

	CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES DIRECTION DE LA COMMUNICATION <u>Service Education Jeunesse</u>	<i>Sigle : DCO//JE</i>
NOTE TECHNIQUE		
Rédaction : Vincent MEENS / CNES	Date : 02 septembre 2020 Version 2	
EXPERIENCES SCOLAIRES ET ETUDIANTES EMBARQUEES A BORD DE L'AIRBUS 0G DE NOVESPACE		

1. Introduction

Dans le cadre de l'activité vols paraboliques, le service Education Jeunesse du CNES propose à des équipes de lycéens et d'étudiants de concevoir, réaliser et mettre en pratique des expériences scientifiques et techniques à bord de l'Airbus 0G de Novespace. Les équipes sélectionnées pourront faire voler lors d'une campagne CNES l'expérience retenue ainsi que deux expérimentateurs

En ce qui concerne en particulier les lycéens, il est important de noter que les expérimentateurs doivent être majeurs à la date du vol.

Entre la date d'appel et la date de soumission du projet de nombreuses questions récurrentes sont posées par les équipes candidates sur ce qu'il est possible ou non de faire, que ce soit en terme d'expérience, de sécurité ou d'encombrement.

Ce document qui n'est pas exhaustif tente de répondre à la plupart des questions posées. Il ne remplace en rien les documents qui, par la suite sont distribués par Novespace et décrivent en détail les contraintes qui s'appliquent aux expériences embarquées. Les documents diffusés par Novespace prennent en compte l'intégralité des types d'expériences envisagées dont beaucoup d'entre elles ne sont pas applicables dans le cadre d'une expérience lycéenne ou étudiante. Nous espérons donc que ce document plus synthétique permettra de vous familiariser avec le vol 0G et de concevoir une expérience qui pourra sans problème être embarquée à bord.

Nous vous recommandons donc de lire attentivement celui-ci avant de soumettre votre projet.

2. Pertinence des expériences en vol parabolique

La plupart des phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui se produisent sur notre planète sont influencés par la gravité. Notre corps est adapté à la gravité de par la composition et la forme de notre squelette, la position de nos organes, la circulation sanguine, etc.

La gravité cache cependant des phénomènes essentiels à la résolution de grandes questions scientifiques. Les expériences réalisées en impesanteur montrent que des phénomènes bien connus sur Terre peuvent avoir un comportement complètement différent. C'est le cas de la sédimentation, de la convection, de la pression hydrostatique, ... qui ne se produisent plus en micropesanteur.

Parmi la liste non exhaustive des domaines de recherche intéressés par l'impesanteur, on peut citer la science des matériaux, la physique des fluides, la biologie et les sciences biomédicales.

AVANT DE PROPOSER UNE EXPERIENCE posez-vous la question simple : **en quoi l'expérience que je vais proposer a-t-elle un sens en micropesanteur ?**

Deux exemples proposés par des équipes étudiantes permettent de mieux saisir ce concept

1. Une première équipe a proposé une expérience visant à simuler l'asservissement de panneaux solaires en fonction de la position du Soleil. Un capteur repérant la position d'un Soleil simulé permet alors d'orienter le panneau dans sa direction pour récupérer le maximum de lumière.

Cette expérience, si elle a un lien évident avec les satellites, est peu pertinente pour un vol parabolique dans le sens où le principe d'asservissement est bien connu et ne sera pas influencé par la micropesanteur. En revanche ce qui pourra être mesuré sera la puissance nécessaire au moteur pour faire tourner le panneau par rapport à son homologue sur Terre qui évidemment devra supporter le poids du panneau.

Ce projet n'a pas été retenu car on aurait tout aussi bien pu faire tourner un panneau quelconque à vitesse constante à 1 G, 1,8 G et 0 G et mesurer la puissance du moteur sans avoir à se soucier d'un système d'asservissement.

2. Une deuxième équipe a proposé de mesurer de petites masses en micropesanteur. Si la mesure de la masse s'apparente à la mesure du poids à l'aide d'une simple balance quand on est sur Terre, mesurer une masse en micropesanteur nécessite de recourir à des procédés faisant intervenir l'énergie cinétique des objets. L'expérience en question consistait à faire tourner autour d'un axe et à vitesse constante une masse donnée et à mesurer la puissance fournie au moteur pour maintenir cette rotation.

Une telle expérience offre un moyen de vérifier si le principe proposé est fiable en mesurant tout d'abord des masses connues puis une masse inconnue en se basant sur les mesures précédentes. Elle nous a semblé pertinente d'un vol parabolique et l'équipe a été retenue.

Il s'agit là de deux exemples parmi beaucoup d'autres, c'est la première chose que les équipes du CNES et de Novespace regarderont quand ils recevront les dossiers candidats. C'est donc un point à ne surtout pas négliger.

3. Les vols paraboliques à bord de l'Airbus 0G

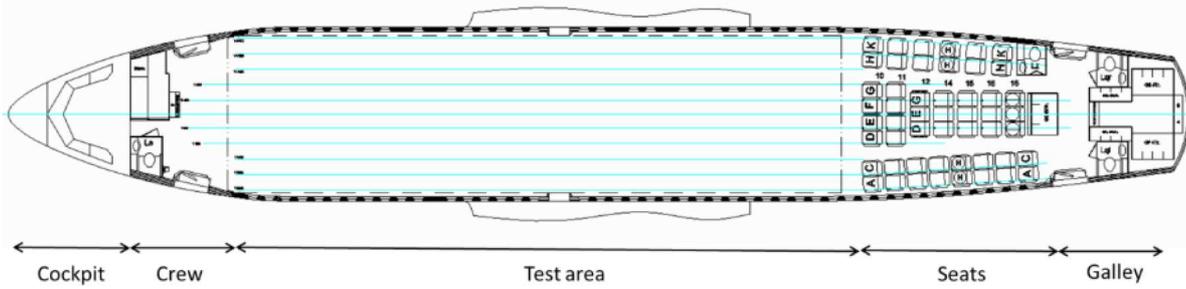
Les vols paraboliques sont réalisés à bord de l'Airbus ZERO-G de Novespace. Il s'agit d'un Airbus A310 de type 304 motorisé par deux moteurs General Electric de type CF6-80 C2A2.

Cet avion a été modifié en cabine afin d'accueillir les expériences scientifiques, cependant aucune modification n'a été effectuée sur la structure de l'avion, mais un programme de maintenance spécifique a été défini de façon à prendre en compte la répétition des contraintes mécaniques sur la structure.

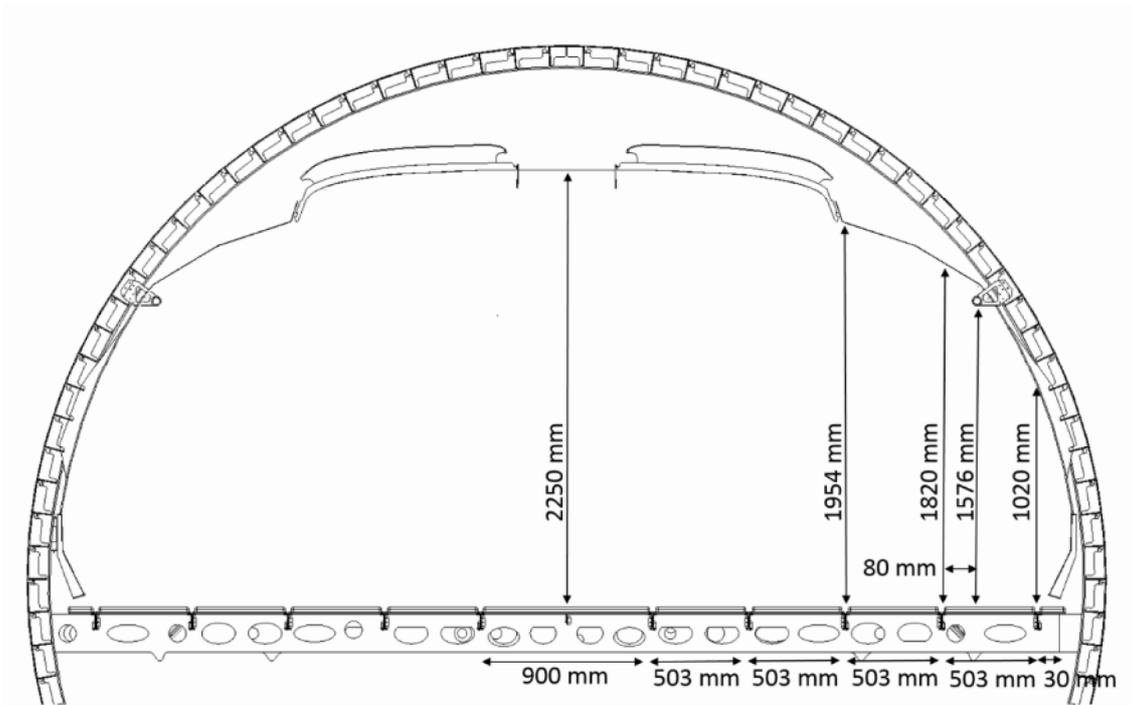
Quelques modifications ont été effectuées en cockpit pour aider l'équipage de conduite à réaliser la manœuvre parabolique : des indicateurs accélérométriques, indiquant l'accélération sur l'axe vertical et longitudinal de l'avion, ont été ajoutés. Afin d'effectuer la manœuvre parabolique de façon précise, un manche additionnel amovible est aussi installé sur la colonne du manche standard de l'avion.

3.1. Description de la Cabine de l'A310 ZERO-G

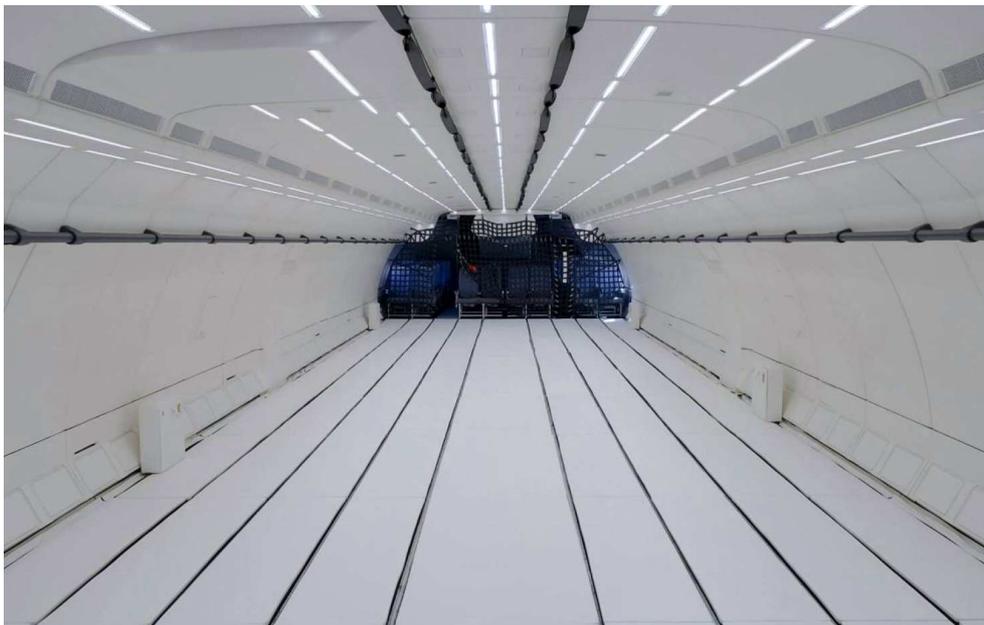
La cabine de l'Airbus A310 ZERO-G est divisée en trois sections distinctes : le cockpit, les zones de sièges et la section centrale appelée zone expérimentale. La zone expérimentale est l'endroit dans lequel les expériences se déroulent et où les passagers peuvent expérimenter la micropesanteur. Cette zone est entièrement capitonnée. Comme pour les avions des lignes commerciales, pour les phases de décollage et d'atterrissage, les passagers utilisent les sièges de la cabine.



La zone expérimentale de l'avion mesure 20m de long (« Test Area »), 5m de large et 2m25 au point le plus haut de la cabine. La forme de la cabine est détaillée dans la vue en coupe ci-dessous :



Une surface au sol de 100m² est donc à disposition. Suivant leur taille, 10 à 15 expériences sont embarquées lors de chaque campagne de vols. Pour les expérimentations lycéennes et étudiantes une surface au sol d'environ 4 m² est disponible.



Les expériences sont embarquées à bord d'un ou deux châssis d'expérimentation qui ont été développés par le CNES et Novespace. Un document spécifique (Description Technique des Châssis d'Expérimentation) vous donne toutes les informations sur l'utilisation de ces deux châssis. Ceux-ci vont vous permettre de fixer votre ou vos expériences. A noter qu'il existe un châssis doté d'un caisson mécanique ouvert et un châssis doté d'un caisson étanche (photo ci-dessous). Ce dernier sera mis en œuvre si vous utilisez des fluides ou des pièces pouvant flotter.

Pour certaines expériences comme des expériences de physiologie ou d'objets flottants comme des drones, le châssis n'est pas nécessaire. Une zone de filets d'environ 4 m² (2 m sur 2 m) pourra être mise en place afin de contenir l'expérience.



En ce qui concerne l'alimentation en électricité, dix panneaux électriques, homogènement répartis dans la cabine, sont disponibles pour alimenter les expériences en 230V alternatif à 50Hz. Un panneau électrique peut fournir au maximum 8A en 230V.

3.2. Description de la Manœuvre Parabolique

La manœuvre parabolique requiert 3 pilotes. Le premier pilote est chargé de piloter l'axe de tangage de l'avion tandis que le second s'occupe de gérer son axe de roulis et le troisième ajuste la puissance des moteurs.

Phase d'entrée - hyperpesanteur

A partir d'une altitude de vol stabilisé horizontal à 6 100 m (20 000 pieds), le premier pilote augmente progressivement l'inclinaison de l'avion jusqu'à un angle de 50° d'assiette tandis que le second maintient les ailes à l'horizontal. Durant cette phase, le poids apparent de l'avion et de ses occupants est 1,8 fois plus élevé que le poids normal : un facteur de charge vertical de 1,8g s'applique. Cette phase de ressource d'entrée dure environ 20 secondes.

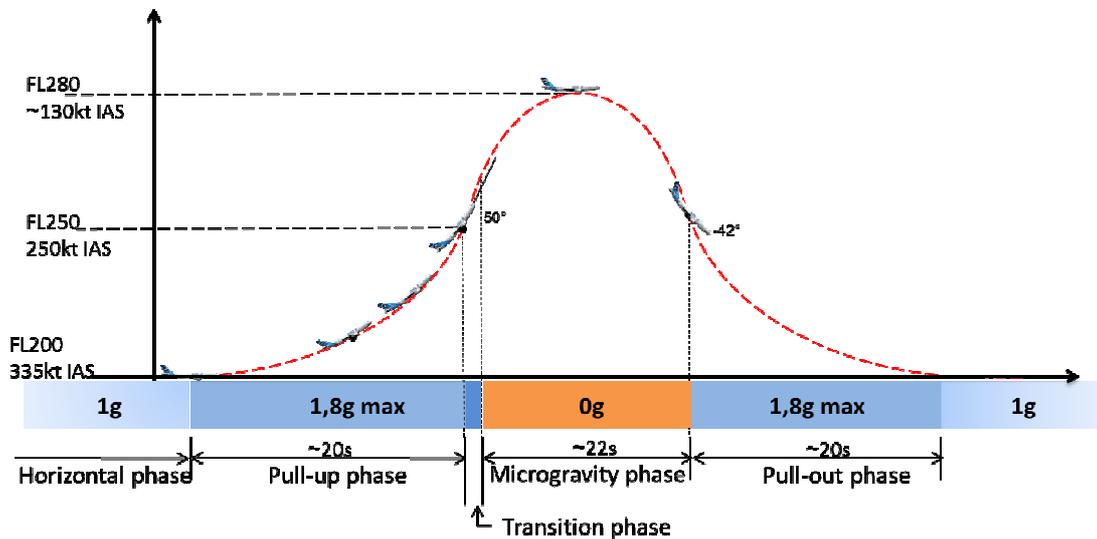
Injection et micropesanteur

A ce moment, l'équipage réalise une manœuvre dite d'injection : l'avion est piloté de manière à suivre une trajectoire décrivant à peu près une parabole et la puissance des moteurs est réduite. Le facteur de charge vertical de l'avion passe de 1,8 g à 0g. Ce changement de facteur de charge dure moins de 5 secondes. L'avion est alors en phase de micropesanteur pendant environ 22 secondes. Le premier pilote ajuste l'inclinaison du manche pour maintenir le facteur de charge vertical proche de zéro, alors que le second pilote maintient l'inclinaison de l'avion en roulis à zéro. Le mécanicien navigant ajuste la poussée des moteurs pour annuler le facteur de charge longitudinal.

Phase de sortie - hyperpesanteur

Une phase de sortie à 1,8g, symétrique de la phase d'entrée, est ensuite exécutée sur la partie descendante de la parabole pour ramener l'avion en vol horizontal stabilisé en une vingtaine de secondes.

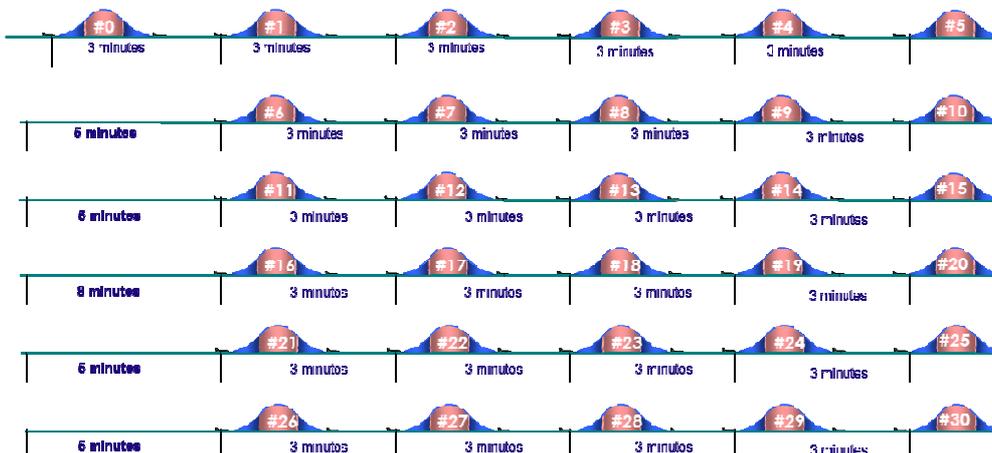
Les expérimentateurs ont ensuite environ 1 minute et 40 secondes minimum jusqu'à la parabole suivante.



3.3. Profil de Vol Standard

Une campagne standard de vols paraboliques comprend 3 vols répartis sur 3 jours. Un vol est affecté à chaque équipe lycéenne ou étudiante ce qui permet de faire voler 3 équipes durant chaque campagne.

Un vol standard comprend 31 paraboles divisées en 6 séries de 5 paraboles. La durée d'un vol est comprise entre 3 et 5 heures. La durée entre chaque série de paraboles varie entre 5 et 8 minutes, permettant aux expérimentateurs de modifier et ajuster leurs expériences.



Les vols se déroulent habituellement près de la Bretagne, mais peuvent être réalisés dans d'autres zones comme la Méditerranée. Le choix des zones de vols se fait en fonction des conditions météorologiques.

Au cours d'une manœuvre parabolique, le niveau de pesanteur résiduelle pour tout appareil fixé à la structure de l'avion varie normalement entre $\pm 2 \cdot 10^{-2}$ g sur l'axe de lacet Z (vertical), et entre $\pm 10^{-2}$ g sur les axes de roulis X (longitudinal) et de tangage Y (transversal) de l'avion.

On peut noter, que le niveau de micropesanteur fluctue tout au long de la manœuvre parabolique et ne demeure pas constant. Ceci peut être important à prendre en compte pour la conception d'une expérience.

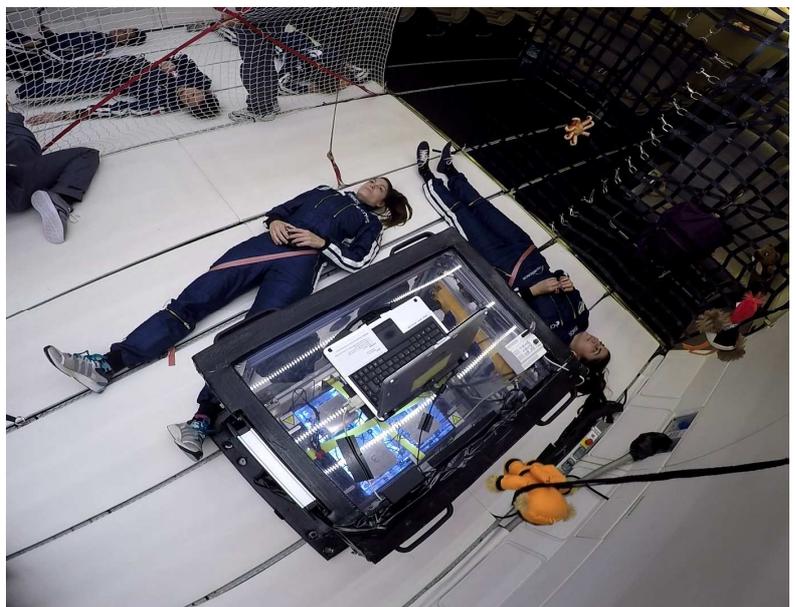
4. Les contraintes liées au vol parabolique

Comme il a été indiqué plus haut le vol parabolique implique des variations importantes des facteurs de charge, d'un côté il est important que toute expérience puisse supporter facilement un facteur de charge de 1,8 g mais il faut également que rien ne puisse « s'envoler » dans la zone d'expérimentation au risque de blesser les expérimentateurs. Ces contraintes concernent donc l'expérience mais également les expérimentateurs.

4.1. Contraintes concernant les expérimentateurs

Comme les expériences, les expérimentateurs sont soumis aux facteurs de charge. Afin que tout se passe de la meilleure façon possible, les recommandations et contraintes suivantes sont importantes pour un déroulé nominal du vol :

1. Si vous êtes sujet au mal des transports il est possible que vous soyez malade durant le vol, votre oreille interne ne recevant plus les bonnes indications par rapport à la « géographie » de la zone d'expérimentation. Il vous sera proposé juste avant le vol une injection de scopolamine qui a la faculté d'inhiber l'information fournie par l'oreille interne et ainsi les nausées. Cette injection n'est pas obligatoire mais fortement recommandée.
2. Durant les phases d'hyperpesanteur il est recommandé de rester allongé et de ne pas bouger la tête. Le fait de remuer la tête de droite à gauche risque de vous causer plus de nausées qu'en micropesanteur. Après quelques paraboles, si vous sentez que vous êtes à l'aise, vous pourrez éventuellement rester assis ou à genoux.
3. Des sangles parcourent toute la longueur de l'avion afin de « retenir » les expérimentateurs devant leur expérience. Il est **obligatoire d'être fixé au sol au moyen de ces sangles** et de ne pas flotter dans la zone d'expérimentation. Une personne flottant dans cette zone risque à la fois de se blesser lors de la ressource (si elle tombe sur un châssis par exemple) mais aussi de blesser un autre expérimentateur. Une zone de « free floating » est disponible à l'arrière de l'avion que vous



pourrez utiliser durant le vol (zone limitée à 3 personnes).

4. Si vous utilisez la zone de « free floating », il est impératif qu'un des deux expérimentateurs reste à proximité et monitore le châssis d'expérience.
5. Il est interdit de laisser libre quelque objet que ce soit comme un téléphone ou un appareil photo. Là encore durant la phase de micropesanteur celui-ci risque de voyager dans la cabine et de blesser une personne lors de la ressource. Gardez votre téléphone dans une poche fermée et utilisez un appareil photo ou une caméra équipés d'une dragonne.

Durant le vol les PNS (Personnels Navigants de Sécurité), reconnaissables à leur combinaison orange, seront là pour vous assister, vous rappeler les bonnes pratiques et éventuellement vous rattraper si vous veniez à ne plus être proprement sanglés. Un médecin est également à bord pour vous assister en cas de problème.

4.2. Contraintes liées aux expériences

Novespace a édité un document rappelant les différentes contraintes applicables aux expériences embarquée. Ce document vous sera distribué dès le début de préparation de votre expérience. Ces contraintes sont divisées en catégories suivantes :

- GENE – Contraintes générales
- MECA – Contraintes mécaniques
- MATE – Contraintes liées aux matériaux embarqués
- PRES – Contraintes liées éléments pressurisés
- HEAT – Contraintes liées aux éléments chauffants
- FREE – Contraintes liées aux éléments flottants
- ELEC – Contraintes électriques
- BATT – Contraintes liées aux batteries
- LASER – Contraintes liées aux lasers
- EM – Contraintes électromagnétiques
- IONI – Contraintes des systèmes ionisants
- PUMP – Contraintes des systèmes de pompage
- MED – Contraintes liées à des expériences médicales
- ANIM – Contraintes liées à des expériences animales
- SERV – Contraintes concernant les systèmes de l'avion
- MISC – Contraintes diverses

Toutes ces contraintes ne s'appliquent pas nécessairement dans le cadre d'une expérience lycéenne ou étudiante. Elles sont décrites de manière exhaustive dans les documents qui vous seront remis par Novespace. Le but des sections suivantes est de souligner quelques points important que vous devez intégrer dans la conception de votre projet.

4.2.1. GENE

Ces contraintes concernent la conduite générale de votre expérience, celle-ci doit être en mesure de fonctionner en toute sécurité, elle doit être conforme aux exigences de Novespace, doit pouvoir

fonctionner nominalement avant le vol et en accord avec les spécifications des constructeurs. De plus il est toujours prévu qu'un expérimentateur soit présent à côté de l'expérience durant le vol.

Dans le cadre d'une expérience de physiologie où l'un des expérimentateurs est sujet de test, celui-ci doit pouvoir s'extraire de l'équipement (harnais par exemple) en moins de 20 s sans l'aide d'outils.

4.2.2. MECA

En cas d'atterrissage forcé les équipements doivent pouvoir résister à une accélération maximale de 9 g. Les matériaux cassants comme le plexiglass ou le verre sont interdits car une rupture risquerait de créer des débris pouvant flotter en cabine (préférer le polycarbonate pour les structures transparentes).

La masse totale de chaque châssis ne doit pas dépasser 200 kg sachant que le châssis à vide pèse déjà 75 kg.

4.2.3. MATE

Les matières dangereuses comme les liquides inflammables ou les gaz sous pression peuvent être utilisées sous certaines restrictions pour les expériences professionnelles, **elles ne sont pas autorisées pour des expériences lycéennes ou étudiantes.**

Les matières liquides non dangereuses sont autorisées mais doivent être contenues dans au moins deux récipients imbriqués (par exemple un liquide dans une bouteille elle-même dans le châssis étanche).

4.2.4. PRES

Les systèmes pressurisés doivent correspondre à des critères de sécurité drastiques de manière à éviter tout risque d'explosion. **De tels systèmes ne sont pas recommandés pour des expériences lycéennes ou étudiantes.**

4.2.5. HEAT

Comme pour les systèmes pressurisés ceux-ci doivent correspondre à des critères de sécurité drastiques de manière à éviter tout risque d'incendie. **De tels systèmes ne sont pas recommandés pour des expériences lycéennes ou étudiantes.**

4.2.6. MOBI

Les parties mobiles pouvant causer des blessures (les hélices d'un drone par exemple) doivent être protégées pour ne pas être accessibles. D'autres équipements à mouvement rapide (comme une centrifugeuse) doivent montrer leur intégrité de fonctionnement dans tous les modes opératoires.

4.2.7. FREE

Des objets flottants comme des drones ou des cubesats ne doivent pas excéder une masse de 10 kg, ils doivent être mis en œuvre de manière à assurer la protection des personnes à bord (mise en place de filets, fonctionnement dans un châssis fermé) et ne doivent pas créer de débris en cas de choc.

4.2.8. ELEC

Tous les systèmes électriques doivent être protégés afin d'éviter tout court-circuit ou risque d'électrocution. Il doit être possible d'isoler rapidement l'expérience de la source électrique en cas de besoin.

4.2.9. BATT

Si vous utilisez un équipement standard de type caméra ou ordinateur, l'utilisation de la batterie est autorisée mais aucune recharge n'est possible à bord, il est donc impératif d'avoir, pour les caméras par exemple, des batteries supplémentaires déjà chargées.

Les batteries Lithium-Ion ou Lithium-Métal présentent un risque important d'embrasement en cas de choc ou de court-circuit. Ces batteries sont très communes dans nos téléphones, caméras ou ordinateur, les batteries supplémentaires doivent être transportées dans des sachets individuels ou des enveloppes LiPo.

Il est formellement interdit d'utiliser des batteries lithium sur des objets flottants comme des cubesats ou des drones en raison des risques de choc. Les objets flottants doivent donc utiliser des batteries de type NiMh ou alcaline.

4.2.10. LASER

L'utilisation de laser est autorisée mais doit être conforme aux standard reconnus (Classes 1, 1M, 2 etc.). La mention d'un laser et de sa classe doit être clairement indiquée sur l'expérience. Lorsque les protections, caches ou portes d'accès sont retirés ou ouvertes, il est impératif qu'aucune personne ne puisse être exposé à un laser de classe supérieure à 1.

4.2.11. EM

Aucun système ne doit créer de perturbation électromagnétique vers les systèmes de l'avion. Les personnes ne doivent pas être exposées à des champs importants et dans ce cas des mesures barrière doivent être mise en place (blindage par exemple).

4.2.12. IONI

Les expériences proposant d'utiliser des matériels émettant des radiations ionisantes ne sont pas autorisées dans le cadre des expériences lycéennes et étudiantes.

4.2.13. PUMP

Si une expérience utilise une pompe, celle-ci ne doit en aucun cas contenir de l'huile

4.2.14. MEDI

Les expériences médicales ne sont pas autorisées dans le cadre des expériences lycéennes et étudiantes.

4.2.15. ANIM

Les expériences impliquant des animaux ne sont pas autorisées dans le cadre des expériences lycéennes et étudiantes.

4.2.16. SERV

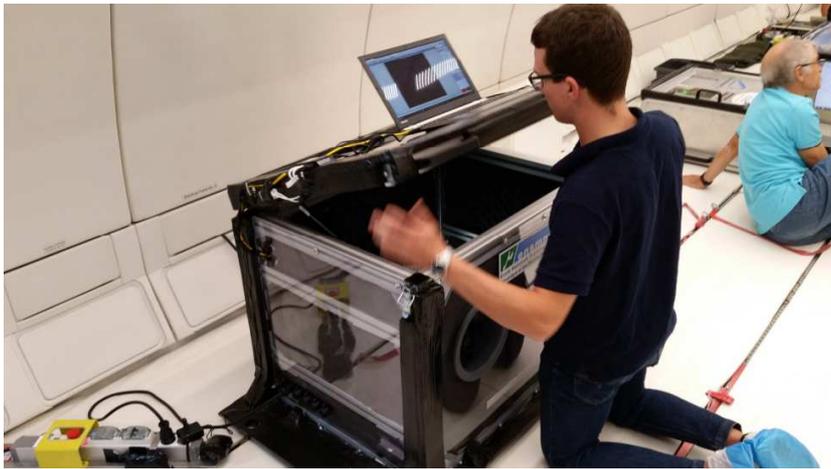
En cas de perte du courant électrique ou d'une décompression de la cabine, les expériences ne doivent pas créer de risque. La perte de pression à prendre en compte va de 830 mbar à 300 mbar en moins de 5 secondes.

4.2.17. MISC

Les expériences proposées ne doivent en aucun cas soumettre les expérimentateurs à des températures supérieures à 49°C ou inférieures à 4°C.

Tous les coins accessibles des expériences doivent être protégés par de la mousse afin d'éviter les blessures en cas de choc.

5. Moyens extérieurs au châssis



On entend par moyens extérieurs au châssis l'utilisation de PC ou de caméras vidéo. Les PC peuvent être fixés sur le couvercle du châssis à l'aide de dual lock qui est un velcro très résistant. Tout objet fixé par du dual lock doit avoir une masse inférieure à 5 kg.

la zone d'expérience. Novespace dispose d'un certain nombre de pinces permettant de fixer des caméras de type GoPro et ainsi filmer la zone d'expérience ou la zone de free floating.

Pour ce qui est des caméras, outre les caméras fixées dans le châssis d'autres caméras peuvent être fixées sur les mains courantes à proximité de



6. Conclusions

Ce document a pour but de vous familiariser avec les contraintes propres au vol parabolique. Il résulte du besoin souvent exprimé par les équipes candidates de vérifier ce qu'il est possible ou non de faire. Comme cela a été écrit plus haut, il ne remplace en rien les documents plus précis qui vous seront fournis par Novespace si vous êtes retenus pour une campagne de vol.

Il est possible qu'il ne réponde pas à la question que vous vous posez et qui n'a sans doute pas été posée préalablement tant la variété des expériences proposées est grande. N'hésitez donc pas à transmettre vos questions aux responsables CNES des vols paraboliques lycéens et étudiants, ce document sera ainsi amendé en conséquence.

Contact vols lycéens : Angelique.Gaudel-Vacaresse@cnes.fr

Contact vols étudiants : Vincent.Meens@cnes.fr