35:00 vous avez réalisé la procédure **Vérification des systèmes** (Page 15). La première ligne engage **Vérification environnement équipage** (Page 14). Vaut mieux bien s'en occuper de l'équipage ... car c'est de NOUS qu'il s'agit ! Et là, pénards de chez cool vous constatez que sur 602 la pression est à bloc, le manomètre en butée sur 1200 PSI. Pas de problème, il est solide ce manomètre. On s'en bat l'oeil et l'on passe à la suite ... la vie est belle. **Sauf que la vie ne va pas durer si vous continuez ainsi ! (1)**

Comme un **vent orange tempête** semble souffler et que je ne désires pas me cogner une grève alors que la date du lancement approche, on va relativiser un tantinet mes propos, et surtout formuler autrement. (*J'ai foncé voir mon conseiller en COM, il a rédigé mon texte*) J'avoue que régulièrement je rencontre des paramètres qui débordent de la norme. Ce n'est pas spécialement étonnant vu que les situations sont "bricolées". S'il en tourne, quand on réalise entièrement une mission et que l'on réalise pas à pas l'intégralité des items du plan de vol, les paramètres évoluent alors dans les fourchettes attendues. Peu importe, mon objectif majeur est de vous former sur tous les systèmes ; et dans ce contexte je vais au plus court. Par contre, quand on trouve un paramètre franchement hors limite, il me semble préférable de chercher à résoudre l'incident avant qu'il ne devienne "DEAD". C'est également tout bénéf pour l'expérience.

Soyons honnête, je ne suis pas persuadé que cette suppression engendrerait une véritable catastrophe. Mais l'occasion est trop belle pour se réviser l'aspect pressurisation qui n'a pas beaucoup encombré ce tutoriel. Comme nous sommes en suppression, c'est plus exactement la page 45 du manuel **SERVITUDES.pdf** qui traite du sujet :

- 326 : **vlv SM SUPPLY** sur **OFF** puis 326 : Vérifier **vlv REPRESS PKG** sur **OFF**.
- 600 : Placer le curseur valve d'égalisation pressions en position **A**.
- 601 : Ouvrir sécurité **sw REPRESS O2 VALVE** et **OPEN**.
- Placer immédiatement le curseur de la souris sur la zone inférieure de l'inverseur **CLOSED**. La chute de pression sur 600 : **ind OXYGEN REPRESS PRESSURE GAUGE** est rapide. Cliquez avec anticipation quand le manomètre indique 1000 PSI. Avec un peu de retard la pression se stabilise aux environs de 900 PSI. On a retrouvé la valeur standard et on suppose bien entendu que pour cette manipulation l'équipage avait revêtu les scaphandres. Refermer la sécurité en cliquant une deuxième fois sur l'inverseur dans la zone **CLOSED**.
- Refermer le curseur de la valve d'égalisation pressions 600 en position **E**.
- 326 : **vlv REPRESS PKG** sur **ON** durant 30 secondes environ puis retour sur **OFF**.
- 326 : **vlv SM SUPPLY** sur **ON**.





Dernière petite vérification sur le manomètre en 600, la cabine est de nouveau en conditions nominales. Outre ce rappel sur la dépressurisation, ce petit intermède avait également pour but de montrer que dans NASSP on sera régulièrement confronté à ce type d'incidents, et qu'il ne faut pas forcément éluder, mais cerner le domaine concerné et ouvrir les livrets à la bonne page. C'est précisément ce qui les justifie.



OK, on en fait pas tout un plat nous ! Ha mais alors on a cru que c'était pas grave. D'autant plus qu'il n'a pas à briller, y'en a plein des paramètres qui sont pas il reproche, faudrait lui suggérer qu'on est en loisir, et comme il n'a rien dit pour ce Putain de manomètre, (1) Va des moments, le Nulientout il se prend pour Popol ma parole. Il critique, il pérore,

Exercice n°7 : Préparation et configuration finale avant la rentrée.

Oser ajouter ce titre d'exercice alors que nous ne faisons que poursuivre régulièrement ligne à ligne le livret est un peu de la publicité mensongère. Mais je désirais différencier ces actions de celles de l'exercice précédent qui concernait l'orientation vers la Terre. On enchaîne successivement **-02:15:00** à **096:57:00**, puis **-01:50:00** à **097:22:00** et **-01:30:00** à **097:42:00** en respectant les horaires. Il ne faut pas anticiper car toutes ces manipulations ont des conséquences sur les consommations électriques, les réserves d'oxygène etc. (Vous pouvez si nécessaire charger la situation **49F) GET 97-48-50.sc**) Notez au passage qu'il faudrait passer 3 : sel **DC INDICATORS** sur **MAIN BUS B** mais pour le moment il faut le laisser sur **BAT CHARGER** donc, pour ne pas oublier de le faire, ajoutez un rappel sur le "post-it" qui encombre le centre du manuel. On peut alors passer à la configuration des sectionneurs du tableau 8. Inutile d'activer le SPS qui en principe ne sera plus utile vu le peu d'autonomie qu'il lui reste et vu que nous ne sommes plus en pilotage automatique. Quand à l'activation des RCS du SM en principe c'est fait, mais nous allons reprendre tous les items du livret pour vérifier une fois de plus que tout est conforme. Il vaut mieux une vérification de trop qu'un manque sur un point important oublié ou modifié par inadvertance. Comme la check-list ne précise pas le mode, on activera en LINÉAIRE vu que cette configuration autorise aussi-bien les translations que les rotations. Le **MISSION TIMER** affiche **097:48:50** quand j'en arrive au stade **RÉENTRÉE** en page 7 qui se situe à **-00:45:00** pour un GET de **098:27:00** sur le plan de vol. Nous avons encore une demi-heure devant nous.

OBSERVATION PONCTUELLE : Je vais vous refaire ici le coup du passager clandestin qui titille des boutons à notre place. Comme nous disposons d'un peu de temps, la petite expérience proposés dans cet encadré va éviter à certains de se poser encore des questions, et clarifier un détail discret du comportement de NASSP. En préambule à cette récréation, les deux écrans du tableau 2 visualisent **Project Apollo MFD**. Sur celui de droite validez **BCK** puis **ECS** pour avoir **Crew status**. Sur l'écran de gauche **BCK** pour purger l'écran et n'avoir que **Ground Elapsed Time**. Puis **[CTRL]**  pour passer en vue d'écoutille, suivi de **[CTRL]**  pour revenir sur le tableau 2. "Quelqu'un" à validé sans qu'on lui demande l'option **Crew status** sur le MFD de gauche. **BCK** sur le MFD de droite pour en purger l'affichage. **[CTRL]**  suivi de **[CTRL]** , cette fois le quelqu'un à vidé l'écran de gauche.



CONCLUSION : Quand les deux MFD sont simultanément sur **Project Apollo MFD** avec des options d'affichages différentes, quitter le sous-tableau et y revenir impose pour l'écran du MFD situé à gauche l'option validée sur celui situé à droite.

Comme pour séparer il va falloir orienter en manuel, CAP COM profite de ce moment de libre pour nous donner les informations à ce sujet :

- *Houston pour 506 nous avons les références d'orientation pour la séparation.*
- *Bien reçu on vous écoute.*
- *Vous allez utiliser la Terre pour orienter en PRO-GRADE que vous centrez parfaitement dans l'écoutille zone sombre rigoureusement vers le haut. Vous calez le FDAI au triple Z puis vous cabrez de 85° vous serez alors en Prograde. Pour confirmer vous aurez Nuki 37 et Dabih 41 dans l'écoutille pratiquement centrés sur la verticale. À gauche et à droite vous trouverez visible en face Enif 44. Vous recalez alors au triple zéro les deux FDAI qui seront significatifs du PRO-GRADE pour la suite de la balistique.*
- *Bien compris et noté CAP COM, et pour P61 ?*
- *Il vous suffit de cabrer de quarante degrés positifs. Vous attendez ensuite 99:12:00 pour séparer.*
- *Merci Houston, on prépare la colombe et on y va.*

Poursuivons normalement le manuel jusqu'à **-00:20:00** qui se produit à **098:52:00**. Pour ceux qui le désirent la scène **49G) GET 98-51-50.scn** nous situe à 10 secondes de cette échéance. Continuer normalement la configuration des systèmes mis à part l'orientation en lacet de 45°. **Commencer par couper la recharge de la batterie.** Surprise ! Au moment de passer le sélecteur 3 : sel **BATTERY CHARGE** sur **OFF** on constate que les deux indicateurs de tension et de courant sont en butée zéro. Pourquoi ce problème apparent ? Rapidos on ouvre **SYSTÈMES APOLLO.pdf** en Page 11 et l'on trouve la réponse dans le schéma Fig.10 en voyant que 5 : sw **[MAIN BUS TIE]** passé sur **BAT A/C**


Page 194 coupe automatiquement le rechargement de la batterie. Ici ce n'est pas pénalisant car

nous n'avons perdu que dix minutes de rechargement. Mais l'on peut réaliser à quel point les systèmes sont en interaction et peuvent se perturber les uns les autres. Seule une parfaite maîtrise de l'ensemble du pilotage pourra réduire les risques de ce genre de "bévues". Une surveillance permanente de tous les indicateurs vitaux sera également une bonne garantie pour parer ce type d'incident, sachant que dans la réalité rien n'est vraiment anodin et que tout peut conduire à des situations sans issue.




Poursuivons ce long chemin sinueux et constellé d'embûches : Couper le rechargement de la batterie, mais laisser 5 : [MAIN BUS TIE] les deux inverseurs en position haute et 3 : sel DC INDICATORS sur MAIN BUS B pour ne pas contredire la séquence de rentrée en cours. Normalement on devrait placer les trois inverseurs 1 : [MANUAL ATTITUDE] sur RATE CMD mais les laisser sur ACCEL CMD pour conserver le maximum d'efficacité à nos manœuvres d'orientation, quitte à secouer un peu nerveusement le CM si une urgence s'en fait sentir. Dans la séquence de préparation de la rentrée nous devons couper l'alimentation de MAIN BUS A par la pile à combustible n°2. L'item est suivi par la consigne :

- Vérifier l'équilibrage de charge sur les piles 1 et 3.

Comment comptez-vous y arriver ?

C'est assez simple. Il suffit d'alimenter les deux onduleurs de courant alternatif sur MAIN B. Ainsi on déchargera de façon significative MAIN A, le bus plus sollicité. La pile 1 est délestée d'autant, alors que 3 va débiter un courant plus important. Vous pourrez alors vérifier que les flux ou les courants débités par les deux centrales sont assez équivalents. Comme dans la suite de la procédure on coupe les pompes de refroidissement des piles à combustible, une alerte de surchauffe sur FC 1, FC 2 et FC 3 va se déclencher assez rapidement. Ne pas s'en préoccuper. Acquiescer avec  puis continuer la préparation machine.

Exercice n°8 : Orienter pour la séparation.

Manuel RETOUR DE MISSION.pdf ouvert en page 8 on voit en Fig.2 que pour se substituer à P61 il faut cabrer de 40° pour séparer. Ainsi le module de service avec ses RCS va automatiquement translater vers le bas et à contre-sens, donc augmenter son angle de plongée. En outre il va s'éloigner du CM pour éviter tout risque de collision et se désagréger plus violemment ne laissant tomber au sol que des débris sans danger pour les populations. Avant de procéder au cabrage il faut orienter en PRO-GRADE. Si nous avons bien interprété les directives de CAP COM on doit aboutir au résultat montré sur la Fig.181, orientation bien stabilisée avant de provoquer le triple zéro sur les deux FDAI. Attention à bien se placer "face au hublot" avec [CTRL]  bien suivi de . Pour pouvoir reprendre le vol à ce stade la scène 49H) Orientation en PRO GRADE.scn nous place dans l'attitude idoine, mais le triple zéro n'a pas encore été initialisé sur les deux FDAI. Finir la préparation par les quelques items de -00:10:00. Quand on passe 2 : [CAUTION/WARNING] sw CSM sur CM, les témoins FC 1, FC 2 et FC 3 s'éteignent puisque le système de détection des alertes ne surveille plus les paramètres du SM. Au passage on peut constater que l'inverseur 2 : [CAUTION/WARNING] sw BOOST devrait se trouver sur NORMAL depuis le décollage. C'est pas bien de n'avoir rien vu depuis tous ce temps  ! Il n'y a plus beaucoup à patienter, il suffit d'attendre 099:12:00 et de cliquer plus d'une seconde sur l'un des deux inverseurs sécurisés 2 : [CM/SM SEP] sw 1 ou sw 2. Si l'ensemble du circuit pyrotechnique est correct vous allez entendre le bruit caractéristique. Il aurait été de bon ton d'avoir le manuel SYSTÈMES APOLLO.pdf ouvert en Page 6 pour avoir immédiatement la Fig.3 bien en vue si le feu d'artifice ne se

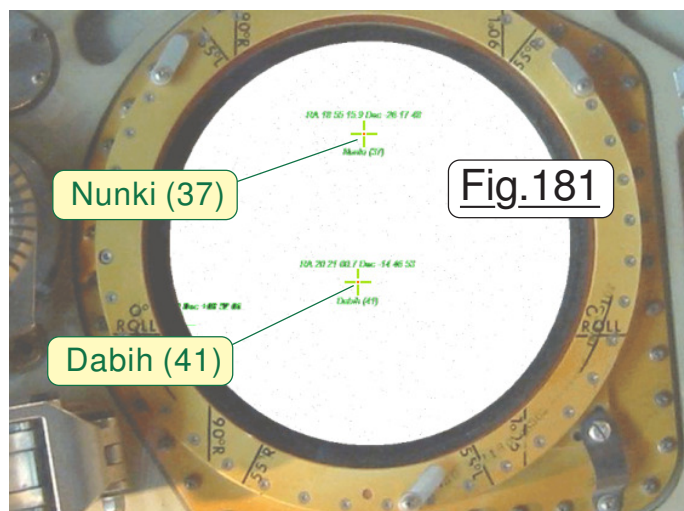


Fig.181

produisait pas. C'est ça ... anticiper. Il faut toujours avoir une longueur d'avance sur le vaisseau, car la Terre va grossir de plus en plus rapidement dans le hublot et maintenant les événements vont se précipiter. Comme on risque de reprendre plusieurs fois cette phase du vol, 49I) GET 99-11-40.scn nous situe à vingt secondes de la séparation.

Pour cette première tentative, oubliez le CM et avec [F3] sélectionnez AS-506-SM pour passer en observateur sur le module de service. Il est stabilisé en attitude par un mouvement de rotation autour de son axe longitudinal. Les quatre Quads poussent en translation pour l'éloigner du CM.

Passez alors en vue intérieure et ouvrez **Orbit MFD**. Cette poussée de rétro freinage et de plongée vers le bas va se poursuivre jusqu'à épuisement des ergols. On peut alors voir sur le MFD que le périégée devient négatif d'environ 413 km. Le SM va donc piquer dans la fournaise bien plus rapidement que le précieux CM. Restez "à bord" de ce détrit cosmique et assistez à son agonie. (*Sadiques !!!*) Quand il n'est plus que poussière, Orbiter annulant le plasma orange, focalisez la caméra sur le CM en vue extérieure. Il n'y a pas encore de trace de plasma. Vous comprenez l'avantage de l'attitude positive à 40° ?

Exercice n°9 : prise d'attitude pour la plongée dans le couloir de pénétration.

Juste après la séparation il faut conformément à la Fig.3 du manuel de vol cabrer à 60°. Puis suite à cette manœuvre préliminaire conditionner sans tarder le boîtier EMS qui va nous aider au pilotage dans les affres de l'enfer. Allez, au travail ! On charge **49I) GET 99-11-40.scn** et manuel en main on poursuit la check-list. Cabrage à 60° puis basculez les inverseurs pour achever la séquence en bas de la page 9. On tourne la feuille du livret et l'on oriente le CM pour obtenir une portance (*LIFT*) maximale vers le haut. L'idée consiste à rebondir bien au dessus de l'atmosphère pour mieux refroidir le bouclier thermique. La Fig.5 dans le manuel est assez représentative de l'attitude à adopter. Pour se retrouver avec 30° de cabrage au dessus de l'horizon mais à contre-sens et tête vers le bas, il suffit d'ajouter 90° en "PITCH" qui ajoutés aux 60° initiaux donnent la bonne attitude. La Fig.182 se passe de commentaire. L'angle par rapport à l'horizon totalise alors 150°, angle que l'on doit retrouver sur les FDAI comme montré en Fig.183 compte tenu de leur ajustement initial.

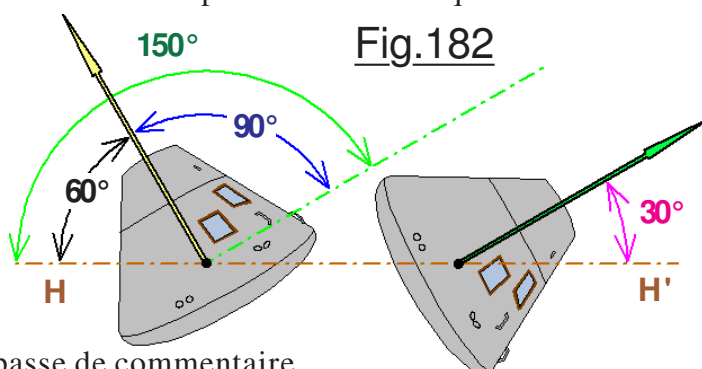


Fig.182

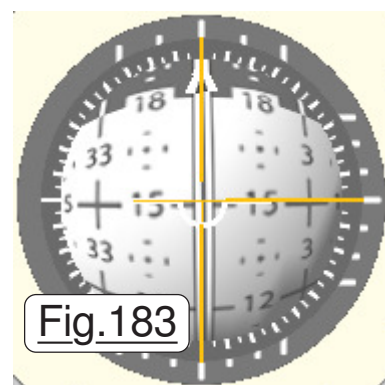


Fig.183

Exercice n°10 : Initialisation du boîtier EMS.

Après avoir placé le vaisseau dans l'attitude de pénétration atmosphérique, on doit initialiser le boîtier EMS. Rien de bien compliqué, il suffit de suivre les items dans l'encadré de la page 10. En consultant le tableau de la page 190 on voit qu'à l'allumage de **0.05G** notre vitesse avoisinera les 10750 m/s soit en divisant par 0,348 la valeur convertie de 30890 ft/s. On devra donc placer la ligne verticale sur la graduation 31,9 en bas de la bande défilante. Pour la distance estimée jusqu'à l'impact la balistique ne peut se prononcer avec précision la distance de plané sera fonction de votre pilotage. Tablez sur 1350 NM histoire d'indiquer à l'EMS une valeur vraisemblable. La Fig.185 donnée en haut de la page 197 nous montre un profil typique de rentrée : Celui de la mission 506 du vol Apollo 11. Une fois l'EMS conditionné, terminer les actions de la page 10, sachant qu'il faut laisser 1 : **sw CS CONT** sur **SCS** et 1 : **sw CMC MODE** sur **FREE** puisque nous effectuons le pilotage entièrement en manuel. Poursuivre avec les actions du haut de la page 11 mais laisser 1 : **[MANUAL ATTITUDE]** trois **sw** sur **ACCEL CMD**. Il n'y a plus rien à faire, le vaisseau va effectuer sa rentrée comme un grand. Pour éventuellement pouvoir reprendre cette manipulation, **49J) Page 12 GET 99-50-58.scn** nous positionne dans l'état correspondant à la fin de préparation pour la rentrée, et à un peu moins d'une minute de l'allumage de **0.05G**. Dès que l'atmosphère est détectée, le verdict tombe, et comme montré sur la Fig.184 la portance est trop élevée. Normalement il conviendrait

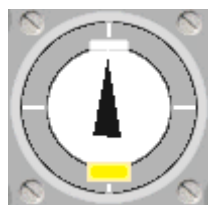
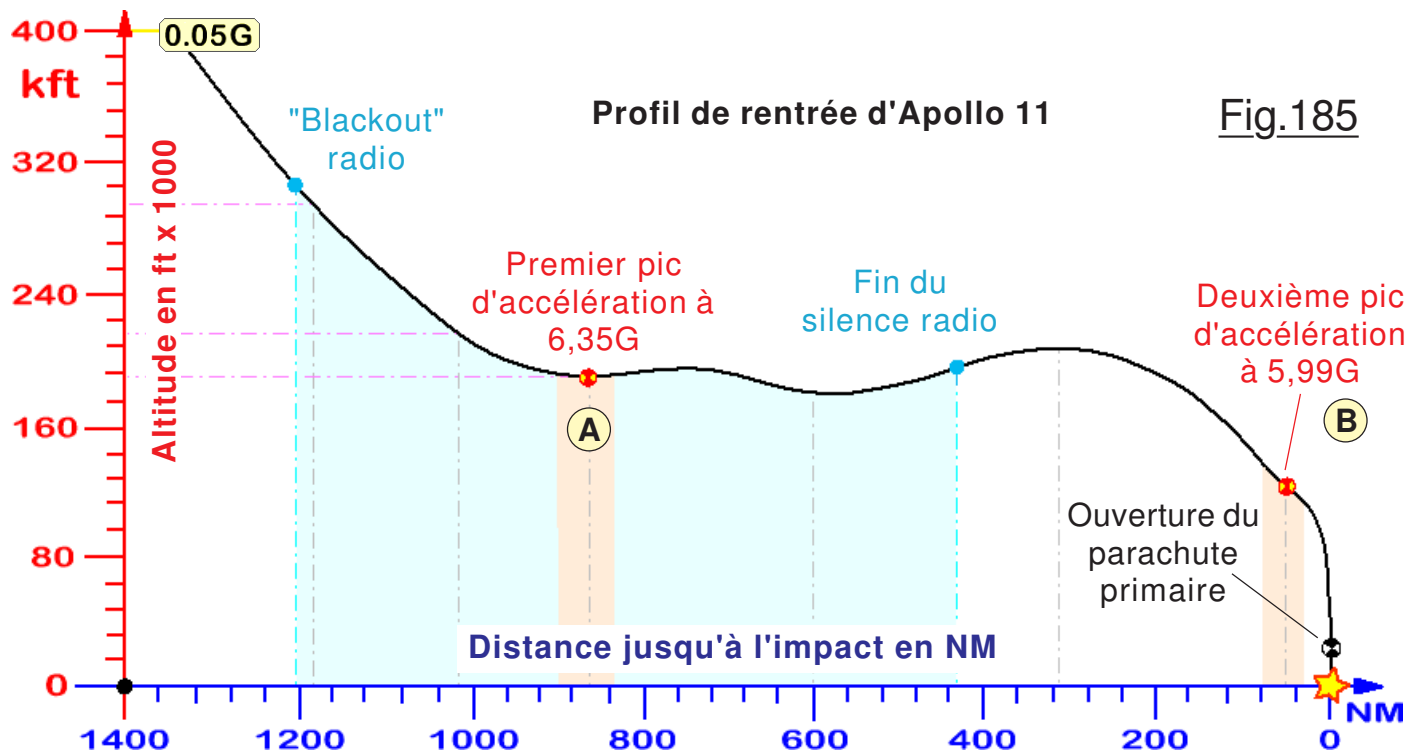


Fig.184

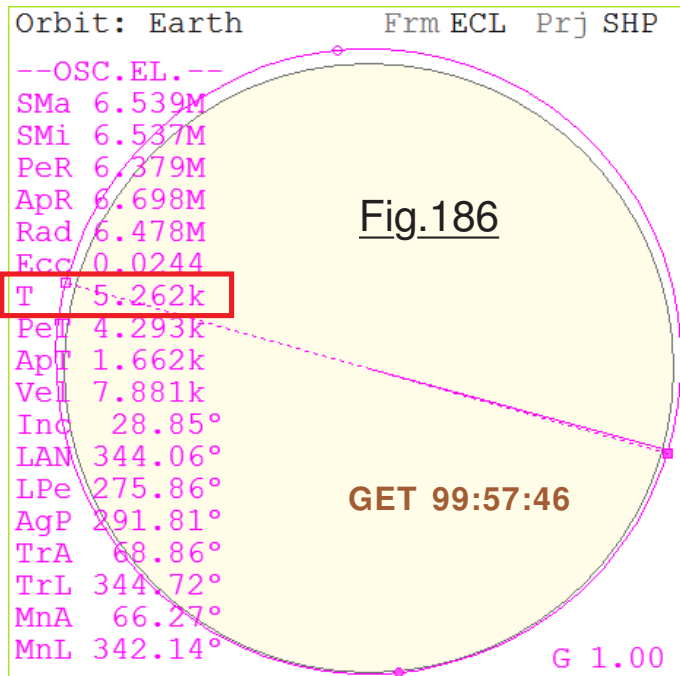
de rapidement réaliser un demi-tour pour "diriger l'aiguille" du RSI vers le témoin qui s'allume. Laissez faire pour voir ce que ça donne. Le freinage augmente jusqu'à 6 G, une valeur dans les normes habituelles. L'orbite se referme, mais pas assez. Elle est bien trop grande et présente une période d'environ 7050 s, soit pratiquement deux heures pour nous ramener au deuxième freinage. C'est bien trop élevé, les batteries du bord ne sont pas prévues pour une telle autonomie. Reprendre

49J) Page 12 GET 99-50-58.scn mais cette fois nous allons piloter en roulis pour augmenter le freinage et ainsi diminuer les dimensions de l'orbite. Quand la fournaise se déchaine, surveiller l'accéléromètre dont la valeur augmente jusqu'à 6 G. Dès que l'aiguille commence à tourner de l'autre côté, c'est à dire

(Pour des raisons dont j'ignore l'origine, parfois c'est le témoin du haut qui s'allume ??? Si ce petit incident se produit, ne pas en tenir compte et poursuivre l'exercice comme expliqué dans le tutoriel)



que le freinage diminue, illico avec **6 num** provoquez du roulis pour diriger l'aiguille du RSI vers le bas et maintenir le CM dans cette attitude. On dirige la portance vers le bas, et ainsi on va remonter moins rapidement. Dès que le vaisseau sort de l'atmosphère, le ramener à l'attitude correspondant à celle de la Fig.183, la Fig.186 montrant ce que l'on obtient. Avec l'orientation initiale en pénétration atmosphérique il ne sera pas possible de faire bien mieux. On a ramené la période à 5262 secondes et la durée d'attente du point d'entrée E.I. aux environs de 5000 secondes. C'est encore beaucoup trop pour les batteries.



Exercice n°11 : Réduire au maximum les consommations électriques.

C'est une question de survie. Pas d'électricité, plus de fonctionnement des RCS, plus de réchauffage des parachutes, plus de FDAI et d'EMS pour aider au pilotage etc. Il faut absolument ménager au maximum le potentiel des batteries et couper tout ce qui ne sera pas utile. C'est un peu le sort d'Apollo 13 que nous retrouvons ici. On ouvre **PROCÉDURES D'URGENCE** à la **Page 12** et l'on s'inspire du tableau sachant que les scaphandres sont utilisés. Pour ma part quand j'ai coupé l'un des deux onduleurs de courant alternatif, j'ai laissé celui qui est en service sur MAIN B car la batterie A est agonisante. Nous allons payer notre négligence de ne pas l'avoir rechargée à bloc quand c'était possible. J'ai coupé les deux BMAG ainsi que le FDAI n°2, par contre notre seule référence

d'orientation est actuellement l'IMU en qui on fait confiance pour la fiabilité, donc il ne faut pas la couper. On doit aussi passer 5 : **sw G/N** sur **OFF**. Passer sur le tableau 250 et mettez la batterie C en service, elle va s'avérer indispensable. N'oublions pas de réinitialiser entièrement l'EMS en utilisant la deuxième zone disponible sur la bande défilante. Quand on va approcher du périgée, il faudra avoir une attitude conforme à celle de la Fig.183 et comme nous n'avons pas de MFD à notre disposition, c'est la Terre qui par analyse dynamique nous informe des paramètres de rentrée :

- *Houston pour 506 nous avons la dynamique.*
- *OK Houston on vous écoute.*



- Vous allez arriver en E.I. vers golf écho tango cent dépassé de cinquante et une minutes.

- Merci Houston, ici on se prépare.

- Bonne chance les gars, mais normalement ça va passer, ici les simulations sont positives.

Comme nous ne savons pas à quel moment les systèmes vitaux pour le pilotage vont abandonner la partie, orientons tout de suite le CM conformément à l'attitude de la Fig.183 sachant que nous ne disposons plus des indicateurs de taux de variation. Quand on approche la bonne orientation manœuvrer lentement. Passer en vue hublot d'écoutille et effectuer un KILL ROT par observation des étoiles. Arriver à figer la bonne attitude est assez délicat, mais on y parvient avec un peu de sang froid.

Exercice n° 12 : L'agonie du beau navire.

L'abandon n'est pas une option. Mais cette mission est bien mal engagée. Trop de négligences vont conduire le vaisseau à sa perte ... ou presque. Quand vous avez mis la batterie C en service, vous n'avez pas été sans remarquer qu'elle ne présentait que 25Vcc à ses bornes ce qui n'est pas vraiment la norme de pleine charge. Vers 100:20:00 les témoins  et  s'allument à leurs tours. La batterie la plus "robuste" est en train de rendre l'âme et la batterie de secours C n'est pas assez forte pour la seconder. À chaque alerte sonore il faut repasser **ACK** sur **NORMAL** pour voir quel nouveau témoin s'est allumé, et repasser sur **ACK** pour économiser le peu d'électrons encore disponibles. Vers 100:30:00 toutes les batteries sont à l'agonie, autant couper les deux sectionneurs du système des alertes. Il n'y a plus qu'à subir. Le navire est en perdition, les systèmes nous abandonnent les uns après les autres. L'afficheur **ΔV/RANGE** finit par s'éteindre à son tour et à bord il n'y a pas que le moral dans le noir. On se retrouve complètement démuni. Les deux FDAI sont **OFF** et les RCS ne sont plus utilisables. La seule chose qui peut nous sauver c'est d'avoir convenablement orienté le CM et surtout que le KILL ROT était suffisamment soigné pour que l'orientation ne dérive pas trop. Comme vous avez plus ou moins prévu cette débâcle, anticipant la perte de l'IMU vous avez repéré le ciel par le hublot d'écoutille et ainsi avoir des étoiles de référence pour pouvoir éventuellement corriger l'orientation étant totalement aveugle sur le tableau de bord. C'est bien d'y avoir pensé, mais ce n'était faisable que lorsque le CM avait suffisamment avancé sur l'orbite pour que la Terre ne masque plus l'ouverture de l'écoutille. (24, 26 et 30 sont bien visibles dans le champ du hublot d'écoutille par exemple, c'est un bon trio de repérage) Dans notre cas cette précaution va s'avérer stérile puisque les RCS sont hors service, mais ce n'était pas vraiment envisagé.

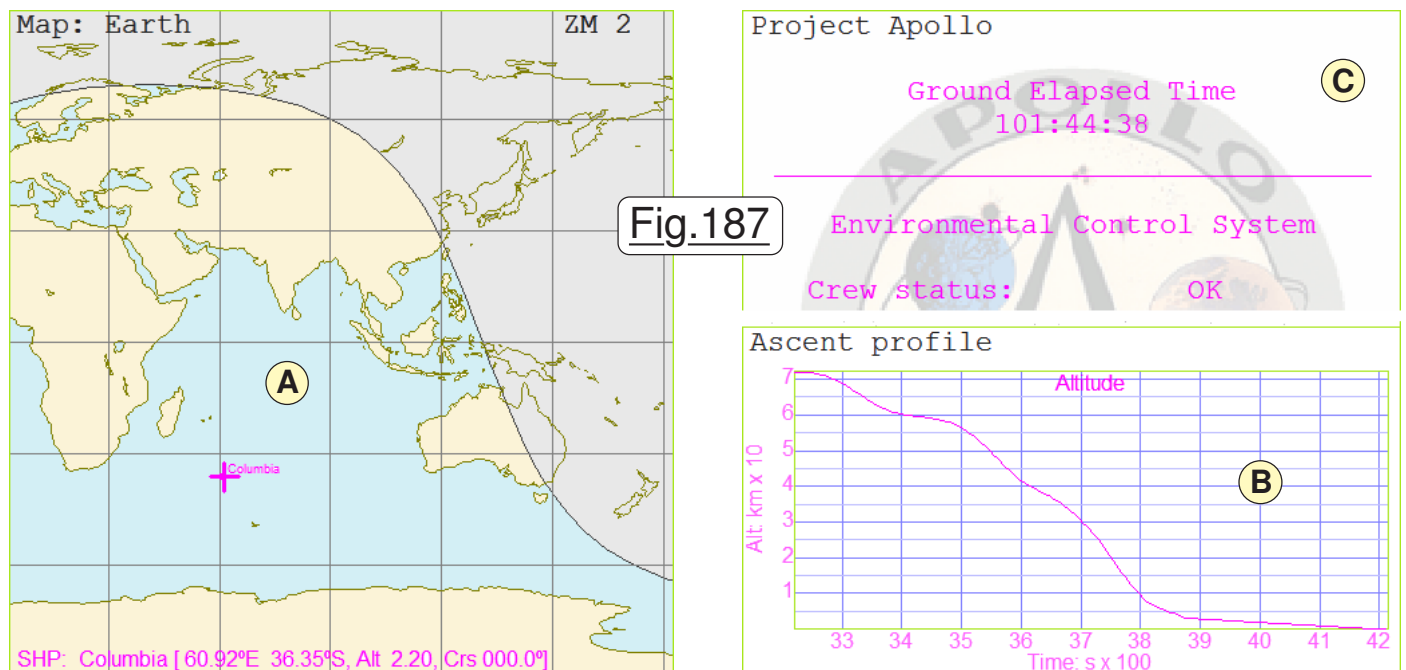
L'issue de cette rentrée lamentable ne sera finalement pas fatale. Il est impossible de savoir combien de G ont été subis par l'équipage l'accéléromètre étant inutilisable. Mais il suffirait de peu de chose pour conduire le vaisseau à sa perte. La scène **49L) C'est reparti pour un tour.scn** que je vous propose pour refaire cet exercice est assez "miraculeuse". Elle correspond à l'orbite montrée sur la Fig.186 qui est idéale, on ne peut que difficilement faire mieux. Quand vous aller tenter d'obtenir un résultat identique vous allez vous rendre compte que c'est particulièrement délicat. Gérer la portance pour obtenir une valeur d'apogée précise est pratiquement infaisable. Soit on plonge trop rapidement et le vaisseau brûle, soit on obtient une période orbitale trop importante. Sachez qu'avec un T de 5558 secondes qui correspond à l'orbite dont est issue **49K) Juste avant la débâcle.scn**, et qui ne semble pourtant pas beaucoup plus, pratiquement toute la descente se fait avec **CRITICAL** affiché sur **Project Apollo**. C'est probablement le taux de CO2 qui est en limite de taux acceptable sur l'indicateur qui nous incommode plus que les G subis. L'euphorie s'installe alors à bord, et une bonne migraine vous attend pour fêter l'arrivée. Comme l'attitude au point d'entrée dans le couloir est correcte, la pénétration va s'avérer acceptable. Les systèmes pyrotechniques vont se déclencher normalement car l'altimètre est un instrument barométrique qui fonctionne sans besoin d'alimentation électrique. Si l'un des dispositifs pour libérer les parachutes n'avait pas fonctionné, il aurait été possible de déclencher en manuel, mais le mental en vadrouille par suite de la pollution de l'air respiré ne vous aurait certainement pas aidé à conserver des idées claires. Bref, on passe à un fifrelin de la catastrophe. Il faut absolument tirer des conclusions pour l'avenir.

Exercice n° 13 : Analyse d'une lamentable prestation.

Naturellement, le but de cette analyse n'est pas du tout de montrer du doigt et d'accuser. Depuis le début de ce chapitre je vous place dans une situation ingérable, histoire d'expérimenter le pire du pire. Si les batteries sont dans un état lamentable, c'est que depuis le début de la mission nous avons focalisé sur les corrections de trajectoire et la possibilité de rentrer à la maison. Comme à bord l'équipage se portait bien, on a oublié la santé du vaisseau. On n'a pas pris la check-list du plan de vol qui pourtant **Page 198** régulièrement impose de recharger les batteries A et B. Nous n'avons jamais purgé les

piles à combustible, et avons bien de la chance qu'elles ne se soient pas rebellées. Si conformément au plan de vol nous avons reporté les valeurs en page 11 du livre de bord, forcément nous aurions été alerté. **CONCLUSION** : Ce n'est pas parce-que l'équipage se porte bien qu'il en est forcément ainsi pour le vaisseau. Si ce dernier est malade, c'est l'équipage qui trépassera. Il importe donc tout le long d'une mission de surveiller l'intégralité de la "santé du CSM", ce qui ne peut se faire qu'en respectant scrupuleusement les consignes du plan de vol. Toute négligence sera sanctionnée. C'est la différence fondamentale entre l'école et la vie de tous les jours. À l'école, le Professeur ne voit pas forcément toutes vos erreurs, sans compter le fait qu'il doit faire preuve d'indulgence et se contenter de ne souligner que ce qui est fondamental à l'instant T. La vie de tous les jours est impitoyable et sanctionnera à 100%. Rien ne peut passer inaperçu et toute erreur présentera des conséquences. Dans l'espace, il n'y a pas de petites peccadilles, tout peut conduire à la perte dramatique du vaisseau et de l'équipage.

A nalyse d'une crise mal gérée : C'est volontairement que je vous ai engagé dans un mauvais chemin, mais suite à cette expérience on va pouvoir déduire une meilleure stratégie. Dès que le vaisseau repart sur sa trajectoire elliptique pour devoir effectuer une boucle de plus, les ingénieurs savent que les batteries ne peuvent pas assumer une aussi longue période de dépense énergétique boulimique. Il importe alors de les préserver pour le retour en atmosphère dense et ainsi disposer des aides au pilotage indispensables si l'on ne veut pas subir les événements comme dans l'exemple précédent. Donc le vaisseau s'éloignant du sol et entièrement hors atmosphère, vous orientez pour le retour et affinez un vrai KILL ROT sur le ciel profond. Vous configurez en consommation minimale comme déjà pratiqué dans l'exercice n°11. Enfin vous coupez l'intégralité des systèmes de bord et des alimentations sur les bus. Le **MISSION TIMER** n'est plus utilisable. On reste donc en communication avec la Terre sur le récepteur radio le moins gourmand en courant électrique. (Pour simuler la liaison validez un MFD, et un seul ; sur la sélection **Project Apollo**, en fonction **ECS**) Vous repérez dès que possible des étoiles de référence pour avoir une "boussole" au cas où. Vers 100:20:00 CAP COM nous demande de rétablir définitivement la distribution électrique à bord. On réveille alors l'électronique et on commence éventuellement par régénérer l'atmosphère dans l'habitacle le taux de CO2 approchant le pourcentage critique. On réoriente avec précision le CM et l'on initialise l'EMS. La rentrée sera alors pilotable et non subie. Il ne vous reste plus qu'à expérimenter cette belle narration, car la théorie semble toujours facile, mais la pratique reste souvent autrement plus délicate. La scène **49K) Juste avant la débacle.scn** vous permet de vérifier que pour le cas de la mauvaise gestion des énergies on s'en tire vivant ... mais l'alerte a été chaude !



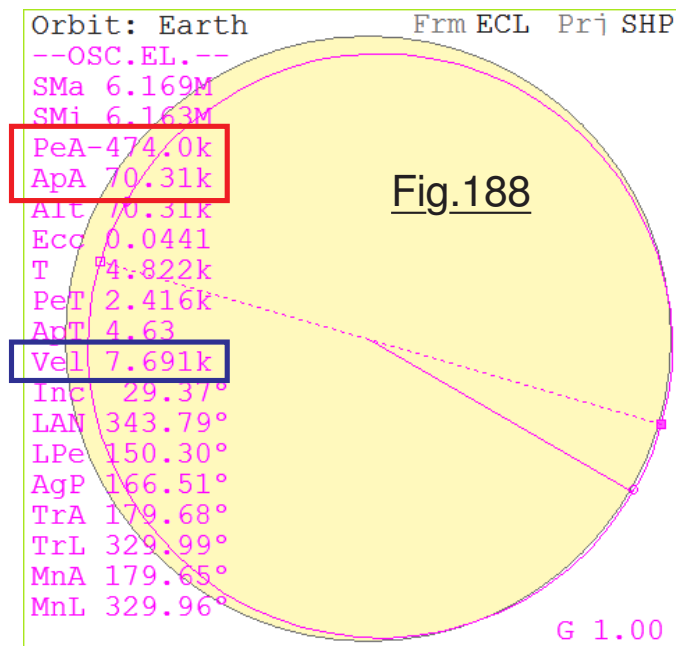
La Fig.187 **A** montre notre position d'amérissage. J'ai "colorisé" la zone située dans le noir. Le graphe **B** traduit ce que vous devriez obtenir en utilisant **49K) Juste avant la débacle.scn** et en validant **Ascent profile** MFD. Enfin la copie d'écran **C** prouve qu'après l'impact l'équipage est toujours en vie. **ATTENTION** : Subir la rentrée signifie que l'on ne peut pas piloter, mais il faut continuer à gérer la check-list de descente atmosphérique. En particulier **valider le séquençement**

d'ouverture des parachutes, sinon c'est l'impact mortel contre l'eau qui menace l'équipage !

Pour pouvoir expérimenter l'orbite supplémentaire, **49L) C'est reparti pour un tour.scn** vous place juste à la sortie du ricochet atmosphérique sur la trajectoire idéale de la Fig.186 avec pour avantage de ne pas voir la pollution en CO2 arriver en zone critique. La rentrée se fait alors "confortablement" sans voir le texte **CRITICAL** s'afficher sur l'écran de **Project Apollo MFD**.

Exercice n°13 : Rentrée directe sans ricocher en orbite basse.

Travailler encore et encore la rentrée permet d'augmenter notre expérience pour devenir apte à effectuer le retour sans "cafouiller". C'est l'une des phases les plus délicates dans une mission lunaire. Le tableau donné en page 72 de **TECHNOLOGIE 2.pdf** montre que dans le pire des cas on ne devrait pas dépasser 7,2 G. À bord du CM il y avait toujours un spécialiste pour gérer ce type de pilotage particulier. Pour vous montrer que c'est possible, avec **49M) Retour standard.scn** la plongée initiale a été soignée. Nous n'avons pas dépassé les 6 G, (*Pic A sur la Fig.185*) mais dirigé la portance sur le

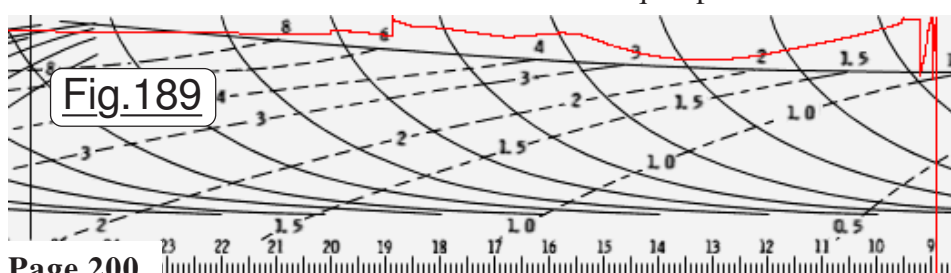


coté et vers le bas pour éviter de rebondir sur l'atmosphère. Bien que pas très conforme à l'esprit NASSP, **Orbit MFD** est ouvert à droite (*Voir la copie d'écran en Fig188*) pour vous montrer le type d'orbite qui convient bien. Le freinage initial nous fait repartir vers le haut comme pour toute rentrée standard, mais pas assez pour sortir complètement de l'atmosphère puisque l'apogée **ApA** ne fait que 70 km. Le freinage est donc effectif et si vous observez en vue extérieure le plasma est toujours intense. Du reste sur l'accéléromètre on est encore à 0.5 G confirmant la friction intense avec l'atmosphère à cette altitude. Notre vitesse orbitale **Vel** est d'environ 7700m/s. (*C'est la vitesse de la Navette quand elle effectuait ses retours sur Terre*) Le freinage initial du ricochet a donc diminué cette dernière de 3000 m/s ce qui est très suffisant pour que la deuxième descente ne soit pas tragique, encore

faut-il ne pas plonger trop brutalement. En première tentative on va brusquer un peu les choses en dirigeant la portance vers le bas. Dans ce but engagez un roulis pour rapidement amener la flèche du RSI à 45° vers le bas à droite par exemple. Maintenir cette orientation jusqu'à ce que le tangage soit imposé par les frottements atmosphériques. On monte à plus de 12 G et c'est l'affichage de **DEAD**.

En deuxième tentative, toujours avec **49M) Retour standard.scn**, vous allez dès le début du rebond balistique, diriger l'aiguille du RSI vers le haut de l'instrument pour diriger la portance vers le haut et nous faire planer plus loin. De ce fait on va bénéficier d'une plus grande course en atmosphère ténue. Le freinage sera donc plus long mais moins intense. Vous allez voir que dans ces conditions on reste à 2 G pendant une bonne majorité de la plongée. Lentement l'orbite se rétrécit. Quand se produit le deuxième pic d'accélération, (*B sur la Fig.185*) l'accéléromètre arrive tout juste à grimper à 3 G. C'est du tourisme, pratiquement une promenade pour Pépé. Pensez naturellement à dérouler correctement la check-list de rentrée ou gare au plongeon mortel. On a bien **MN BUS A UNDERVOLT** qui s'allume, (*Et **MASTER ALARM***) suivi assez rapidement de

MN BUS B UNDERVOLT si on ne coupe pas rapidement tout ce qui est inutile, mais l'intégralité des systèmes fonctionnent et l'on peut normalement réaliser les procédures POSTLANDING. Le feu bleu extérieur est allumé et l'équipe de récupération n'aura aucun problème pour nous retrouver. La Fig.189 ci-dessous atteste de la douceur de cette deuxième tentative. On voit à quel point la différence entre rentrée calme ou destruction



du vaisseau et perte de l'équipage est influencée par la façon dont on dirige la portance lors de la phase de retour. Seule une solide expérience basée sur de nombreuses tentatives sera à même de nous préparer

sérieusement à ce type de pilotage. Pour obtenir votre qualification recommencez autant de fois qu'il le faudra la rentrée initiale avec la scène **49J) Page 12 GET 99-50-58.scn** pour bien cerner la façon de gérer l'orientation de la portance. Vous allez vous rendre compte que le risque le plus grand réside dans une plongée trop rapide sans remontée suffisante pour sortir de l'atmosphère. Ne vous leurrez pas. La difficulté ne sera pas moindre quand vous reviendrez d'une mission normale. La vitesse à l'arrivée sera du même ordre de grandeur et l'angle initial identique. Alors entraînez-vous jusqu'à avoir bien compris.

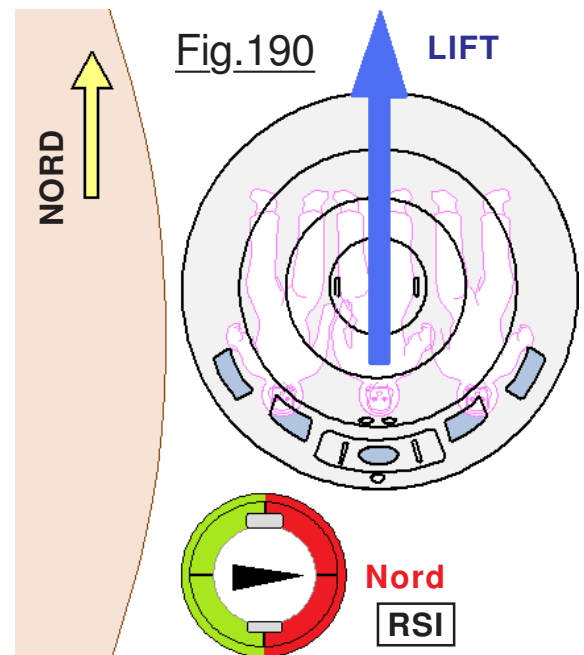
RENTRÉE DIRECTE "EN STANDARD" :

Encore une rentrée atmosphérique ! Et oui les copains, on prend les mêmes et l'on recommence. Mais c'est promis, après ce dernier chapitre vous serez au top pour les RETOURS, qu'ils soient en standard ou en manuel. "EN STANDARD" a été mis entre guillemets car nous allons reprendre le retour catastrophique du chapitre précédent, issu d'une mission entièrement conduite en manuel et négligée pour l'entretien du vaisseau ; donc la situation n'est pas totalement normale. Par contre, dans cette dernière expérience nous allons réaliser un freinage initial "viril" pour ne pas repartir en orbite. Il va falloir piloter en roulis pour gérer la rentrée, et vous allez constater une fois de plus que conserver la vie ne sera pas gratuit, il faut se battre. Mais cette rentrée directe va résoudre en partie les problèmes énergétiques puisque le temps pour retrouver le sol se fait sur une durée raisonnable, presque compatible avec l'autonomie résiduelle des batteries. Dans les expériences précédentes, la pénétration dans le couloir avec la portance dirigée vers le haut nous fait repartir en orbite alors que pour une rentrée standard on doit freiner suffisamment pour juste faire un petit rebond au dessus de l'atmosphère. La solution coule de source : Au lieu de diriger la portance vers le haut, on peut l'incliner sur le côté ou même la diriger vers le bas avec tous les intermédiaires concevables. Portance vers le bas, c'est à dire une attitude analogue à celle d'un avion, conduit à une plongée trop rapide et à la destruction du vaisseau. Il vous sera facile de le constater.

La moyenne entre tête vers le bas ou tête vers le haut correspond à l'attitude d'un vaisseau arrivant "sur la tranche", c'est à dire les "ailes" à la verticale. Nous savons qu'en fonction du côté où nous allons incliner le CM va résulter la déviation de la trajectoire vers le Nord ou vers le Sud. (*Revoir les explications en page 74 dans TECHNOLOGIE 2.pdf*) CAP COM nous demande une déviation vers le Nord qui nous rapprochera du porte-avions. Après avoir expérimenté l'arrivée conforme à celle montrée sur la Fig.190 il vous sera possible d'envisager une attitude intermédiaire de 45° par exemple. Riches de ces expériences vous serez incollables sur le pilotage en rentrée atmosphérique et surtout parés pour faire

face à toutes les situations possibles. Chargez la situation **49N) Retour direct 99-50-48** où l'on se trouve à moins d'une minute du point d'entrée dans le couloir de rentrée à un GET de 99:50:46. Le vaisseau est entièrement préparé et déjà orienté "sur la tranche" conformément à la configuration de la Fig.190 ci-contre. Entraînez-vous à diriger convenablement la portance **LIFT**, il faut absolument ne jamais dépasser 10 G. Je suppose que vous avez tous pensé à bien placer les inverseurs du séquenceur pyrotechnique pour que l'ouverture des parachutes se fasse automatiquement. Pour le plaisir ; rien n'interdit de déclencher juste avant l'altitude standard pour devancer l'automatisme. En première approche effectuez l'intégralité de la plongée en maintenant l'aiguille du RSI à 90° à droite. C'est viril, car l'accéléromètre monte jusqu'à 12 G. L'équipage supporte et reste **OK** durant toute la rentrée, mais ce n'est pas ce qu'il y a de meilleur. On ne remonte pas et le bouclier thermique ne doit pas spécialement apprécier non plus. Comme deuxième tentative, dès que

l'accélération arrive à 8 G, orientez pour amener l'aiguille du RSI tout en haut. L'accéléromètre va jusqu'à 10 G, et l'on remonte franchement. Le deuxième pic ne dépasse pas 5 G. Testez une rentrée analogue mais l'orientation étant effectuée à 6 G. On subit encore 9 G. La remontée est plus haute mais on retombe plus à la verticale. Le deuxième pic va jusqu'à 6 G. Enfin, terminez cet entraînement en orientant rapidement l'aiguille du RSI à 45° vers le haut et à droite. 8 G n'est pas dépassé durant tout le retour. OUF, on en a terminé avec ces rentrées, et maintenant c'est de la routine ... OU PRESQUE !





P23 >>> EXERCICE DE RÉVISION SUR LE RECALAGE DE L'IMU :

Certains vont objecter que nous avons déjà tout expérimenté concernant la vérification du vecteur d'état, et que ce chapitre semble vraiment redondant. Voui voui voui ... encore que ! Il faut savoir que cette facette assez rébarbative des vols lunaires occupait relativement souvent les passagers des capsules Apollo, car les missions étaient longues et le recalage de l'IMU impératif étant donné l'exigence en précision pour les corrections de trajectoires et autres LOI et TEI. Ce chapitre s'instaure directement dans "la routine" des missions lunaire et constitue un incontournable. Il est d'autant plus justifié qu'il va nous faire réviser les interventions sur le DSKY et les manipulations des optiques de bord. Jusqu'à présent, nous avons pratiqué le programme P52 en page 77 du tutoriel. Puis, P22 en page 98 avait pour but de réaligner l'IMU par observation d'une cible au sol "par déplacement d'Amer". Puis ... c'est tout !

Exercice n°1 : Petit rappel sur le fonctionnement des optiques.

Étant donné que nous avons souvent mis les optiques à contribution pour observer le sol, pour tester le système ORDEAL, pour pointer dans l'Univers et orienter en vue d'une régulation thermique passive, nous avons l'impression que recalibrer l'IMU avait été fait un grand nombre de fois. Finalement, pas tant que ça. Vous voyez que ce chapitre est le bienvenu !

Comme P23 impose de placer le vaisseau en attitude PROGRADE, nous savons qu'il faut utiliser les optiques en les orientant conformément aux valeurs du tableau donné dans **SYSTÈMES APOLLO.pdf** en page 20. Sachant que V41 N91 n'a pas été souvent sollicitée, un petit exercice de rappel s'impose. Commencez par charger la scène **50) Pointe parfaitement le Soleil.scn** qui place le vaisseau dans une attitude stable dans laquelle son axe X'X pointe directement le Soleil visible dans le hublot d'accostage. Passez sur le TÉLESCOPE : Centrage parfait de l'astre diurne. Observez dans le SEXTANT. Pas mal du tout et surtout la stabilité en orientation de notre vaisseau est parfaite. Surtout ne pas toucher aux RCS. Du reste pour éviter toute fausse manipulation tragique "allumez" *** **KILL ROTATION ACTIVE** *** sur **Project Apollo** MFD. (*Popol accepte à titre exceptionnel, ça s'arrose !!!*)

Reprenez en face du DSKY. Naturellement **SYSTÈMES APOLLO.pdf** est ouvert à la page 19. Les angles affichés sur le DSKY sont respectivement de **+00001** et de **+57511** ce qui à l'altération de numérisation (*Voir page 41*) est tout à fait en accord avec les valeurs données dans le tableau en bas de page. Vous en déduisez que l'optique pointe  sur le HUD. Pour le vérifier, **[F8]** deux fois pour passer en vue tableau de bord simplifié, puis **H** pour visualiser les informations du HUD. (*C'est tout bon, Popol ne moufte pas, on peut continuer*) Le symbole  est parfaitement centré sur le Soleil confirmant notre déduction. **[CTRL H]** puis **[F8]** pour revenir sur les tableaux 2D. Basculez l'inverseur **MODE** sur **MANUAL** et l'inverseur **SPEED** sur **HI**. Avec le bouton **MARK** revenir sur l'oculaire puis avec **Z**, **S**, **Q** et **D** faussez complètement le centrage. Un retour sur le DSKY confirme des angles de valeur quelconque.


Exercice n°2 : Orienter les optiques en mode automatique.

Bien que jusqu'à présent nous ne l'ayons pas fait à chaque fois que c'était pertinent, initialiser les axes optiques à des valeurs précises est enfantin. Il suffit comme indiqué dans le tableau en bas de page du manuel, de faire appel à la fonction V41 N91 comme on va le pratiquer ici :

V41 N91 E ... s'congredneugneu un  assorti d'un  d'un  et d'un  !!!

V05 N09 E pour voir de quoi il s'agit. Erreur **00115**. Vous ouvrez le manuel **COLOSSUS.pdf** et lisez la ligne relative à l'erreur n°00115. Hé bé, c'était pourtant écrit dans le manuel de pilotage !!!

Bon, vous corrigez illico la position de l'inverseur concerné puis **RSET** pour éteindre les témoins avant que *Qui vous savez* ne s'en aperçoive. **V34 E** pour arrêter les procédures en cours, puis **V41 N91 E** histoire de reprendre nos activités. **V21 N92** attend de nous la valeur pour l'angle SHAFT en ° x 100.

+35999 E : Fondamentalement c'est 360° qui initialiserait parfaitement l'optique, mais cette valeur "limite" provoque une  au moment où l'on valide la deuxième valeur. Donc, la numérisation n'acceptant pas cette "borne binaire", en donnant 359,99° on obtient le même résultat sans courroucer le CMC.

V22 N92 attend maintenant la valeur pour l'angle TRUNNION en ° x 1000.

+57508 E suivi immédiatement de **MARK** et observer le fonctionnement automatique.

(*ATTENTION, si vous lambinez trop dans les manipulations le CSM peut passer derrière la Lune*) Avec précision les automatismes ramènent les angles aux valeurs de consigne et l'on retrouve le Soleil parfaitement centré dans le SEXTANT. Notez que dans le livret **EXPLOITE DSKY.pdf** en haut de la



Regarder directement le Soleil avec le télescope, mais vous êtes cinglés ou quoi ?
C'est la mirette instantanément crématorisée ! Je ne sais pas où vous allez me chercher des con..... pareilles, mais ça va vraiment pas bien. Faut vous ressaisir les gars, car l'avenir devient de plus en plus sombre, même sans regarder le Soleil dans les optiques.

Exercice n°3 : Une petite révision de P22 mais autour de la Lune cette fois.

Comme vous n'oubliez pas une once de tout ce que vous avez appris, immédiatement P22 fait ressurgir en vous la procédure de réaligement de l'IMU par observation d'une cible connue au sol. C'était l'exercice où nous avions pointé le VAB quand nous étions en orbite terrestre. Nous allons refaire exactement pareil, mais cette fois je vous propose de choisir comme jalon le site historique Tranquillity-Base. Dans ce but vous chargez la scène **51) Tester P22 sur la Lune.scn** dans laquelle le vaisseau est dans une attitude et une orbite idéales. Par contre, comme la cible est pratiquement dans le noir, profitant du fait que P... est très conciliant, nous allons nous faciliter la vie en demandant à Orbiter de visualiser les repères jaunes des bases au sol. Dans ce but **[F4] > Visual helpers ... > ☒ Surface bases** est mis à contribution. Naturellement on ne va pas encombrer ce document avec les détails d'utilisation de P22, je vais me contenter ici de commenter quelques paramètres. Pour le reste, révisez la technique page 99 et page 100.

Avec **[CTRL] I > Spaceport > Tranquillity-Base** on obtient **Location: Moon 023.433°E 00.688°N**.

Latitude 00,688°N, donc dans R1 il faudra indiquer **+00688**.

Longitude 023,433°N. En prenant la moitié nous obtenons 11,716 soit pour R2 : **+11716**.

Dans P22 à la saisie on consignera : **V25 E +00688 E +11716 E +00000 E**.

Il ne vous reste plus qu'à réaliser l'intégralité du programme P22 ce qui ne devrait pas poser de problème. Vous allez constater que maintenir le centrage de la cible est bien plus facile que lorsque nous nous étions entraînés sur le VAB. C'est qu'en circumlunaire le balayage orbital est bien plus lent. Attention à ne valider le "MARK" que cinq fois avec **A** ou vous allez provoquer un **PROG**. Durant la manœuvre un **GIMBAL LOCK** se fait remarquer, mais pour ma part il ne conduit pas à la situation de blocage de l'IMU. Le dernier **P COMP ACTY** avec **P22 V06-N49** donne **+79745** comme variation du vecteur position sur R1. C'est infiniment trop et il faudrait réaliser un P52 pour rafraîchir le vecteur d'état. Ce n'est pas le but de cet exercice. Une telle différence n'est pas crédible. Soit l'IMU est en panne, soit (*Et c'est le cas ici*) la situation utilisée est bricolée. Certains paramètres fondamentaux sont donc totalement erronés.

Exercice n°4 : Expérimenter le programme P23.

Enfin ! Et oui les copains, mais je crois pouvoir affirmer que les exercices précédents ne sont pas inutiles pour aborder aisément ce dernier entraînement à l'utilisation des optiques. Ne râlez pas trop ou je cafte à *Qui vous savez* ! On peut charger **52) Tester P23 autour de la Lune.scn** dans laquelle le travail est déjà bien préparé. Les angles optiques sont à zéro et le DAP est activé. Manuel de pilotage ouvert en [Page 38](#) on s'active sans tarder. Il suffit avec discipline et rigueur de suivre ligne à ligne la check-list. Première étape, visualiser les étoiles de référence. Le vaisseau étant globalement en attitude PRO GRADE on peut directement activer P23 en remarquant que l'inverseur **MODE** se trouve déjà sur la position **CMC**. **V37 E 23 E P23 V05-N70** > Il faut revoir les options et pour ma part je propose provisoirement l'étoile n°16 : **V25 E 00016 E 00220 E 00210 E** sur le DSKY. Quand on valide avec **P** qui visualise **P23 V50-N25** un R1 = **00202** signale que l'orientation automatique est possible.

• 1 : **sw SC CONT** étant déjà sur **CMC** passer 1 : **sw CMC MODE** sur la position **AUTO**.


Personnellement j'ai validé deux fois avec **P** pour engager l'orientation en mode automatique. Le vaisseau est alors placé dans une attitude que le programme pense pertinente pour pointer l'étoile de référence. Dans notre cas ce ne sera pas le cas car la scène est comme beaucoup d'autres trop bricolée. Attendre la stabilisation, puis repasser en **SC CONT** sur **SCS** et **sw CMC MODE** sur **FREE**. Les RCS se calment totalement. Avec les RCS réorientez correctement le vaisseau en préalable et affinez un "KILL ROT". On change de cible avec **Altair n°40** pour tenir compte du changement d'attitude qui perturbe l'expérience. La suite se déroule sans incident. À la phase **P P23 V05-N71** il faut corriger la référence de l'étoile avec

• **V21 E +00040**. Les variations indiquées par **P P23 V06-N49** sont trop importantes comme déjà rencontré dans l'exercice précédent pour des raisons identiques. Notez au passage que lors de mon expérimentation un **PROG** avec erreur 421 s'est déclenché, mais il n'empêche pas d'achever correctement la procédure. Peu importe la médiocrité de la scène utilisée, nous avons été en mesure de conduire entièrement un programme P23 et ainsi rempli pleinement nos objectifs.

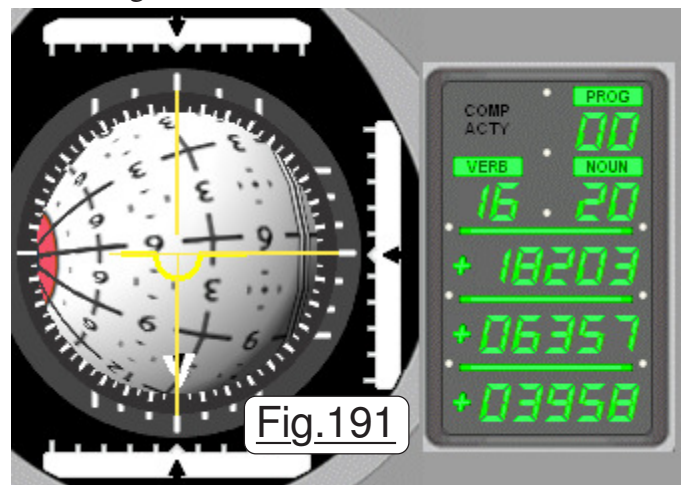
Complément relatif à l'interprétation des aiguilles d'erreurs :

Presque tout à été dit, vu et expérimenté pour ce qui concerne le comportement des aiguilles d'erreur. C'est même à se demander en quoi ce chapitre peut apporter du nouveau. Rassurez-vous, pas de quoi défoncer une porte ouverte. Toutefois, quand nous avons travaillé sur les FDAI, nous ne nous sommes pas trop posé de question sur les commandes V60, V61, V62 et V63 annoncées dans le manuel du CMC en Page 03. Ces consignes influencent le comportement du FDAI et si l'on y prête pas garde, on risque de sérieuses déconvenues. Par exemple une stabilisation automatique qui passe au repos alors que les aiguilles sont très décalées ce qui pourrait laisser supposer un problème matériel dans le système de navigation.

Exercice n°1 : Afficher et modifier l'ATTITUDE TOTALE ASTRONAUTE.

Autant dire que dans cet exercice on ne va pas se prendre une migraine, on va juste faire joujou avec le DSKY et surtout tenter de faire la différence entre "Attitude totale astronaute" et la consigne d'orientation N22 pour les automatismes. Notez au passage que les aiguilles d'erreur ne font que visualiser l'écart entre consigne et réalité, que l'on manœuvre en manuel avec les RCS ou en automatique avec le programme V49. Activez **53) Tester V61 à V63.scn** dans laquelle le CSM pointe avec précision vers le Soleil pour avoir une référence visuelle précise dans l'univers. Regardez dans l'un des deux hublots latéraux sans oublier d'utiliser la touche clavier  (Et **[F1] [F1]**) pour "se placer" bien en face de l'ouverture. Le Soleil est parfaitement au centre et le vaisseau est totalement immobile. Ouvrir le document **EXPLOITE DSKY.pdf** en Page 19 dans laquelle il est fait référence à **L'ATTITUDE TOTALE ASTRONAUTE** notée "**Astronaut total attitude**" dans les documents de la NASA. C'est une orientation particulière désirée pas l'équipage et qui sera consignée dans la variable gérée par donnée N17.

- **N17 E** pour constater qu'actuellement la consigne est au "triple zéro" valeur initiale quand on démarre le calculateur de bord. On voit dans le livret que l'on peut à notre guise modifier ces paramètres de deux façons. La plus simple consiste à imposer trois angles :
- **V25 E +01111 E +02222 E +03333 E** pour saisir trois angles faciles à retenir.
- **V16 N65 E** pour brouiller l'affichage.
- **N17 E** qui nous permet de vérifier les valeurs de consigne engrangées en mémoire. Notez au passage que la numérisation binaire dans le CMC peut engendrer un écart sur le dernier digit.
- **N20 E** : Consigne qui nous permet d'établir une relation entre l'attitude actuelle mesurée par l'IMU est la sphère d'orientation sur le FDAI n°1. La copie d'écran Fig.191 ci-contre résume ce que nous obtenons sur le tableau de bord.
- **N17 E** qui réaffiche les valeurs mémorisées.
- **V60 E** : On apprend dans le manuel que cette consigne recopie les angles actuels de l'IMU dans la variable N17 qui correspond à une orientation spécifique souhaitée par les astronautes.
- **V16 N17 E** qui prouve qu'actuellement cette consigne est bien égale à l'orientation actuelle du vaisseau dans la REFSMMAT. Du reste **N20 E** ne provoque aucun changement sur le DSKY.



Exercice n°2 : Orienter dans la REFSMMAT en utilisant l'A. T. A.

L'exercice précédent avait pour but de nous montrer comment afficher et surtout comment modifier une attitude de consigne particulière en vue d'effectuer une manœuvre particulière. Dans notre cas nous avons mémorisé l'orientation actuelle pour y revenir. Les manipulations qui suivent ont pour objet de nous montrer l'intérêt de cette possibilité. En préambule, faites afficher les étoiles de référence.

- Vérifiez avec **/num** que les RCS sont bien en mode ROTATION. Passer bien en face du hublot de gauche. Orientez en manuel de façon à centrer parfaitement l'étoile **Menkent (30)**. Attention, si vous lambinez à outrance, le Soleil risque de se trouver masqué par la Terre. Dans ce cas rechargez la situation et refaire sans trainer les petites manipulations précédentes. L'étoile que nous cherchons est hors champ vers la gauche et vers le haut. Engendrez une orientation qui provoque dans le hublot un déplacement du ciel d'environ 45° et vous allez rapidement voir apparaître notre cible. Le FDAI de droite est disponible, donc **Page 204** on peut mémoriser cette nouvelle orientation par utilisation du bouton **1 pb : GDC ALIGN**.

- **V63 E** est la commande qui affiche sur le FDAI n°1 l'écart entre N17 et N20, autrement dit entre l'orientation actuelle du vaisseau dans la REFSMMAT et la consigne ATTITUDE TOTALE ASTRONAUTE.
- 1 : [FDAI] sw **SCALE ERR RATE** placé sur **50I15** pour ne plus avoir les trois aiguilles en butée.
- Avec les RCS orienter manuellement le vaisseau en "courant vers les aiguilles" pour les centrer globalement.
- 1 : [FDAI] sw **SCALE ERR RATE** placé sur **5I1** pour avoir le maximum de sensibilité.
- Avec le RHC orienter le vaisseau et centrer parfaitement les trois aiguilles de tendance.
- Repasser bien en face du hublot d'accostage. Le Soleil est parfaitement centré.
- Toujours avec les RCS réorienter le vaisseau, mais cette fois pour retrouver le "triple zéro" sur le FDAI n°2. Revenir en observation du hublot d'écouille. **Menkent (30)** est de nouveau bien au centre.



NOTE : Ces deux exercices nous ont montré qu'il est possible avec les moyens du bord de pouvoir mémoriser deux orientations particulières dans la REFSMMAT et de pouvoir ainsi facilement alterner l'attitude du vaisseau entre ces deux dernières.

Exercice n°3 : Orienter dans la REFSMMAT en utilisant la consigne N22.

Pour cet exercice l'information pertinente est dans **EXPLOITE DSKY.pdf** au centre de la [Page 19](#). Nous avons déjà utilisé à plusieurs reprises la variable N22 lors des orientations en mode automatique avec le programme V49. Mais il est tout à fait possible de consigner l'attitude désirée hors de V49. Réutilisons le clavier du DSKY pour indiquer les "coordonnées" du Soleil :

- **V16 N22 E** pour afficher la consigne actuelle.
- **V25 E +18203 E +06357 E +03958 E** pour définir l'attitude de pointage du Soleil.
- **V62 E** est la commande qui affiche sur le FDAI n°1 l'écart entre N22 et N20, autrement dit entre l'orientation actuelle du vaisseau dans la REFSMMAT et la consigne pour le programme V49.
- 1 : [FDAI] sw **SCALE ERR RATE** placé sur **50I15** pour ne plus avoir les trois aiguilles en butée.
- Avec les RCS orienter le vaisseau en "poursuivant les aiguilles" pour les centrer approximativement.
- 1 : [FDAI] sw **SCALE ERR RATE** placé sur **5I1** pour retrouver le maximum de sensibilité.
- Avec les RCS orienter le vaisseau et centrer parfaitement les trois aiguilles de tendance.
- Repasser bien en face du hublot de gauche. Le Soleil est à nouveau bien au centre.

Exercice n°4 : Orienter avec V49 perturbé par V62.

Commencez par légèrement dégrader notre attitude, par exemple décalez un peu en roulis pour avoir une déviation bien visible sur l'aiguille du FDAI. Puis, comme vous avez appris à le faire, engagez la procédure d'orientation automatique avec V49 en vous aidant du manuel de vol. Comme on veut retrouver le centrage du Soleil, mais en automatique cette fois, il ne sera pas nécessaire de modifier les consignes d'attitude qui correspondent à notre cible actuelle. Dès que vous validez la manœuvre les RCS reprennent du service et avec discipline le vaisseau est réorienté vers le Soleil par le DAP. Attendre que l'orientation correcte soit achevée, les trois aiguilles sont bien centrées.

- **V63 E** qui impose d'afficher l'erreur par rapport à la consigne ATTITUDE TOTALE ASTRONAUTE.

Bien que le vaisseau soit correctement orienté par les automatismes, les aiguilles se décalent.

CONCLUSION : Ne pas oublier V62E quand la procédure automatique est en cours.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- L'ATTITUDE TOTALE ASTRONAUTE peut être définie librement par l'équipage et permet de mémoriser une attitude particulière consignée dans N17.
- N22 permet de définir une attitude spécifique pour le programme V49.
- V63 impose au FDAI n°1 d'afficher l'écart entre l'orientation actuelle et celle définie dans la variable N17 de ATTITUDE TOTALE ASTRONAUTE.
- V62 impose au FDAI n°1 d'afficher l'écart entre l'orientation actuelle et celle définie dans la variable N22 utilisée par les automatismes gérés par V49.

NOTE : Nous avons déjà souvent utilisé le FDAI n°2 pour mémoriser une attitude particulière. Mais notez au passage que l'utilisation de N17 avec V63 est plus précise car les systèmes d'Apollo sont précis au centième de degré, alors que l'observation de la sphère d'attitude impose des limites "visuelles" amoindries entre autre par la définition de l'écran vidéo.

Changement de REFSMMAT pour éviter un blocage de l'IMU :

Revenons un peu en arrière. Quand vous avez lu les informations vers le centre de la page 55 du fichier **TECHNOLOGIE 2.pdf**, il était précisé : *"Au cours d'un vol Apollo, en fonction du moment, on utilisera divers repères REFSMMAT ..."*. En page 89 du tutoriel, nous avons laissé en suspend l'éventualité de se voir confronté à une obligation de changement de REFSMMAT. Nous avons alors provisoirement éludé ce cas le repoussant à plus tard. Le moment me semble tout indiqué d'y revenir. L'une des raisons les plus courantes obligeant à modifier l'orientation de la référence IMU découle d'une manœuvre qui par orientation engendrerait un alignement des cardans avec toutes les conséquences qui en découlent. Ce chapitre a pour vocation de nous prouver que la parade n'a rien de vraiment compliqué. Pour illustrer ce propos nous allons supposer que pour une raison quelconque il faille orienter le vaisseau vers une "cible" qui aboutirait au blocage tant redouté de la centrale inertielle. La situation spécifique **54) Tester le changement de REFSMMAT.scn** va servir de support à nos expériences. Dans les deux exercices proposés il faudra visualiser les étoiles de référence. (Page 43 de **EXPLOITE DSKY.pdf**)

Contexte : Durant chaque mission Apollo un certain nombre d'expériences n'imposant pas des matériels volumineux étaient réalisées par les équipage, la NASA désirant profiter au maximum de l'opportunité que présentait la présence d'humains en orbite basse ou loin de la Terre.

- *Houston pour 205 c'est le moment de réaliser l'expérience unité trois.*
- *OK Houston, on va installer la tête du spectrographe sur le collimateur d'accostage.*
- *Parfait, vous allez enregistrer la colorimétrie de la référence Navi, étoile zéro trois dans la liste.*
- *Bien noté Houston, on va collimater Navi pour cette nouvelle mesure.*
- *Dans votre REFSMMAT actuelle vous la trouverez à la relative zéro pour le roulis, à plus cinq pour le cabrage et à plus trente pour le lacet, FDAI n°2 au triple zéro.*
- *C'est noté Houston on vous fais ça illico.*
- *Négatif 205 vous devez caler un offset à 330 en lacet ou vous bloquerez votre IMU.*
- *Merci du renseignement Houston on calera 330 en lacet sur l'IMU.*

C'est bien gentil ce jargon de spécialiste, mais quelques explications s'imposent pour nous simples mortels. Vous avez certainement compris que l'expérience consiste à orienter le vaisseau de façon à placer l'étoile de référence n°3 nommée **Navi** en plein centre du collimateur d'accostage qui pour cette expérience sera donc mis à poste. Puis vaisseau immobilisé dans cette orientation l'équipage enlève la tête du collimateur et la remplace par un petit appareil expérimental. Clic sur un bouton toujours rouge dans les films de S.F, et l'électronique de ce dispositif enregistre des mesures qui seront dépouillées en différé. Quand on se trouve entièrement enfermé dans un vaisseau de type Apollo, rien n'est plus difficile que de se situer dans l'espace en regardant par

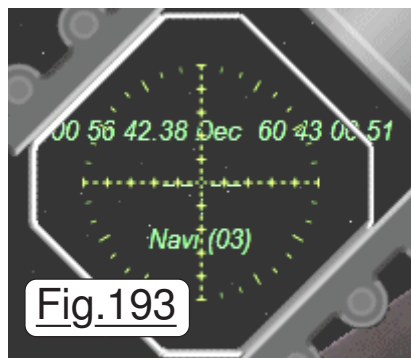


Fig.193

les ouvertures trop petites du CM. Et vous, seriez-vous capable de trouver **Navi** en sortant de chez vous et en disposant d'un champ visuel de 180 stéradians ? Donc pour faciliter la recherche, les ingénieurs de la NASA ont calculé l'attitude que devra présenter le FDAI à partir d'un "triple zéro" dans l'orientation actuelle. La Fig.192 montre ce que devra indiquer le FDAI pour dégrossir l'orientation du vaisseau. Ensuite on affinera avec le collimateur d'accostage la Fig.193 montrant ce que nous obtiendrons. Et bien nous allons commencer par cette première étape et oublier l'avertissement relatif à l'alignement des cardans de l'IMU.

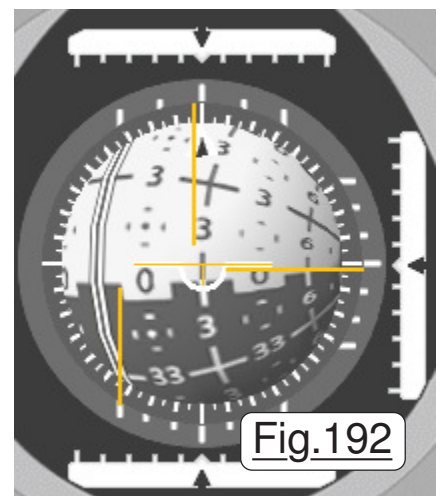


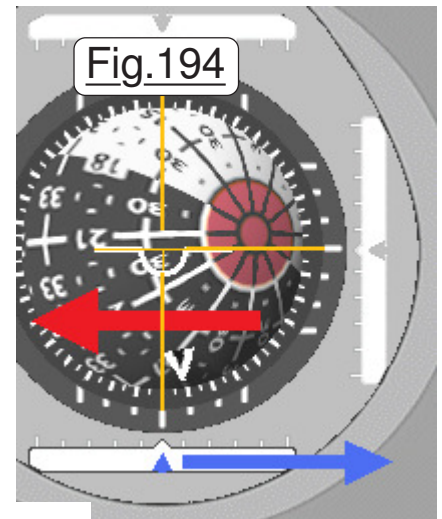
Fig.192

Exercice n°1 : Vérifier que le pointage désiré converge vers un alignement des cardans.

Dans ce premier exercice nous allons procéder à l'orientation précise du vaisseau vers **Navi** sans modifier la REFSMMAT. Logiquement, les ingénieurs de la NASA n'étant pas des demeurés, on va se bloquer gentiment l'IMU. Rassurez-vous, Popol accepte cette entorse à la logique habituelle car cette procédure fait partie des manipulations prévues dans la formation. (Ouffff!)

Pour commencer **on ne visualise PAS les étoiles de référence.**

C'est parti. On n'oublie pas de passer les RCS en mode rotation. Un petit clic sur **GDC ALIGN** afin de recalibrer parfaitement la sphère du FDAI n°2. La Fig.194 montre l'attitude de l'IMU pour l'orientation actuelle du CSM. Comme on va tourner vers la droite dans le sens de la flèche bleue pour trouver notre cible, réciproquement la sphère d'attitude va tourner en sens inverse dans le sens de la flèche rouge. Inexorablement le cercle rouge va s'approcher du centre de l'alidade jusqu'à s'immobiliser lorsque l'alignement des cardans sera détecté.



Conformément aux instructions reçues du sol on décale vers le haut pour cabrer à $+5^\circ$ en relatif. (*Orientation relative par rapport à la REFSMMAT actuelle évaluée par décalage du "triple zéro"*) Puis lacet vers la droite de trente degrés. Vers 10° de changement d'orientation **GIMBAL LOCK** et **MASTER ALARM** s'allument. En situation réelle le pilote bondirait sur **URGENCES.pdf**, la couverture indique en rouge la **Page 08**

dans la table des matières qu'il faut sauter à **Stopper en urgence une rotation en mode automatique** ... et ce serait du temps perdu ... puisque nous ne sommes pas en orientation automatique ! Il suffirait de stopper la rotation en lacet et nous éviterions **NO ATT**. Mais laissons faire et amenons l'avant du vaisseau aux 30° suggérés par la NASA. Stopper toutes les rotations et vaisseau orienté conformément à ce que montre la Fig.192, mettre à poste le collimateur d'accostage. En principe **Navi** vous fait coucou. Vous l'avez immédiatement reconnue, néanmoins vous pouvez maintenant faire afficher les jalons des étoiles de référence. Vous constatez à quel point il est délicat de trouver dans le ciel un objet quelconque et l'importance de pouvoir utiliser la REFSMMAT pour nous orienter, que ce soit en mode automatique ou en procédure manuelle. Il importe surtout de préserver continuellement "l'intégrité" de la REFSMMAT :

Exercice n°2 : Changer de REFSMMAT avant de réaliser une manœuvre.

Ouvrez le manuel **EXPLOITATION DU CMC / DSKY** à la **Page 40** et suivez studieusement la check-lists qui y figure. On va par cette procédure modifier l'orientation actuelle de la plateforme inertielle sans pour autant faire perdre le nord au calculateur de bord. Il nous faut repartir de la situation **54) Tester le changement de REFSMMAT.scn** pour retrouver une IMU en bonne santé. Vous pouvez aussi faire réafficher les étoiles de référence, cliquer fébrilement sur **GDC ALIGN** sans oublier la commande / **num** pour confirmer le mode rotation. Passons au changement de REFSMMAT :

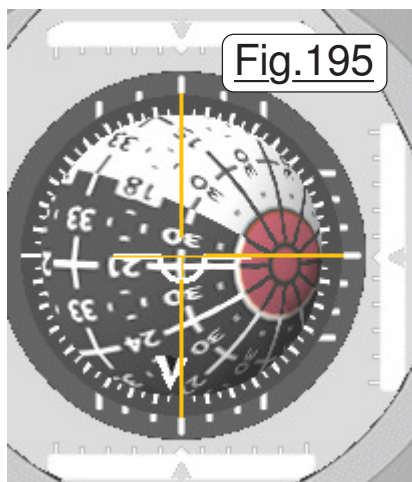
V16 N 20 E P00 V16 N20 (Pour afficher la valeurs des angles actuels de l'IMU)
 $+189.39$ (R1 : OG Roulis en degrés x 100) On va proposer 180° valeur "ronde".
 $+218.43$ (R2 : IG Cabrage en degrés x 100) On va imposer 210° valeur "ronde".
 $+295.87$ (R3 : MG Lacet en degrés x 100)

Pour le lacet nous allons saisir 330° valeur qui écartera le danger de blocage d'environ 35° .

V41 E N 20 E P00 V21 N22
 $+18000$ E $+21000$ E $+33000$ @

E >>> La sphère se positionne et "le danger s'éloigne". **NO ATT** s'illumine et si l'on engendrait des rotations avec les RCS à cette phase de la séquence on constaterait que le FDAI n°1 reste figé en position.

V42 E P00 V21 N93 À ce stade de la procédure il faut indiquer trois angles de correction. Mais comme en ligne @ de la séquence nous avons saisi trois valeurs satisfaisantes il faudrait indiquer trois fois **+00000**. Valider directement avec **E** à vide revient au même, R1, R2 et R3 ne contenant que des zéros : **E E E P00 V42 >>>** **NO ATT** se fait oublier et la navigation électronique reprend du service. Nous pouvons continuer nos activités.



V16 N 20 E

(Permet de vérifier la conformité de numérisation des capteurs de l'IMU)

Nous pouvons en toute quiétude réorienter le vaisseau et centrer parfaitement notre cible dans le collimateur. Procédez exactement comme pour l'exercice n°1 en utilisant le FDAI n°2 puis centrez finement **Navi** dans la croisée du réticule. La Fig.195 montre qu'en fin de manœuvre la sphère de l'IMU dans la nouvelle REFSMMAT est orientée loin de la zone rouge. L'anticipation a effectivement évité l'alignement des cardans. **Page 207**

La base de la Tranquillité le retour :

Narf narf narf, pas moyen d'être tranquille avec notre Bétatesteur Patrice. (*L'individu susnommé PAPPY 2 sur le site de DAN*) Figurez-vous qu'il vient de me prévenir avec insolence qu'il aurait été sage de consulter le fichier **Read me.txt** du complément dont je vous propose péremptoirement et avec une compétence incontestable l'installation en page 101 du tutoriel. Ben ... j'aurais bien fait !

En effet, contrairement à votre narrateur, quand l'individu sus-dessus-ci-nommé installe un complément, visiblement il fait preuve de bien plus de rigueur que Nulentout, et je me dois ici de présenter toutes mes excuses aux auteurs de ce très beau complément dont j'ai significativement dégradé la beauté en page 101 du tutoriel. Comme j'en étais à la page 190 quand Patrice m'a informé de cette bévue, il n'était plus question de tout chambouler, raison pour laquelle j'ai laissé l'exercice en l'état et préfère vous proposer une deuxième version de ces manipulations au demeurant très intéressantes.

Reprenons l'installation du beau complément **TranBase_A11.zip**, la technique donnée en page 101 restant entièrement valide. Mais comme me le fait remarquer Patrice, si on consulte le fichier **Tranquility Base Read me.txt**, l'auteur du complément précise, bien en évidence, qu'il faut ajouter la ligne **DIR Moon\Base\Tranquility Base A11** dans le fichier **Moon.cfg** avec un quelconque logiciel de traitement de texte élémentaire. Toutefois deux petites nuances s'imposent. Il faut en premier modifier un fichier **Moon.cfg**, mais pas celui d'origine qui se trouve dans le dossier **<C:\ORBITER NASSP\Config>** d'Orbiter. Il faut aller dans le sous-dossier **<C:\ORBITER NASSP\Config\ProjectApollo>** et vous y trouvez le fichier qu'il convient de corriger. La deuxième difficulté réside dans le fait que ce fichier est probablement en attribut ☒ **Lecture seule** qu'il faut décocher. Pour ceux qui ne savent pas comment s'y prendre c'est facile : **BDS** sur le nom de fichier **Moon.cfg** quand on est dans l'explorateur, puis **Propriétés** et enfin décocher l'attribut ☐ **Lecture seule**. Pour terminer notre modification il suffit d'ajouter la ligne rouge dans le chapitre représenté ici en bleu :

BEGIN_SURFBASE

ProjectApollo\Tranquillity: +23.4333 +0.6875

; Procellarum: -23.4193 -3.0138

ProjectApollo\FraMauro: -17.4713 -3.6454

; Hadley: +3.63400 +26.13224

; Descartes: +15.49859 -8.97341

; tauruslittrow: +30.7748 +20.1881

; Marius_Hills: -55.56052 +14.24594

; Copernicus: -20.0454 9.84652

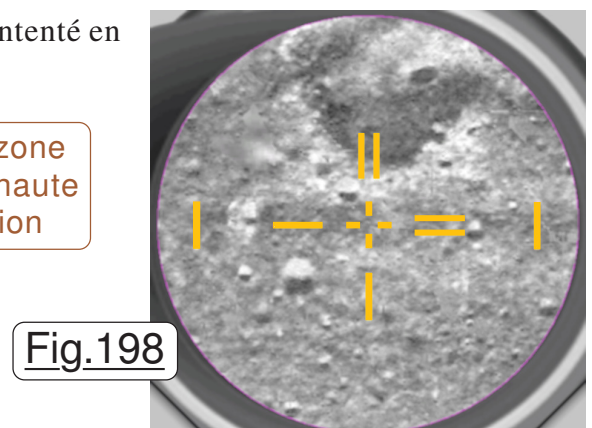
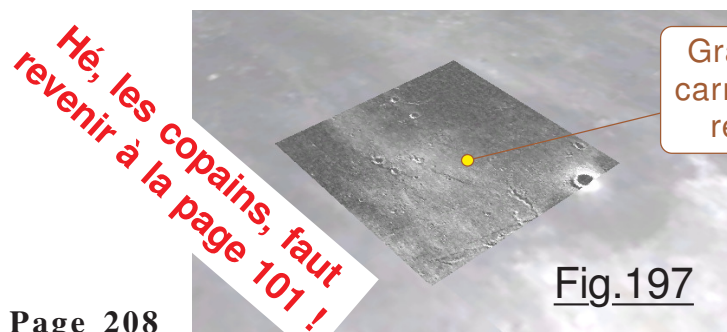
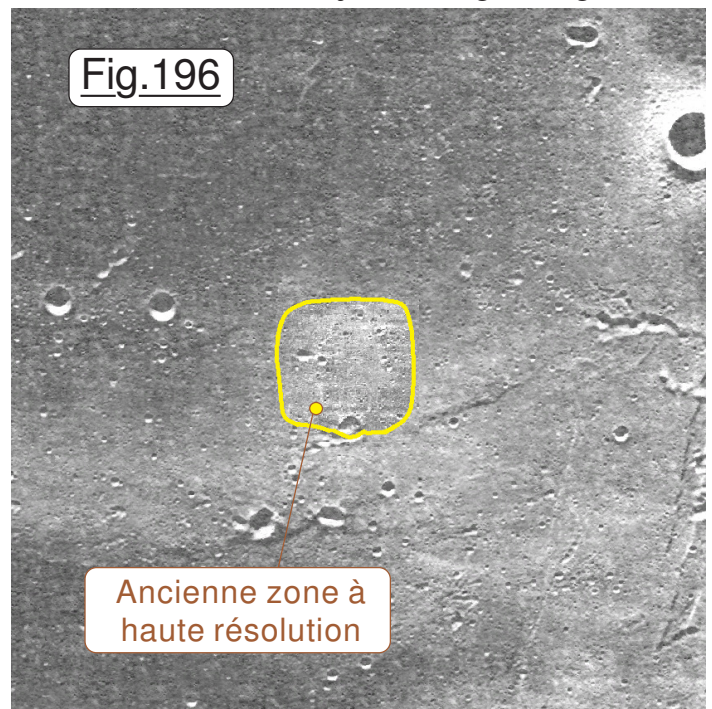
DIR Moon\Base\Tranquility Base A11

END_SURFBASE

Sauvegardez le fichier et l'affaire est entendue.

La Fig.197 montre que maintenant la zone qui se détache du sol lunaire "standard" est carrée. Mais surtout elle est bien plus étendue et en haute définition. La Fig.196 montre dans ce grand carré détourné en jaune où se situe la "pastille" de la Fig.83 et la Fig.198 affiche le résultat dans le SEXTANT.

C'est autrement plus beau que le cyclope dont je me suis contenté en page 101 vous ne trouvez-pas?





Non, c'est vraiment plus possible, je suis à l'agonie. Et il péroré ce Nulentout, et dans ces tutos il conseille à tous de bien tout lire, de consacrer du temps aux "READ-ME.txt", même qu'il ajoute souvent que si les programmeurs ont donné de leur temps pour rédiger ces fichiers, il relevait de notre devoir d'aller les consulter. L'est vraiment NUL ce NULENTOUT, je ne le veux plus dans mon équipe, sortez immédiatement ce clown des locaux de la NASA !!!

Sans vouloir paraître pessimiste, j'ai comme un petit coup de blues en ce moment, une sorte de mélancolie inexplicable. Une vague faiblesse passagère qui prend sa source dans l'infini intangible des chakras croisés d'une tristesse fugitive et vaporeuse.



Utiliser P52 pour orienter le vaisseau dans le plan orbital :

ORDEAL dont nous avons abordé l'usage en page 150 de ce tutoriel impose d'avoir le plan de symétrie du vaisseau confondu avec le plan orbital. Ce n'est pas le seul client pour cette attitude du reste. La stabilisation d'une zone observée au sol dans les télescopes est aussi très désirable d'une telle orientation. Nous pouvons placer le vaisseau dans ce type de posture en utilisant les références extérieures comme déjà abordé dans les exercices des pages 92 et 93, mais il est également possible de s'aider des systèmes de navigation pour y parvenir. Le programme P52 permet de placer le plan de symétrie du vaisseau dans le plan orbital, avec pour avantage d'anticiper, c'est à dire d'orienter avant de se trouver sur zone. Pour tester cette facette du pilotage, nous allons utiliser la scène **55) Tester Alignement du GDC dans le plan orbital.scn** qui nous place en orbite terrestre basse, le vaisseau étant dans une orientation assez quelconque. Si vous passez en vue extérieure, vous pouvez vérifier qu'il se déplace en crabe par rapport au sol. L'heure locale avoisine **003 07 55** et sous le CSM il n'y a que de l'eau. On ouvre le manuel **EXPLOITE DSKY.pdf** en **Page 11** en bas de laquelle se trouve la procédure NASA. On peut se demander pourquoi passer sur le FDAI n°1 pour revenir immédiatement sur le n°2 : Technique simple pour tester rapidement la fiabilité de ces deux instruments.

Bien que la procédure dans le manuel est donnée pour orienter en temps réel, nous allons anticiper, ainsi le vaisseau sera déjà en bonne attitude quand on arrivera dans les parages de la zone que l'on désire observer au sol. En l'occurrence le continent américain. Par exemple on indiquera pour les calculs un GET de 003:11:30. Au travail :

V34 E V37 E 00 E

Ayant programmé cette consigne dès l'ouverture du scénario, il faut attendre **003 08 36** pour que **COMP ACTY** s'éteigne et que le CMC soit disponible.

V37 E 52 E P52 V04 N06

P pour valider l'option 2 par défaut. ($R2 = 00002$)

>>> P52 V06 N34

($R1, R2$ et $R3$ pour l'heure du calcul sont à +00000)

V 25 E +00003 E +00011 E +03000 E

P pour valider l'heure indiquée.

>>> P52 V06 N22

+000.20

+193.36

+057.94

Angles BMAG dans la
REFSMMAT pour orienter

Ajustement des molettes pour
 $0,2^\circ / 193,4^\circ / 57,9^\circ$



- Ajuster les trois molettes de 1 : **tw ATTITUDE SET ROLL, PITCH** et **YAW** pour les valeurs affichées sur R1, R2 et R3 du DSKY. Penser aussi qu'avec le **BDS** on modifie par dixièmes de degrés.
- 1 : **[FDAI] sw SELECT** sur 1 et 1 : **sw ATT SET** sur **GDC**.
- 1 : **pb GDC ALIGN** pour orientation du gyroscope. (Voir Fig.199)
- 1 : **[FDAI] sw SELECT** sur 1/2.
- Orienter le vaisseau pour obtenir un "triple zéro".

(Personnellement quand j'ai fini d'orienter j'ai dépassé l'heure d'une minute ce qui est sans importance)

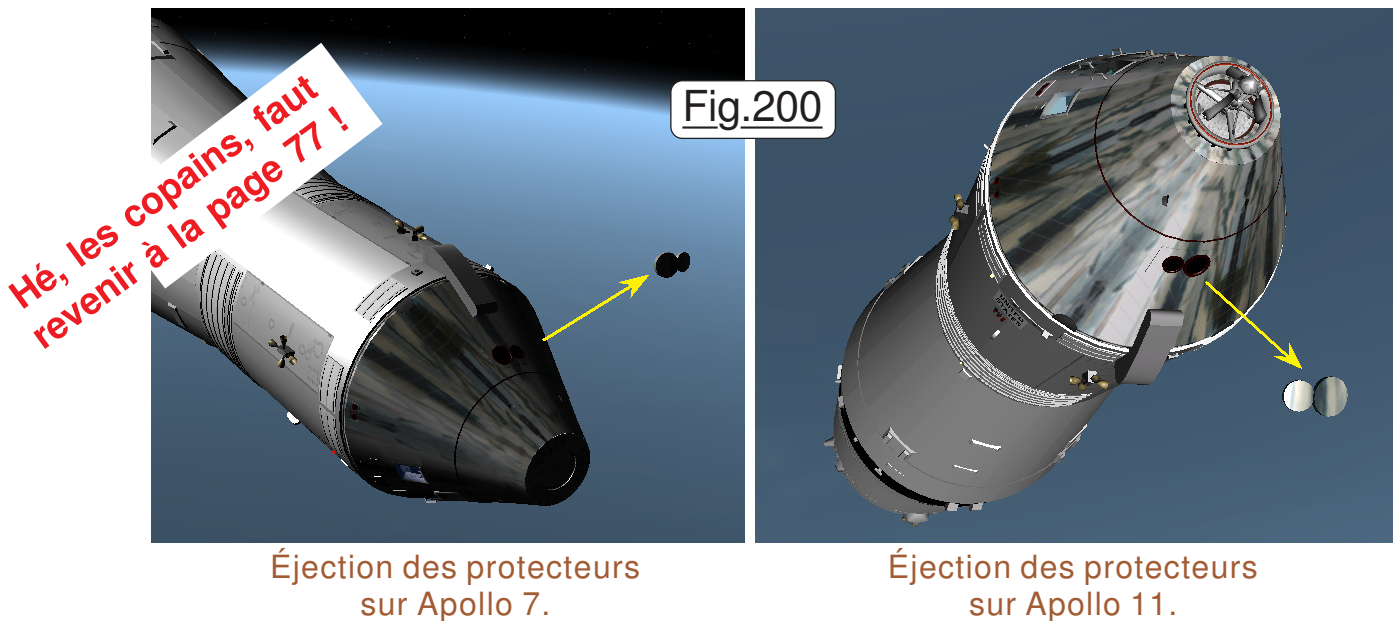
Passez en vue extérieure : Le vaisseau est bien orienté en PRO GRADE, le sol défile le long de son plan de symétrie. L'attitude est propice à l'observation du sol par le truchement des optiques de bord. Touche clavier **Z** pour pointer vers le haut une fois avoir fait une remise à zéro. Le sol défile parfaitement verticalement dans le champ visuel du TELESCOPE confirmant une coplanarité parfaite.

N'oubliez-pas d'effectuer un **V37 E 00 E P00**.

Raison de plus pour prendre toutes les précautions indispensables visant à ne pas abimer les mirettes, ou sous une autre forme : **Protéger les optiques de bord durant le lancement.** À ce stade de notre formation nous sommes parfaitement conscients de l'importance vitale du SEXTANT et du TÉLESCOPE. Sans ces deux précieux dispositifs on peut renoncer à la mission, car il serait totalement immature de s'élancer vers la Lune sans avoir la possibilité de recalcr la centrale inertielle. Comme vous pouvez le constater, les ouvertures de ces deux instruments se trouvent vers l'avant et durant la mise en orbite, une fois que la tour de sauvegarde a été éjectée, emmenant avec elle le cône de protection, les objectifs seraient très vulnérables à la moindre impureté "venant les frapper", alors que la fusée est largement en vitesse supersonique. Les ouvertures des deux tunnels des optiques sont donc obturées et bien protégées. Il importe donc, avant toute tentative d'utiliser les optiques de bord, d'éjecter ces couvercles.

Non, inutile de vous précipiter pour activer les pyrotechniques ... autant loger un bâton de dynamite directement dans les manchons de centrage des oculaires ! Le système d'éjection des obturateurs est purement mécanique pour ne pas risquer un fifrelin de salissure sur les objectifs. Certains vont se demander pourquoi avoir placé en fin de tutoriel ce chapitre, alors que logiquement il devrait précéder tous les apprentissages relatifs aux points astronomiques. Tout simplement parce-que cette "nouveau" fonctionnelle dans NASSP n'était pas présente dans les versions que j'utilisais il y a plus d'un an. Du coup, alors que tout était "terminé" il a fallu ajouter cette page, mais en la situant à la fin du didacticiel ce n'est pas très pénalisant. Par contre les check-lists d'Apollo 7 et d'Apollo 8 ont été impérativement complétées et la procédure spécifique ajoutée dans **EXPLOITE DSKY.pdf** en **Page 43**.

Pour expérimenter cette fonctionnalité incontournable, nous pouvons simplifier les exercices. Pas la peine d'attendre l'heure prévue dans le plan de vol pour tester l'éjection des masques optiques. On peut se contenter de charger une situation dans laquelle cette option est possible, facilité d'autant plus incitative que le dispositif n'est pas sécurisé par des obligations d'avoir séparé le CSM du S IV-B. C'est assez compréhensible, car l'étage de mise en orbite n'est pas gênant, et l'on peut ainsi vérifier le matériel et effectuer un recalage inertiel alors que le CSM est toujours solidaire du lanceur. Pour Apollo 7 la scène **22) Apollo 7 pour Tester P52.scn** convient parfaitement. Pour la mission de débarquement lunaire **09) Apollo 11 en fin de lancement.scn** s'avère tout à fait crédible. Comme montré sur la Fig.200 quand on passe en vue extérieure on observe bien la dérive des deux couvercles, anoblis au grade de nouveaux détritcos cosmiques. Avouez que ce petit exercice est franchement récréatif, il suffit de respecter les quatre items de **Démasquer les optiques de bord** en **Page 43** du livret **EXPLOITE DSKY.pdf**.



Et ça continue, et que ça me balance des détritcos partout, des pétales de protection du LM, des myriades de scories dans toutes les directions, des résidus pyrotechnique à qui mieux mieux, des couvercles de gamelles. C'est plus une trajectoire, ni une orbite, c'est une décharge publique immonde, et pas un seul clampin pour ramasser !



PRÉPARATION ET LANCEMENT D'APOLLO 7 :

Votre formation à la NASA est terminée. Votre carnet personnel d'astronaute est complet. Toutes les cases ont été cochées par le chef instructeur. *(Qui vous savez)* Vous pouvez désormais arborer avec fierté votre tenu d'astronaute personnifiée avec brodé bien en vue le logo du prochain vol, car vous êtes sélectionné pour ce décollage. Le chemin n'était pas facile et encombré de nombreuses embuches. Félicitations, vous avez fait preuve de ténacité, et actuellement vous vous montrez capables de faire face. Les deux autres copains peuvent compter sur vous. Bravo ! Pour ce chapitre nous incarnons Schirra, Eisele ou Cunningham et nous nous installons à bord de la capsule pour cette mission AS205 qui conditionnera définitivement la suite du programme Apollo. C'est le tout premier vol habité à bord d'un CSM-101, la deuxième génération du vaisseau. Suite à l'incendie d'Apollo 1, de très nombreuses modifications ont en principe rendu le CM "fiable" ... mais il reste à le démontrer. Le souvenir de White, Chaffee et Grissom imprègne le cockpit. Apollo 7 n'emporte que le CSM, raison pour laquelle l'utilisation de la gigantesque Saturn V n'est pas nécessaire. Apollo 7 sera donc la seule mission habitée du programme à utiliser la Saturn I-B. L'une des premières manœuvres de la mission consiste en une simulation de l'arrimage avec le module lunaire. Apollo 7 n'emportant pas de LM, le dernier étage de la fusée S-IVB est équipé d'une "cible", représentant la zone de docking avec un dispositif d'approche et d'orientation relative. *(Cible fictive conforme à celle du LM)* De nombreux tests sont prévus pour cette mission comme la mise à feu à plusieurs reprises du SPS qui doit prouver sa fiabilité. Il sera sollicité pour que le CSM change de plan orbital, s'éloigner de la Terre pour se placer sur des orbites plus hautes. Le CMC aussi doit faire ses preuves, avec à la clef des tests de réalignement de l'IMU en utilisant les optiques de bord. Bref, un emploi du temps bien chargé. Le décollage sera réalisé depuis le pas de tir 34 adapté au lancement des Saturn IB. La fusée débute son ascension le 11 octobre 1968 à 15:02:45 TU.

Vous êtes en droit de vous interroger sur la pertinence d'un chapitre de plus sur les lancements alors que déjà plusieurs exercices ont été traités sur le sujet. Il est vrai qu'en page 62 nous avons lancé, mais avec abandons de mission. Dans le chapitre [EXERCICE SUR LES LANCEMENTS](#) en page 74, toujours avec Apollo 11, nous sommes à vingt secondes de l'allumage et seule la montée est commentée. Pour varier, nous allons décoller avec Apollo 7 et surtout prendre en charge le PRÉLANCEMENT check-list en main. Enfin, il m'a semblé que terminer ce très long tutoriel par un "départ pour de vrai" serait une façon bien agréable de "couper le fil de l'instruction et de l'apprentissage". La récompense, le dessert tant convoité.

Le contexte historique c'est pas mal, mais l'action c'est plus immersif ! Sans plus attendre chargeons la scène **00) Vaisseau COLD and DARK.scn** qui nous place à quatre heures quarante minutes du lancement. Globalement la fusée est fin prête, mais la machinerie est encore à l'état inerte. Il faut commencer par vérifier la configuration sans danger du CSM, établir la distribution des énergies électriques et conditionner la climatisation. C'est l'équipage de secours composé de Stafford, John Young, et Eugene Cernan qui se trouve à bord. Comme l'écouille est ouverte, NASSP prend en compte le fait que l'équipage ne respire pas les ressources du vaisseau. C'est la raison pour laquelle **Project Apollo MFD** par sa commande **ECS** affiche **Crew number: 0**. Mais attention, à GET -2h 40min l'équipage passe "automatiquement" à bord, et NASSP considère alors que ses membres respirent l'air du CM. Pour nous prévenir **Project Apollo MFD** affiche alors **Crew number: 3**. Si l'air conditionné n'est pas correctement configuré le pourcentage de CO2 va lentement augmenter dans l'habitacle. Si l'écran de **Project Apollo MFD** > **ECS** n'est pas affiché et que l'on ne surveille pas 2 : **vv PART PRESS CO2** la mort de l'équipage est inexorable, même si l'écouille est ouverte. Les événements se déroulent conformément au tableau ci-contre, pendant que sereinement et sans se douter de rien on titille les inverseurs et les commutateurs de bord, le nez trop dans le manuel. D'un seul coup c'est le Klaxon qui hurle à la

GET	Équipage	Valeur CO2	REMARQUE
-2:39:59	OK	0	
-2:28:30	OK	9 mm HG	Début de zone orange
-2:26:00	CRITICAL	10 mm HG	
-2:21:20	CRITICAL	14.5 mm HG	Fin de zone orange
-2:01:00	CRITICAL	30 mm HG	Butée haute
-1:56:00	DEAD	30 mm HG	Trop tard !!!

mort. Dommage ! Il importera en conséquences de bien prendre en compte la check-list surtout si le tableau des alarmes n'est pas activé. Dans cette dernière vous pouvez voir en page 9 du manuel que la pressurisation des scaphandres est

mise en service rapidement après la pénétration de l'équipage dans le CM. Globalement il n'y a pas grand chose à dire sur la préparation du lanceur. On réalise ligne à ligne les items, on saute de manuel en livret et de sous-tableau en sous-tableau. C'est assez long, presque fastidieux. Mais c'est du "véritable". Il importe de soigner avec attention chaque intervention, car tôt ou tard toute erreur sera sanctionnée.

Action par action on réveille un à un les nombreux systèmes, les ingénieurs ayant ordonnancé le total pour prendre en compte tous les problèmes possibles. Par exemple en haut de la page 8 on trouve :

- 7 : [BMAG PWR] les deux sw sur ON attendre 20 secondes.

Ce délai est prévu pour laisser le temps aux gyroscopes de se stabiliser à leur vitesse de rotation et en attitude avant d'engager le couplage des systèmes FDAI complexes et relativement fragiles.

- 7 : sw LOGIC sur POWER 2/3 etc

Une bonne approche consiste, à chaque clic de souris, de chercher à comprendre exactement le pourquoi de l'action et les raisons de sa présence à cet endroit dans la check-list. Ce n'est pas toujours évident, mais lentement nous nous formons par cette démarche une culture technique qui ne peut qu'être favorable à notre épanouissement d'astronaute virtuel.

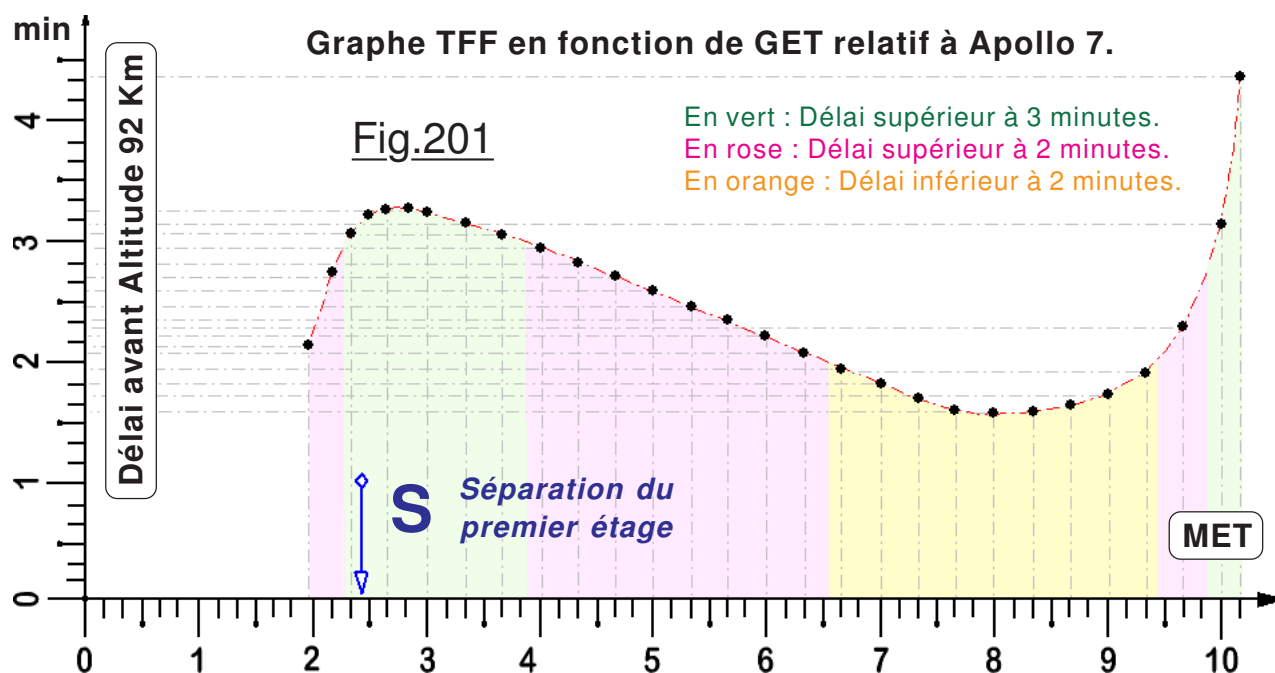
Imaginez que ce n'est pas un jeu, que vous vous trouvez réellement sanglé dans la petite boîte de conserve si inconfortable. Dans les écouteurs les voies réconfortantes de vos équipiers et de CAP COM ne sont pas suffisantes pour calmer votre excitation. Le temps passe. Clic, clic, clic, pour le moment tout est au vert. Pourvu qu'une quelconque vanne ne se bloque pas comme il y a trois jours sur la conduite 174-4B du cordon ombilical numéro deux, le tir serait reporté de 24 H. Il suffirait alors que l'un des deux autres copains se torde un poignet en tombant dans un escalier et ce serait l'équipage de secours qui ...

- Eisele ? Eisele ? Tu dors ou quoi ?

- Pardon Schirra, j'ai eu une petite absence, OK on continue page huit.

Page après page, dans cette longue litanie à couleur de ritournelle, on s'achemine vers l'heure H. Le chuintement des ventilateurs aide à créer une atmosphère sereine alors que le doux murmure des gyroscopes se fait entendre. C'est long plus de quatre heures à configurer des systèmes, c'est bien moins affriolant qu'extraire le LM ou effectuer une rentrée atmosphérique. Mais vous allez voir que plus l'heure du décollage va approcher, plus vous allez vous sentir nerveux. À quelques minutes de la mise à feu ce sera carrément l'émotion intenable, alors que pour la cinquième fois vous allez ouïr sans l'entendre et avec agacement :

- C'est l'heure de passer à table. Tu viens ou quoi ! (Haaaaa la vie de famille !!!)



Nous avons déjà considéré sur la Fig.57, page 63, que le délai pour retomber dans l'atmosphère est très faible durant presque la totalité de la mise en orbite. Si durant la montée, avec la commande **V16 N44 E**, vous observez la valeur du **TFF**, il vous sera facile de comparer sa valeur en fonction du MET sur la Fig.201 qui en donne l'évolution. On observe que c'est finalement pire avec Apollo 7 que pour Apollo 11. On constate qu'une bonne partie du lancement nous laisse moins de deux minutes avant de retrouver la fournaise

Page 212 infernale. Mais pas de consternation subite, AS 205 sera une magnifique réussite ...

LA TÊTE EN BAS EST UNE OPTION ENVISAGÉE :

Terminer notre formation par un chapitre relatif aux actions à conduire "POST LANDING" est chronologiquement facile à justifier sur le plan logique. Quasiment naturel. Mais soyons honnête, c'est par le fait que PAPPY2 à trouvé pourquoi les ballons de flottabilité ne se gonflaient pas que je me suis remis au travail et analysé les détails pas forcément évident de cette phase ultime d'une mission lunaire. Ce chapitre est donc le dernier à avoir été rédigé d'où sa place dans le tutoriel alors qu'il aurait été mieux de lui faire conclure les expérimentations sur les rentrées atmosphériques. Peu importe, passons à l'étude des actions à conduire après le grand plongeon. La phase de descente qui précède ne présente aucune difficulté, il suffit de satisfaire les items de la page 14 dans la check-list. PLOUF ... on est de retour ici bas ! Légèrement incommodés par les G subis, les mouvements désordonnés de la capsule, et par le stress qui résulte inévitablement du bruit d'écoulement de l'air autour du vaisseau et du plasma visible par les hublots, la mission n'est pas terminée jusqu'à ce que l'on mette les pieds sur le pont du navire de récupération.

Nauséux dans une cabine ballottée par les éléments, il faut terminer le travail, il y a encore pas mal de choses à faire. Probablement non prévu actuellement dans NASSP, la NASA devait impérativement envisager la situation critique dans laquelle, suite à une houle formée par un vent important ou tout facteur météo aggravant, la cabine se fasse coucher avec violence au moment de l'impact, pouvant aller jusqu'à passer cul par dessus tête. Dans tous les cas on commence par larguer les parachutes principaux, mais nous restons dans une position critique bien stable nez vers le bas . Ce n'est pas le bon moment pour ouvrir l'écotille. Ce chapitre est précisément consacré à la résolution de cet épineux problème et correspond en page 15 du manuel à la séquence mise en évidence dans le pavé rose. Notez que l'on commence par couper les radios VHF, car l'antenne étant dans l'eau le taux d'ondes stationnaire devient prohibitif et peut détruire rapidement l'étage final des émetteurs. Puis, on passe à la séquence de gonflage des ballons de flottabilités situés dans le museau.

Le principe du rétablissement du vaisseau décrit sur la Fig.202 est relativement facile à comprendre. Une vague arrivant de la droite incline le vaisseau comme montré sur le dessin. Quand les trois ballons de redressement du CM situés dans le nez sont gonflés, ils exercent sur la capsule de rentrée les poussées **F**. Ces trois efforts engendrent une résultante décalée du centre de pivotement hydrodynamique **P**. *Sans entrer dans les détails, le centre de pivotement est un intermédiaire entre le centre de gravité et le centre de carène.* *Le centre de carène est le point par lequel passe la résultante de la poussée verticale qu'exerce l'eau sur la partie immergée d'un corps quelconque.* Le décalage "latéral" de la résultante engendre le couple de redressement **C**. Pour simplifier, les ballons de redressement (*À ne pas confondre avec les ballons de flottabilité placés sous le vaisseau par les plongeurs*) ne demandent qu'à revenir à la surface.

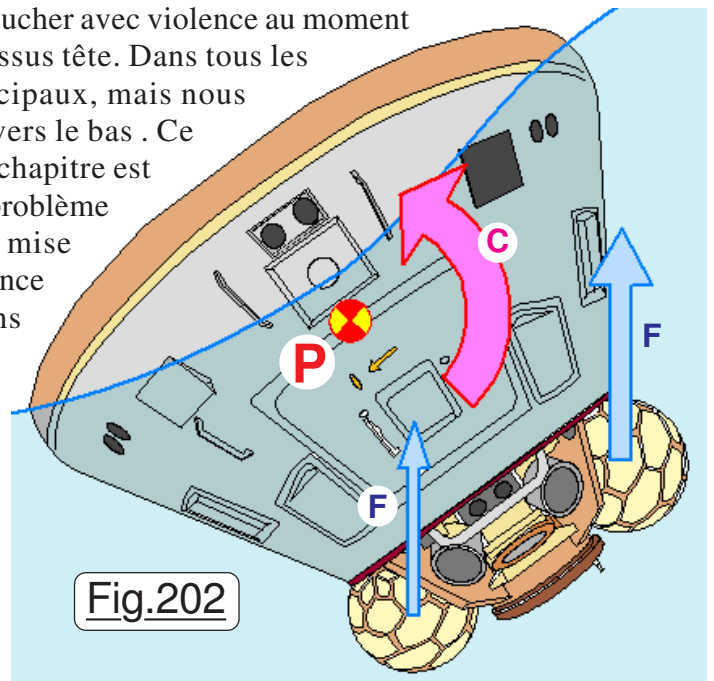


Fig.202

Considérons la Fig.203 sur laquelle le CM s'est retourné jusqu'à l'horizontale. Le centre de gravité **G** du vaisseau est décalé vers le bouclier thermique, alors que le centre de carène **C** se trouve "vers le milieu" du volume immergé représenté en bleu foncé. Le poids **P** étant décalé de la poussée d'Archimède **A**, le couple de basculement **B** permet alors au CM de retrouver une position stable, nez vers le haut. Il ne nous reste plus qu'à passer à la pratique et à gonfler les ballons de redressement. Comme le vaisseau se fait chahuter dans tous les sens, car dans l'hypothèse d'une rentrée anticipée le retour peut parfaitement se faire dans une mer relativement mauvaise, la première action consiste à sécuriser les pyrotechniques. On peut vérifier sur la Fig.204 que les quatre inverseurs **1** sont basculés en position inopérante, et leurs quatre sectionneurs **2** sont coupés. Avant d'armer les pyrotechniques des ballons de redressement du CM, on

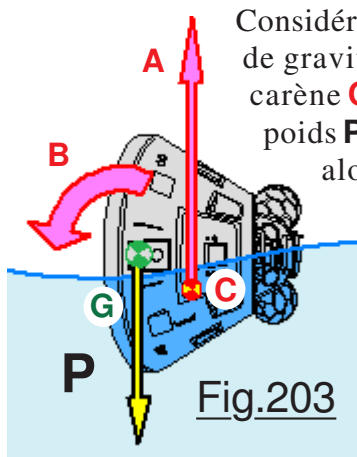


Fig.203

commence par vérifier, conformément au manuel p15, que les trois inverseurs **6, 7 et 8** sont bien coupés, c'est à dire en position centrale. Ceux qui désirent se faire plaisir avec les derniers instants de la descente en parachutes peuvent charger la situation **56) Rentrée à five hundred.scn** qui se situe juste avant l'annonce vocale des 500 pieds d'altitude. Mais c'est surtout avec **57) Juste après le Big Splash.scn** que nous allons simuler un redressement du

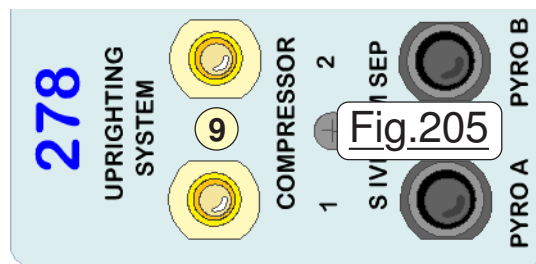
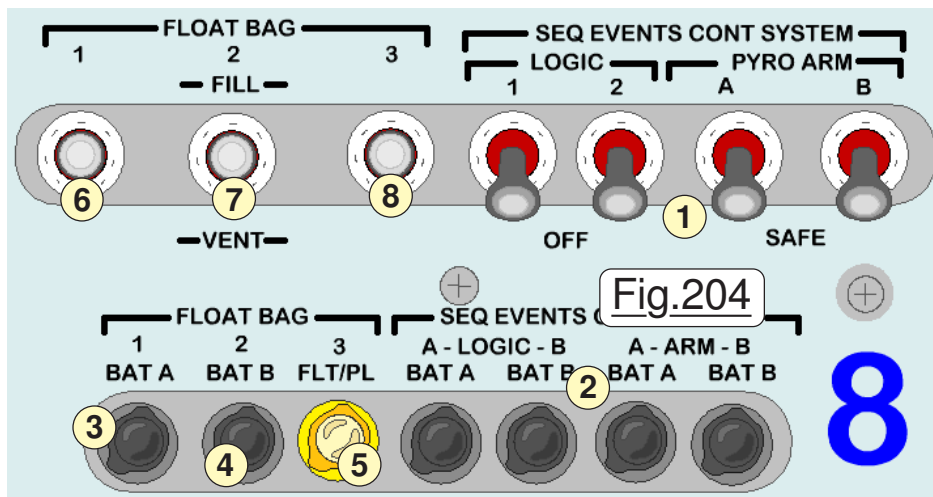
CM. (*Simuler, car le vaisseau n'est pas sens dessus dessous*)

Dans l'hypothèse ou le CM se retrouverait dans la mauvaise posture étudiée, peut être que nous sauterions l'item de la procédure concernant la réinitialisation de l'EVENT TIMER et passerions directement au largage des parachutes principaux. Vous sautez donc immédiatement sur le tableau **229** pour armer la mise à feu avec les deux sectionneurs de **[MAIN RELEASE]**, puis sur le tableau **2** pour faire sauter la sécurité et placer l'inverseur sur **MAIN REALEASE**. Notez que c'est volontairement que l'on attend d'avoir touché l'eau pour armer les sectionneurs. On enchaîne ainsi deux sécurités en cascade, car vous imaginez aisément ce qui se passerait si cet inverseur était basculé prématurément. On s'occupe sans attendre de sécuriser les pyrotechniques en remplaçant les inverseurs **1** de la Fig.204 vers le bas et en coupant les sectionneurs **2** associés. Notez au passage que seuls deux lignes sont activées dans la scène, car j'ai respecté ici les protocoles décrits dans les check de la NASA.

Vous avez certainement remarqué que le vaisseau étant le nez vers le bas, ce sont les harnais qui nous retiennent sur les sièges. C'est très inconfortable, alors on ne lambine pas pour déclencher le gonflage des ballons de redressement. On a vérifié en premier la position centrale de **6, 7 et 8**, on complète la vérification en s'assurant que les trois sectionneurs **3, 4 et 5** qui les pilotent sont bien coupés. (*Ne vous préoccupez pas pour l'instant du fait que le 5 soit colorié en jaune*) En principe sur le tableau **278** les deux sectionneurs **9** de la Fig.205 sont déjà armés, et l'on peut voir que l'on avait aussi bien isolé les lignes pyrotechniques de séparation LM/S IV-B. C'est une constance en astronautique. On ne laisse jamais une ligne PYRO sous tension quand elle n'est plus utilisée : Question de sécurité. Il s'agit bien de deux compresseurs conformément aux inscriptions portées sur le tableau de maitrise. Ils sont de faible puissance, et pour fournir le volume d'air requis c'est un peu laborieux. La distribution sur chaque ballon est commandée séparément. Comme il y a trois ballons, on trouve donc trois inverseurs sur le tableau de commande **8**. On constate sur la Fig.206 en page 215, que pour des raisons pédagogiques j'ai effectué la copie d'écran à divers stades de gonflage des éléments de flottabilité. Au début, ils sont minuscules, à peine si on les discerne en vue extérieure. L'élément **12** est entièrement pressurisé sur ce dessin et présente la taille définitive. Pour déclencher le gonflage, une fois **9, 3, 4 et 5** armés, il suffit de basculer les inverseurs **6, 7 et 8** vers le haut sur la position **FILL**. Mais le processus est lent, et au tout début on ne constate rien de particulier. Il faut huit minutes pour que l'opération soit complète, alors prenez votre mal en patience et supportez la tension des harnais qui cisailent les épaules. La Fig.206 précise avec des repères gris quels sont les inverseurs qui agissent sur chaque ballon. Quand les trois éléments sont entièrement sous pression, vous constatez sur la vue "de dessus" du CM qu'il n'y a pas symétrie. L'élément **11** n'a pas de correspondant de l'autre coté. Donc la poussée d'Archimède ne se fait pas dans l'axe central du vaisseau, mais elle est décalée vers **11**. Vous devinez sans



Sont complètement nulles ces grosses baballes, elles restent accrochées à la poubelle à hommes toute noircie quoi qu'on fasse. Pas moyen de les faire rebondir. En plus au bout d'un moment elles redeviennent ridiculement minuscules.



problème quel sera le sens de la rotation du rétablissement. Sur la Fig.206, bien que ce ne

soit pas le moment, j'ai allumé le feu de repérage nocturne **13** pour que vous puissiez mieux le situer. Quand les trois sphères sont dilatées, au bout de quelques secondes qui semblent interminables, Glou glou glou scloufffff, la capsule se retourne et l'on se retrouve confortablement installés sur le dos.

Concrètement, ce n'est pas idéal de laisser ces trois grosses boules situées dans "les hauts", générant un fardage important. Si le vent est fort, le vaisseau va alors s'incliner de façon notable comme le fait un voilier navigant par vent de travers. Il suffit de commuter les trois leviers **6**, **7** et **8** vers le bas sur la position **VENT**. Les vannes de purge sont alors ouvertes et l'air s'échappe à une vitesse assez semblable à celle de la dilatation. Au bout de huit minutes les trois ballons se font oublier et ne sont plus visibles quand on passe en vue extérieure. Il ne faut pas oublier, dans cette aventure, de rétablir les liaisons radio VHF.

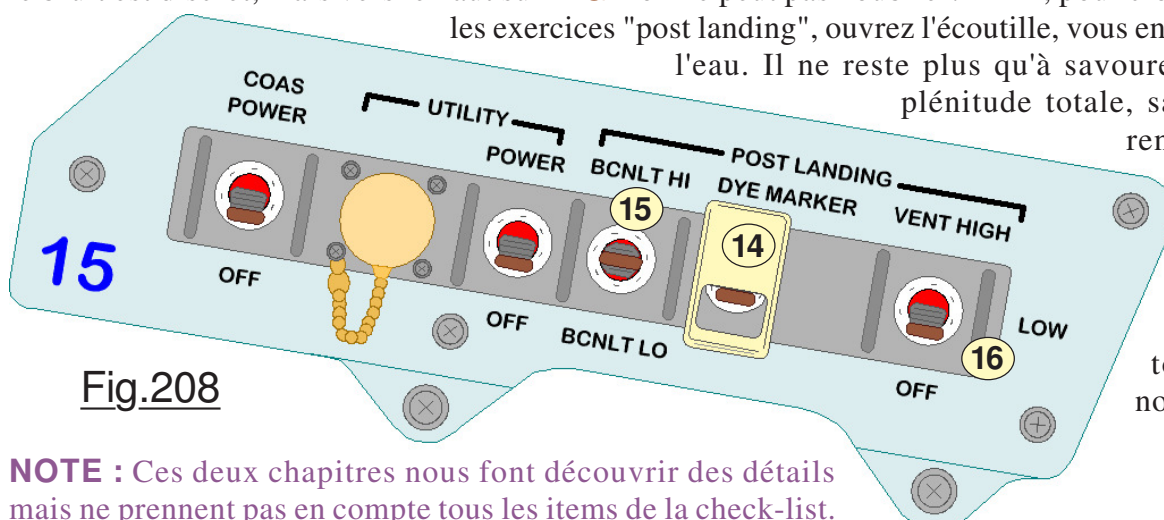
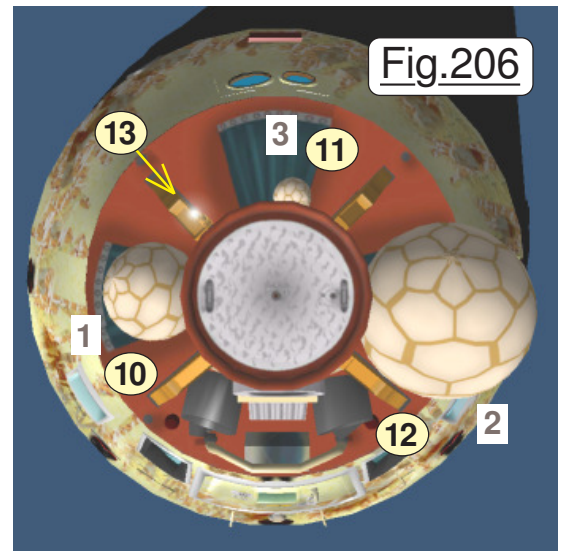
LES GOÛTS ET LES COULEURS :

Toujours dans l'optique de bénéficier au mieux de ce que l'on peut réaliser dans NASSP, on va déclencher les colorants de repérage. Il me semble avoir lu qu'on ne le faisait que sur demande de l'équipe de récupération, si la météo complique l'opération ou si la capsule est tombée loin du point prévu. Sur la Fig.207 nous pouvons admirer le travail fabuleux réalisé par les programmeurs. Dans la réalité, il s'agit de colorants qui forment une grosse tâche sur l'eau visible de loin et qui inclus des répulsifs contre les requins. La couleur est un peu "pétard", car j'ai exagéré les contrastes et éclairé le dessin pour ménager l'imprimante, mais sur l'écran vidéo l'effet visuel est vraiment très réussi. Pour déclencher l'émission de ces colorants verts deux conditions suffisent. En particulier les pyrotechniques ne sont pas concernées, seule la position d'un inverseur active ou coupe le colorant vert. La première condition consiste à armer le sectionneur **5** de la Fig.204 raison pour laquelle il est colorié en jaune. On voit bien que l'inscription sur le tableau de bord **FLT/PL** est différente de celle des deux autres sectionneurs **1** et **2**. Une fois que l'énergie électrique est distribuée correctement, la deuxième condition consiste à ouvrir la sécurité de l'inverseur **14**, le basculer vers le haut sur **DYE MARKER**, et à admirer le spectacle. L'inverseur **15** sur la Fig.208 se charge de l'allumage du feu stroboscopique. Mais ce dernier ne fonctionne que si le sectionneur **5** colorié en jaune est armé. Vers le haut sur **BCNLT HI** la fréquence de clignotement est élevée. Basculé vers le bas sur **BCNLT LO** les flash lumineux sont beaucoup plus espacés. Quand le levier d'équilibre des pressions **POST LDG VENT VALVE UNLOCK** a été tiré sur le tableau principal **2**, l'inverseur **16** permet de forcer une ventilation dans la cabine. Au centre sur **LOW** le bruit est discret, mais vers le haut sur **HIGH** on ne peut pas l'oublier. Enfin, pour clore ce chapitre sur

les exercices "post landing", ouvrez l'écouille, vous entendrez le bruit de l'eau. Il ne reste plus qu'à savourer ce moment de plénitude totale, satisfaction d'être

rentré à la maison.

Sous peu on va ouïr le bruit caractéristique des pales de l'hélicoptère qui tout proche vient nous rechercher.



NOTE : Ces deux chapitres nous font découvrir des détails mais ne prennent pas en compte tous les items de la check-list.

JE DOIS IMPÉRATIVEMENT RENDRE JUSTICE À POPOL :

C'est dans le document d'introduction à NASSP que j'aurais dû placer ce petit chapitre, mais comme le personnage imaginaire qui vous accompagne tout au long de votre formation à la NASA est principalement présent dans le tutoriel, il me semble tout compte fait plus logique de terminer le dernier chapitre par cet hommage. *(Soyons honnête, c'est PAPPY 2 qui m'a suggéré d'intégrer ici ce petit texte si important à mes yeux, car je l'avais initialement placé dans un autre document)*

Popol a réellement existé, et je tiens ici à exprimer toute ma gratitude à ce Professeur d'un autre temps. C'était durant mes tendres années, quand en classe de seconde au lycée technique que je fréquentais, je ne travaillais pas très assidument. Et puis un jour, notre Professeur de mathématiques a été souffrant. Il a été remplacé immédiatement par celui que nous surnommions Popol. De vrai nom Paul Mandex, c'était la terreur du lycée par sa réputation de sévérité. Autant dire que lorsque Popol nous donnait des devoirs à faire en étude, je m'y suis mis avec toute l'attention indispensable, car passer au tableau avec lui avait de quoi fortement nous impressionner.

Du coup, faisant les efforts minimums, j'ai commencé à avoir de bonnes notes. Dans ma vie scolaire, ça a été le facteur déclenchant. Je me suis mis à travailler dans toutes les matières et les résultats ont suivi. J'ai donc fini, quelques années plus tard, par devenir un collègue à Popol que je n'ai plus jamais revu depuis cette époque.

Non, Paul n'était en rien acariâtre, pas plus que coléreux ou caustique. À peine sévère le juste ce qu'il faut pour inoculer aux jeunes dont il avait la charge le courage minimal pour investir quelques efforts indispensables dans un domaine qui s'avérerait incontournable pour leurs horizons futurs.

Le Popol de ce tutoriel n'est qu'une caricature amusante totalement imaginaire pour infiltrer régulièrement un peu d'humour dans toutes ces pages parfois trop sérieuses.

Cher Popol, vu mon âge et l'écart de génération qui nous sépare, c'est du monde des étoiles que tu dois lire ces quelques mots. Et si mes souvenirs te font, dans ces lignes, tenir un rôle autoritaire, **je te remercie infiniment d'avoir changé ma vie**. Je respecte sans limite la conscience professionnelle avec laquelle tu as dû mettre pas mal de jeunes sur les rails durant ta vie de Professeur. **Je m'incline avec un profond respect ...**



C'en est vraiment trop, je suis vidé, laminé, résigné. Connaissez le principe de Lavoisier ? L'a dit "À partir de rien on n'obtient rien". L'a raison Lavoisier, et RIEN C'EST VOUS ! L'a dit aussi "Rien ne se crée, rien ne se perd tout se transforme". L'a faux Lavoisier, avec vous rien ne se crée mais tout se perd. Faut absolument que je fasse du Yoga, j'ai même plus la force de vous hurler dessus.

Ben môamôa j'ai pas le moral car je ne vois vraiment pas pourquoi il explose encore le Popol ! (1)



TABLE DES MATÈRES

BIENVENUE À LA NASA	P001
NAVIGUER DANS LES DIVERS TABLEAUX DE BORD	P002
ORGANISATION DES CHECK-LIST	P002
INSCRIPTIONS ET MNÉMONIQUES	P003
LA GESTION DES ÉNERGIES ÉLECTRIQUES	P005
Sous-système des alertes. (Caution and Warning System)	P007
MISE EN SERVICE DES PILES À COMBUSTIBLE	P008
EXERCICE SUR LES RCS EN MODE MANUEL	P011
Les RCS du module de commande	P015
NOS PREMIERS PAS AVEC LE DSKY	P017
MISE EN SERVICE ET UTILISATION DU MOTEUR ORBITAL	P021
UTILISATION DU SPS EN AUTOMATIQUE	P029
EXERCICES de base sur les FDAI	P034
EXERCICES de base sur REFSMMAT	P040
L'ACCOSTAGE	P044
UNE FAMILLE RECOMPOSÉE : (L'EXTRACTION DU LM)	P045
LARGAGE DU S IV-B DEVENU INUTILE	P054
Évaluation de la masse du train spatial	P055
EXERCICES SUR L'INITIALISATION DE L'IMU	P058
EXERCICES SUR LES ABANDONS DE MISSION AU LANCEMENT	P062
EXERCICES SUR LES RENTRÉES EN URGENCE	P064
VECTORISATION des moteurs de la Saturn V	P066
LANCEMENT en mode manuel et établissement de l'orbite d'attente	P066
Expérience sur le dosage de la poussée des moteurs du lanceur	P067
VECTORISATION DU MOTEUR ORBITAL	P068
EXERCICE SUR LA GESTION DES PANNES	P073
EXERCICE SUR LES LANCEMENTS	P074
EXERCICES SUR L'USAGE DES TÉLESCOPES	P077
RECALER LA CENTRALE INERTIELLE	P079
PROBLÈME CLASSIQUE AU RECALAGE DE L'IMU	P081
EXERCICES SUR LE BLOCAGE DE L'IMU	P082
RÉALIGNEMENT DES SYSTÈMES DE NAVIGATION	P083
RÉFÉRENCES EXTÉRIEURES / Réaliser un KILL ROT avec NASSP	P083
CARACTÉRISTIQUES DES TÉLESCOPES VIRTUELS	P085
POINTER DANS L'UNIVERS AVEC PRÉCISION	P086
ORIENTER AVEC PRÉCISION DANS LA REFSMMAT	P087
LES SORTIES EXTRAVÉHICULAIRES (E.V.A.)	P090
Utilisation des télescopes pour observer le sol	P092
LES TÉLÉCOMMUNICATIONS RADIO	P096
Retour sur l'utilisation des télescopes pour observer le sol	P097
Exercice sur la fonction P22 avec observation d'une cible au sol	P099
La base de la Tranquillité	P101
UTILISER L'A.G.C. POUR RÉALISER LA T.L.I.	P102
DODO le CMC	P108
LES DIVERS MODES D'ABANDON DE LA T.L.I.	P109
Réinitialisation du chronomètre de mission	P110
SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT	P113
RÉGULATION THERMIQUE PASSIVE	P122
GESTION DES RÉSERVOIRS "CRYOGÉNIQUES"	P126
MAINTENANCE DES PILES À COMBUSTIBLE	P128
EXERCICES DE BASE SUR LE CONTRÔLE D'ATTITUDE	P131

DIVERSES OPTIONS DU CONTRÔLE D'ATTITUDE	P136
COMPLÉMENTS SUR L'INTERPRÉTATION DES FDAI	P142
UTILISATION DU SYSTEME ORDEAL	P150
RÉCRÉATION ORBITALE	P153
RETOUR EN ENFER > LA RENTRÉE ATMOSPHÉRIQUE.....	P156
MONITEUR BINAIRE >>> DE CHARYBDE EN SCYLLA.....	P166
EXERCICE SIMPLE SUR LE MODE "MINIMUM IMPULSION"	P170
Réparer une scène pour NASSP	P171
GESTION DES ALERTES ET DES PANNES.....	P175
Une mission presque complète en mode manuel.....	P179
PRÉPARATION DE LA RENTRÉE ATMOSPHÉRIQUE	P189
RENTRÉE DIRECTE "EN STANDARD".....	P189
P23 >>> EXERCICE DE RÉVISION SUR LE RECALAGE DE L'IMU.....	P202
Complément relatif à l'interprétation des aiguilles d'erreurs.....	P204
Changement de REFSMMAT pour éviter un blocage de l'IMU	P206
La base de la Tranquillité le retour	P208
Utiliser P52 pour orienter le vaisseau dans le plan orbital	P209
La vue c'est la vie	P210
PRÉPARATION ET LANCEMENT D'APOLLO 7	P211
LA TÊTE EN BAS EST UNE OPTION ENVISAGÉE	P213
LES GOÛTS ET LES COULEURS	P215
Respectueux Hommage à POPOL	P216

NE PAS CONFONDRE :

Impressionnant au premier abord par sa taille, ce gros document risque d'induire à certains l'idée que tout sur les vols lunaires a été vu, et que je suis un super spécialiste incontesté dans les technologies et les vols Apollo. Que NASSP est pour moi un jeu d'enfant pour lequel j'aurais rédigé une bible qui marquera son temps et qui restera dans les annales.

Rien n'est plus faux. Sachez que je n'ai jamais rédigé un tutoriel sur Orbiter en tant que personne sachant de quoi elle parle. C'est à l'inverse que je fonctionne : Ayant l'envie d'explorer un domaine de l'astronautique, je m'embarque dans la réalisation d'un tutoriel. C'est un moyen de me retrouver piégé et de m'imposer ainsi des efforts que je ne fournirais pas forcément sans cette obligation. C'est aussi une méthode parfaite pour m'inciter à pousser plus loin l'analyse, de fouiller plus en détail ce que l'on découvre au cours des essais. C'est toujours très enrichissant et dans cette optique NASSP constitue un sommet.

Non, consacrer autant de temps pour un seul sujet n'était pas du tout dans mes intentions initialement. Un tutoriel sur NASSP oui, mais en imaginant au départ entre trente et quarante pages, pas plus, ce qui me semblait déjà beaucoup, voir presque exagéré. Je n'évaluais pas non plus les difficultés auxquelles je serai confronté. Je me demande après coup si, sans cette naïveté j'aurais osé m'embarquer dans une telle galère. L'inconscience est un facteur fabuleux pour pousser à prendre des décisions inconsidérées ... parfois complètement irréalistes et sans le plus petit critère objectif de faisabilité.

Le doigt dans l'engrenage, le côté absolument passionnant de l'épopée lunaire, totalement révolté par l'idée de ne fournir qu'un ensemble incomplet, tout a contribué à me faire persister à cheminer sur cette longue route sinueuse. Mais il reste encore beaucoup à découvrir, le jour où NASSP sera amélioré, plus fonctionnel dans certaines facettes, **et surtout le jour où je serai capable d'en tirer meilleur parti.** Par exemple, faute d'y être parvenu, nous n'avons pas testé :

- Les corrections de trajectoire en automatique,
- L'insertion en orbite lunaire en automatique,
- Les changements de plan et les RDV en automatique,
- La T.E.I. en automatique ... et bien d'autres phases du vol certainement.

L'avenir est donc bien devant nous, et surtout considérez que tout ce qui est dans ce tutoriel n'est que l'aboutissement de tentatives plus ou moins maladroites réunies dans un même document. Ce n'est surtout pas la thèse certifiée conforme d'un spécialiste de renommée mondiale.