

Management de la sécurité dans les vols paraboliques européens

Safety risk management for European parabolic flights

Vincent Desroches

Ingélicance Technologies
6 rue Nicolas Leblanc, ZA
Saint Exupéry 2, 33700
Mérignac, FRANCE
+33 (0)557 92 28 80
+33 (0)685 39 11 79
vincent.desroches@ingeliance.com

Mikhail Malyshev

HE Space Operations B.V.
Huygensstraat 44, 2A,
2201DK, Noordwijk,
THE NETHERLANDS
0031 71 5658745
mikhail.malyshev@esa.int

Vladimir Pletser

ESA (European
Space Agency)
ESTEC/HSO-APS
Keplerlaan 1, 2201AZ,
Noordwijk,
THE NETHERLANDS
vladimir.pletser@esa.int

Thierry Gharib,
Frédéric Gai,
Patrice Rosier
NOVSPACE
29 rue Marcel
Issartier, 33700
Mérignac, FRANCE
contact2@novespace.fr

Résumé

Le but de cet article est d'informer la communauté de la maîtrise des risques sur les pratiques méthodologiques et organisationnelles mises en œuvre en matière d'assurance de la sécurité au cours des campagnes de vols paraboliques menées en Europe, dont la maîtrise d'œuvre est assurée par la Société NOVSPACE (filiale du CNES). Cet article décrit les processus organisationnels mis en place pour coordonner les activités et rôles des différents organismes impliqués dans la maîtrise de la sécurité : Novespace, agences spatiales clientes (ESA, CNES, DLR), DGA Essais en Vols, Expérimentateurs. Il présente également la politique de sécurité théorique et pratique mise en œuvre pour couvrir les différents types de risques lors d'un vol parabolique.

Summary

This article is intended to inform the risks management community on the safety assurance practices employed during European Parabolic Flight Campaigns (PFC). It describes PFC processes, roles and activities of involved organizations and safety assurance methodologies. It also presents the theoretical and practical safety control policy which is implemented to cover the various types of risks during a parabolic flight.

1. Introduction

1.1. Contexte

Deux organismes dans le monde seulement organisent et coordonnent de façon régulière des **campagnes de vols paraboliques**. Les vols paraboliques menés en Europe sont principalement réalisés pour le compte des agences spatiales européenne, française et allemande (ESA, CNES et DLR). La maîtrise d'œuvre de cette activité est confiée à une société française, NOVSPACE [1], filiale du CNES, située à l'aéroport de Bordeaux (France). NOVSPACE effectue en moyenne 5 à 6 campagnes de vols paraboliques par an.

Cette activité est à la **croisée de trois domaines** : l'aéronautique, la R&T (recherche et technologies), et le spatial.

- **L'aéronautique** d'abord car les vols paraboliques sont assurés par un Airbus A300 modifié (Airbus A300 ZERO-G), stationné sur l'aéroport de Bordeaux-Mérignac.
- **La R&T** (Recherche & Technologies) ensuite car un des objectifs des vols paraboliques est de mener des expériences et travaux de recherche dans des domaines scientifiques et technologiques diversifiés, portant sur la physiologie humaine et animale, sur la biologie moléculaire et des cellules, et sur la physique (dynamique des fluides, transfert thermique, nanoparticules, plasmas, physique atomique, etc.).
- **Le spatial** enfin car les vols paraboliques permettent, lors de courtes périodes pendant lesquelles il y a une diminution de la pesanteur, de conduire les investigations scientifiques et technologiques mentionnées ci-dessus, mais également de tester des instruments avant les vols spatiaux et de former des astronautes.

Les expérimentateurs de différents pays et organismes présents lors d'une campagne offrent une **diversité** technologique et de compétences considérable ; ils mettent en commun leurs propres expériences et essais conduits en laboratoire, et leurs compétences opérationnelles, pour travailler ensemble et en étroite collaboration, dans l'Airbus A300 ZERO-G.

Chiffres clés :

- 10 à 15 expériences embarquées et menées à chaque campagne de vols paraboliques.
- 55 personnes au total présentes dans ce « laboratoire volant » (expérimentateurs, membres d'équipage, encadrants Novespace, représentants de l'agence spatiale, journalistes parfois, officiels, etc.).
- durée de chaque vol parabolique : 3h30.
- 3 vols par campagne, 31 paraboles effectuées par vol, 10 minutes cumulées d'apesanteur sur un vol.
- 2 à 3 tonnes de matériels embarquées par vol.

1.2. Maîtriser la sécurité : un enjeu vital pour la pérennité de l'activité « vols paraboliques » en Europe

Assurer la **sécurité des personnes et des biens** pendant les campagnes est d'importance primordiale pour pérenniser la mise à disposition de ce service pour la communauté scientifique de recherches en micropesanté. Les dangers typiquement rencontrés sur les expériences embarquées sont de gravité critique voire catastrophique (avec, comme facteur aggravant, le confinement des systèmes dans la cabine avion, impliquant une interaction potentielle forte) :

- températures extrêmes (chaleur, cryogénie)
- matériaux, fluides et gaz dangereux (toxiques, corrosifs, explosibles, inflammables)
- radiations / rayonnements (laser, EM, ionisants)
- réactions chimiques (combustion, explosion)

- systèmes pressurisés
- matières biologiques (OGM, cancérigènes)
- systèmes comportant des pièces mobiles
- systèmes électriques et électrochimiques (batteries, onduleurs, générateurs, convertisseurs).

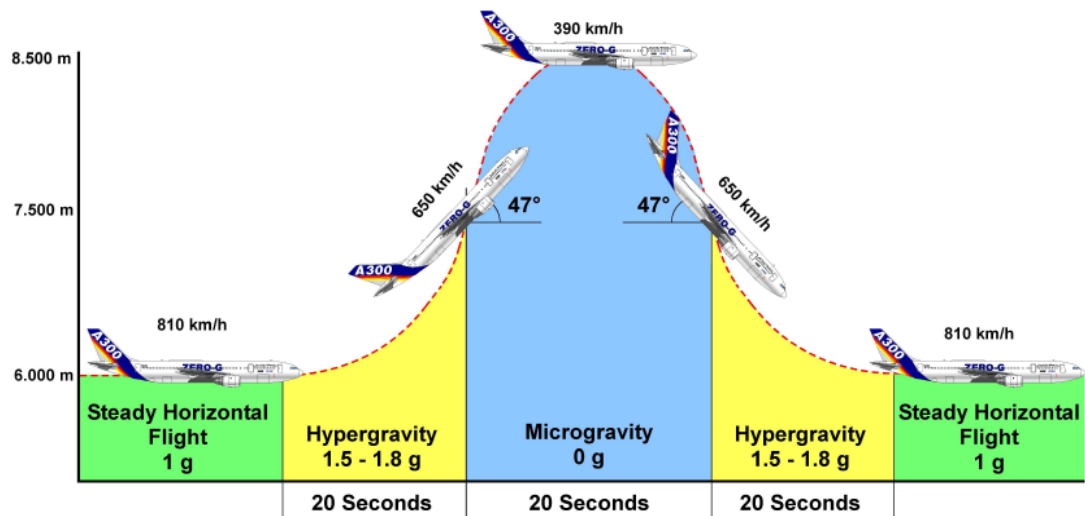


Figure 1. Profil de manœuvre d'un vol parabolique

1.3. Déroulement d'une campagne de vols paraboliques type

La campagne s'étend sur deux semaines à l'aéroport de Bordeaux-Mérignac. La première semaine est consacrée à la finalisation de la préparation des expériences et au chargement de celles-ci dans l'avion. Le lundi de la deuxième semaine a lieu une inspection de sécurité pour vérifier que toutes les mesures en matière de sécurité ont été mises en œuvre. Un briefing est organisé le lundi après-midi avec l'ensemble des acteurs. Ce briefing est consacré à la présentation des manœuvres de vol, des procédures d'urgence et de conseils médicaux ; toutes les expériences sont brièvement présentées par les chercheurs à l'occasion de ce briefing, ce qui permet à chaque équipe expérimentatrice de prendre connaissance des autres expériences. Les 3 vols de 31 paraboles chacun, ont lieu les mardi matin, mercredi matin et jeudi matin, chacun étant suivi d'un débriefing au cours duquel les besoins et demandes des chercheurs sont listés et discutés. Ce débriefing permet également de mener un retour d'expérience à chaud du déroulement du vol et des éventuels incidents survenus.

2. Organismes et acteurs

Au cours d'une campagne de vols paraboliques, **trois organismes** sont en charge de la supervision, de la conception et des opérations de sécurité aussi bien au sol que pendant les vols : l'agence spatiale (européenne, française ou allemande selon la campagne), NOVESPACE (filiale du CNES) et la DGA Essais en Vol (DGA EV, le Centre français des essais en vol).

2.1. Agences spatiales (ESA, CNES, DLR)

Les agences spatiales européenne, française et allemande [2, 3, 4, 5] contribuent aux travaux de recherche scientifique et technique en micropesanteur dans le cadre de leurs programmes respectifs de recherche en micropesanteur. Les annonces d'opportunités pour des travaux de R&T en micropesanteur menés en vols paraboliques sont ouvertes en permanence. Les groupes ou personnes individuelles désirant participer envoient leurs propositions. Celles-ci sont transmises à des entités externes sélectionnées qui établissent une analyse d'un point de vue scientifique. Après avis des entités, la faisabilité des propositions sélectionnées est étudiée d'un point de vue technique et opérationnel. Si elle est positive, une proposition d'expérience est présentée pour une campagne spécifique.

2.2. NOVSPACE

NOVSPACE [1] est une société française, filiale du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Elle est en charge, en partenariat avec les agences spatiales clientes, de la gestion de l'organisation pratique et technique lors de toute la campagne, ainsi que de la sécurité et de la logistique. En moyenne, cinq à six campagnes sont organisées par an. Le processus de gestion des campagnes par NOVSPACE est sensiblement le même pour tous les clients, des exigences et procédures spécifiques aux agences étant prises en compte selon les propres contraintes et référentiels des agences. NOVSPACE fait également appel à un expert en gestion des risques et sécurité du Groupe Ingéliance, en soutien aux revues de sécurité.

NOVSPACE réalise des vols paraboliques depuis vingt ans. Bien qu'ayant été créée en 1986, cette filiale du CNES n'a commencé cette activité qu'en février 1989 avec la Caravelle Zéro-G du Centre d'essais en vol (CEV) de la DGA. Vingt ans plus tard, NOVSPACE a réalisé 44 campagnes avec la Caravelle Zéro-G jusqu'à juin 1995 et près de 100 campagnes avec l'Airbus A300 ZERO-G depuis mai 1997. Depuis 1997, NOVSPACE a ainsi effectué plus de 11 000 paraboles et 3 missions d'observation de réentrée atmosphérique (vol depuis Acapulco et depuis Cotonou).

2.3. DGA EV

L'A300 ZERO-G n'a pas de certificat de navigabilité. Chaque vol est considéré par la DGAC, autorité de l'aviation civile, comme un vol d'essai avec un « laissez passer » ; il vole donc sous la responsabilité de la DGA Essais en Vol. La DGA (Direction Générale de l'Armement) est une entité française dépendant du Ministère de la Défense. Dans le cadre des vols paraboliques, la DGA EV (Essais en Vol) est en charge de toutes les opérations liées aux vols de l'Airbus A300 'ZERO-G'.

DGA EV fournit l'équipage des vols paraboliques. Celui-ci est composé de trois pilotes dont un commandant de bord, de deux mécaniciens navigants, d'un expérimentateur navigant d'essai, d'un chef de cabine et de trois à quatre assistants de sécurité de vol. La DGA EV étant responsable de la sécurité du vol, elle est également impliquée dans les revues et le processus d'acceptation des expériences.

2.4. Expérimentateurs

Un coordinateur principal est désigné pour chaque expérience. Interlocuteur privilégié de NOVSPACE, il est garant de la sécurité intrinsèque de l'expérience, mais également de toutes les activités de préparation au sol et des opérations en vol. Le coordinateur de l'expérience est ainsi responsable de la conception, du développement, de la fabrication, des essais et du transport des équipements constituant l'expérience, selon les lois et règles nationales applicables, et selon les exigences [6, 7] de NOVSPACE. Il est également en charge de la préparation du « dossier de sécurité de l'expérience » (ESDP : Experiment Safety Data Package) qui fournit toutes les informations techniques nécessaires demandées par NOVSPACE et l'Agence spatiale pour les revues de sécurité et pour la mise en œuvre de l'expérience à bord de l'A300 ZERO-G.

Les expérimentateurs participant aux campagnes de vols paraboliques proviennent d'horizons divers : laboratoires universitaires, centres ou instituts de recherche, sociétés industrielles privées. Des expériences développées par des étudiants sont régulièrement présentées pour voler.

Les expérimentateurs ne sont pas forcément sensibilisés ou accoutumés des contraintes en matière de management des risques sur des projets de développement tels que ceux induits par les vols paraboliques. Le retour d'expérience montre par exemple la difficulté, pour certains expérimentateurs, de se conformer aux exigences « contractuelles » du document « Rules and Guidelines » de NOVSPACE [6]. D'où l'importance de mettre en place un processus d'accompagnement et de suivi externe des expérimentateurs, afin de superviser le développement et la mise en œuvre des expériences.

3. Processus de préparation des campagnes et de management des risques

Une fois que l'Agence spatiale a sélectionné les expériences qui auront lieu lors de la campagne de vols paraboliques, la liste est envoyée à NOVSPACE pour déclenchement du processus. Le déroulement de ce processus s'étend sur 6 mois environ, jusqu'au lancement du premier vol.

Une part importante de la maîtrise des risques lors d'une campagne parabolique repose sur la coordination et la coopération entre les différents acteurs présentés au chapitre précédent. Le processus de management des risques mis en place par NOVSPACE, en partenariat avec les Agences spatiales et la DGA EV, prévoit plusieurs « revues de sécurité » collégiales aux différents stades d'avancement et de maturation des expériences.

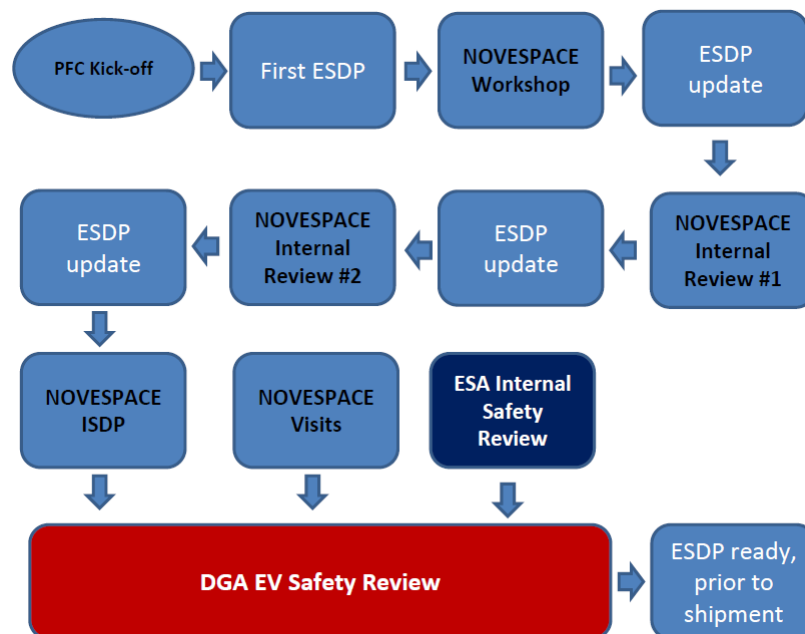


Figure 2. Synoptique des revues de sécurité lors d'une campagne de vols paraboliques (cas des campagnes ESA)

NOVSPACE nomme une personne responsable de chaque expérience (un ingénieur vols paraboliques). Dès lors que la campagne de vols paraboliques est officiellement lancée, les expérimentateurs reçoivent :

- le document « Rules and Guidelines » de NOVSPACE (RG),
- la date du *workshop de préparation*.

Le RG [6] constitue un cahier des charges ; il contient l'ensemble des exigences de conception et de sécurité que les expérimentateurs se doivent d'appliquer. Il définit également toutes les interfaces et servitudes dans l'avion, ainsi que les contraintes d'intégration qui en découlent (interfaces électriques, liaisons mécaniques, etc.). Ces règles de conception et de sécurité ont été développées conjointement par NOVSPACE et DGA EV sur la base de leur expérience des vols paraboliques. Elles intègrent également des bonnes pratiques, en matière de maîtrise de la sécurité de systèmes embarqués, issues des référentiels des Agences spatiales (notamment ESA).

Le *workshop* consiste en un « atelier de travail collaboratif » permettant de lancer le projet et d'initier le partenariat avec l'expérimentateur, puis de suivre et superviser le développement de l'expérience tout au long de la campagne. Le *workshop de préparation* consiste en une réunion d'une journée dans les locaux de NOVSPACE :

- présentation commentée par NOVSPACE des exigences « contractuelle » spécifiées dans le RG,
- présentation du processus de gestion de la sécurité sur la campagne,
- sensibilisation aux démarches et méthodologies d'analyse de risques (ex : PHA *Preliminary Hazard Analysis*),
- visite des locaux et des moyens sol de NOVSPACE, ainsi que de l'avion (ressources disponibles, espaces de travail, laboratoires, zones de stockage, outils, etc.),
- relecture commentée de la première version de l'ESDP de l'expérience (*Experiment Safety Data Package*).

Ce *workshop de préparation* est obligatoire pour tous les nouveaux arrivants ou pour toute expérience nécessitant une attention particulière. Par la suite, à intervalles réguliers, le référent NOVSPACE de l'expérience organise des revues dédiées avec l'équipe d'expérimentateurs, responsable de la conception de l'expérience, afin de s'assurer que les règles de sécurité applicables sont bien respectées, et afin d'aider les expérimentateurs à réaliser les analyses de risques demandées, lesquelles sont consignées dans l'ESDP de l'expérience. Dès la mise en place du *workshop*, les ingénieurs de NOVSPACE planifient des visites sur les sites/laboratoires des expérimentateurs.

L'**ESDP** est un document à la fois de description et de justification de la conception et de la sécurité de l'expérience, en réponse aux exigences du RG de NOVSPACE. L'ESDP permet notamment de vérifier que les exigences et recommandations de NOVSPACE en matière de maîtrise de la sécurité sont bien implémentées. L'ESDP a un formalisme imposé ; il contient les principaux chapitres suivants : Tables des mises à jour du document et des modifications de l'expérience, Objectifs de l'expérience, Description de l'expérience, Description du matériel expérimental en vol, Description des produits utilisés, Installation de l'expérience dans l'avion, Système électrique, Résistance mécanique des structures, Configuration des personnels au sol et en vol, Procédures pour opérations au sol et en vol, Évaluation des risques, Connexion à la vent-line de l'avion, Sensibilités et génération de nuisances environnementales, Exigences spécifiques pour les opérations en vol, Informations relatives à la sécurité au sol.

En matière d'évaluation des risques, il est demandé aux expérimentateurs de réaliser a minima :

- une PHA (*Preliminary Hazard Analysis*) formalisée sous la forme de « comptes-rendus de risques »,
- une analyse de robustesse de l'expérience à des agressions externes liées à l'environnement avion (ex : dépressurisation cabine, perte de l'alimentation électrique, blocage de la conduite de ventilation d'évacuation, etc.).

Pour les expériences présentant un niveau de complexité élevé ou une spécificité scientifique, NOVSPACE et/ou l'Agence spatiale peut demander la réalisation d'analyses de sûreté de fonctionnement détaillées (HAZOP, AMDEC, etc.).

Dans la pratique, dans la toute première phase de sélection des expériences, certaines sont identifiées par l'Agence spatiale, en concertation avec NOVSPACE, comme devant faire l'objet de revues plus approfondies. Cette sélection est fonction de la nature des sources de risques identifiées pour l'expérience, qui peuvent nécessiter une expertise spécifique/scientifique supplémentaire. Les exemples de risques pour lesquels des investigations systématiques sont demandées sont :

- les expériences dans des températures extrêmes (fours, cryogénie) ;
- l'utilisation de matériaux dangereux (toxiques, corrosifs, explosibles, inflammables) ;
- l'émission de rayonnements ionisants (radio-isotopes, rayons X, etc.) ;
- réactions chimiques exo-énergétiques (ex : combustion en milieu confiné) ;
- l'utilisation de produits dangereux (toxiques, cancérigènes ou supposés) ;
- l'utilisation de systèmes oxygène haute pression ;
- l'utilisation de laser de forte puissance et/ou à faisceau convergent.

Toute une série de risques génériques ne donnent pas lieu à une revue détaillée, car bien connus, appliqués à presque toutes les expériences, et vérifiés régulièrement par NOVSPACE et DGA EV, comme par exemple :

- les risques électriques (choc électrique, incendie) ;
- l'intégrité structurelle pour résister aux environnements des vols (y compris l'urgence) ;
- les risques liés aux contacts (extrémités pointues, coins, etc.) ;
- les risques liés aux enceintes sous pression du commerce ;
- les sources lumineuses laser des instruments d'observation.

Plusieurs revues internes de sécurité (*NOVSPACE Internal Reviews*) ont lieu durant la phase de préparation des expériences. Ces sessions de brainstorming sur les risques, basées sur les ESDP, donnent lieu à des commentaires et recommandations communiqués aux expérimentateurs. Dans certains cas, il arrive qu'une expérience ne soit pas validée par NOVSPACE si les risques qu'elle peut occasionner sont jugés trop élevés eu égard à ses faiblesses de conception et au manque de maturité des expérimentateurs.

En parallèle, dans le cas des campagnes ESA, l'Agence spatiale est informée du déroulement et conduit ses propres revues de sécurité internes, indépendamment de celles menées par NOVSPACE. Les résultats de ces revues sont systématiquement communiqués à NOVSPACE pour traitement par les expérimentateurs ; ceci permet également de mettre en commun les analyses de risques menées séparément par NOVSPACE et l'ESA. Un représentant de l'Agence spatiale est parfois désigné pour participer aux visites de NOVSPACE sur les sites des expérimentateurs.

Une fois l'ESDP mis à jour dans une version finale jugée acceptable par NOVSPACE et par l'Agence spatiale, il est transmis à la DGA EV. Sur la base de toutes les expériences prévues pour la campagne, NOVSPACE prépare un ISDP (*Integrated Safety Data Package*). L'ISDP décrit la configuration intégrée de l'avion pour la campagne, les zones prévues pour les expériences et les ressources associées (ex : répartition de la masse, alimentation nécessaire, et utilisation de la conduite de ventilation).

Après réception de l'ISDP, une revue de sécurité (*Safety Review*) est organisée sous la responsabilité de la DGA EV. Cette réunion regroupe, pour les campagnes ESA, les différentes organisations en charge de la gestion de la campagne et de la sécurité : NOVSPACE, DGA EV, ESA, et l'expert du Groupe Ingélicance. Les expérimentateurs ne sont pas présents à cette revue. Les expériences sont présentées une par une par les ingénieurs de NOVSPACE. De possibles ultimes modifications peuvent être demandées sur des expériences. Dans de très rares cas à ce stade du processus, si le niveau de sécurité d'une expérience n'est toujours pas jugé satisfaisant ou si l'expérience est vraiment loin d'être prête, un « no go » peut être décidé.

4. Démarche méthodologique d'évaluation et de traitement des risques

4.1. Les campagnes de vols paraboliques, un environnement multi-risques complexe

La complexité de l'activité vols paraboliques en terme de maîtrise des risques est liée à une **juxtaposition de facteurs de risques** potentiels de nature hétérogène :

- ❖ **Facteurs organisationnels :**
 - plusieurs organisations indépendantes et de culture du risque différente interviennent dans le processus de préparation des campagnes et de management de la sécurité (Cf. §2 et §3).
 - les équipements expérimentaux font l'objet de nombreuses interactions humaines au sol comme en vol (transport, montage / démontage, réglages, etc.). De nombreuses expériences sont ajustées / vérifiées juste avant les vols ;
- ❖ **Conditions d'environnement :**
 - les expériences sont la plupart du temps non testables et non vérifiables avant le vol (impossibilité de créer au sol en 1g les conditions de vol parabolique) ;
 - les conditions dans lesquelles les expériences sont menées peuvent induire des risques non présents dans les conditions de laboratoire standard (pression cabine inférieure à la pression atmosphérique, micropesanteur, hyper-pesanteur, stress des opérateurs, transitions rapides 1g / 1.8g / 0g, turbulences, dépressurisation cabine, etc.).
 - Les vols paraboliques induisent une répétition de facteurs de charge variant de 0 à 1,8g. A titre d'illustration, la Figure 3 montre ces variations sur une parabole.
- ❖ **Complexité technique et scientifique :**
 - diversité, multiplicité des expériences embarquées et des sources de dangers associées ;
 - activité relevant de la R&T, avec un faible retour d'expérience en vol (chaque installation expérimentale est unique – elle constitue un prototype – et le temps cumulé de vol pour chacune d'elle est de quelques dizaines d'heures même pour les expériences qui volent sur plusieurs campagnes) ;
 - certains phénomènes physiques, susceptibles de constituer un danger, sont l'objet même de l'expérience (en limite du domaine du connaissable) ;
 - enfin, les exigences de conception aéronautique s'appliquent à la conception des expériences (par exemple tenue à 9g en cas d'atterrissage d'urgence), ce qui rend plus complexe la conception et la fabrication des expériences par des expérimentateurs peu habitués à ce niveau de standard.

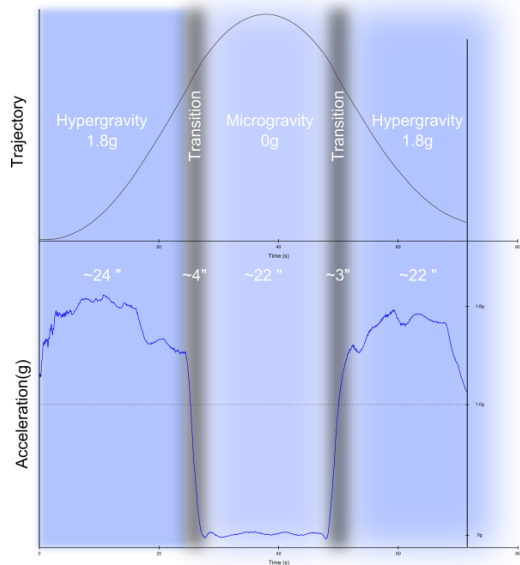


Figure 3. Profil de variation de l'accélération g

L'ensemble de ces facteurs implique la nécessité d'une **approche globale de la maîtrise du risque** (approche « système ») prenant en compte ces différentes sources de risques aussi bien scientifiques et techniques, que liées au facteur humain et à l'organisation. D'un point de vue systémique, l'**interaction** entre les différentes sources de risques mentionnées ci-dessus peut conduire à des **comportements émergents** imprévisibles, et donc à des risques émergents difficilement quantifiables.

4.2. Politique de sécurité NOVSPACE

Dans ce contexte, la démarche méthodologique de maîtrise des risques mise en œuvre lors des campagnes de vols paraboliques, et qui constitue le socle de la « Politique de sécurité NOVSPACE », repose sur **quatre grands principes directeurs** :

- I. Evaluation du risque basée uniquement sur la gravité des scénarios d'accident.
- II. Application de règles de conception de sûreté de fonctionnement.
- III. Traitement et contrôle des risques selon une démarche de sécurité en profondeur théorique et pratique.
- IV. Mise en œuvre d'un processus de management de la sécurité pendant toute la durée de la campagne.

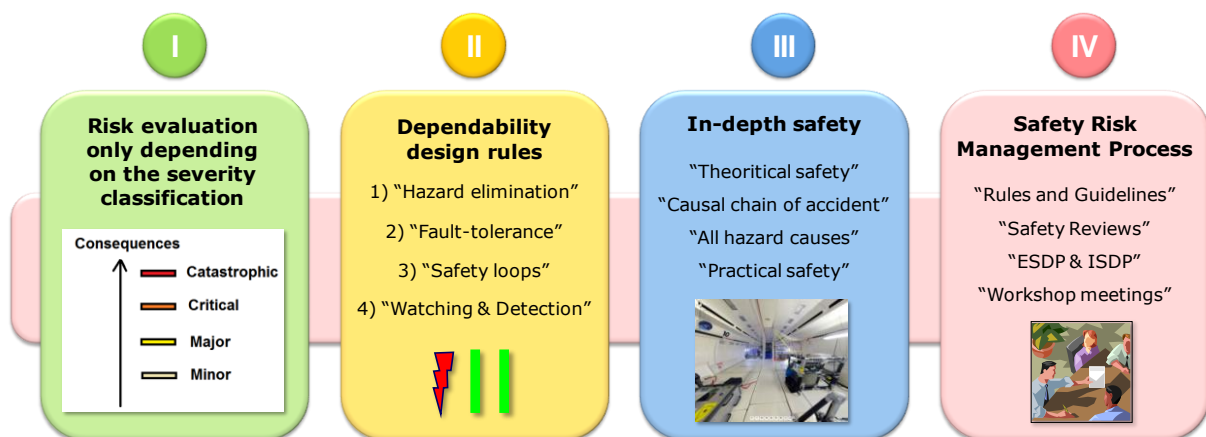


Figure 4. Politique d'évaluation et de traitement des risques de NOVSPACE

4.2.1 Principe I : Evaluation du risque basée uniquement sur la gravité des scénarios d'accident

NOVSPACE ne peut prendre en compte de données statistiques de fiabilité ou sécurité sur les installations expérimentales embarquées, car celles-ci sont uniques - prototypes - et ne fonctionnent que pendant une courte période de temps (quelques heures ou dizaines d'heures cumulées au maximum). Le retour d'expérience dans les conditions de vols paraboliques est donc faible et ne permet pas d'aborder le risque au travers de sa dimension de probabilité ou fréquence d'occurrence. Par conséquent, l'évaluation du risque est basée uniquement sur le **niveau de gravité** des conséquences des défaillances et

accidents potentiels. La grille de gravité utilisée dans le référentiel de NOVSPACE comporte quatre niveaux :

- Mineur : augmentation de la charge de travail.
- Majeur : perte de moyens de mesure, réduction des marges de sécurité.
- Critique : blessures réversibles, perte / destruction de l'expérience, expérience non opérationnelle et affectant en cascade d'autres expériences ou causant des dommages sur des équipements de l'avion.
- Catastrophique : blessures mortelles ou irréversibles, perte / destruction de l'avion ou des installations sol.

4.2.2 Principe II : Application de règles de conception de sûreté de fonctionnement.

L'architecture technique de sécurité des expériences repose sur des **règles de conception de sûreté de fonctionnement** permettant d'atteindre un niveau d'assurance de sécurité adapté à la gravité du risque. Les règles de SdF appliquées par ordre décroissant de priorité sont :

- 1) « Sûr par conception » (*Hazard elimination*)
 - 2) « Dispositifs de sécurité » (*Fault Tolerance*)
 - 3) « Boucles de sécurité automatiques » (*Safety Loops*)
 - 4) « Boucles de sécurité manuelle (procédures humaines) » (*Watching & Detection*).
- ❖ Principe de SdF « sûr par conception » : la conception du système est réalisée de telle façon que **le danger est supprimé à la source**. Exemples : utilisation d'un produit non dangereux en lieu et place d'un produit dangereux, dimensionnement de l'ensemble des composants d'un circuit à une pression égale à 2,5 fois la pression maximale de conception, utilisation d'un chauffage offrant une puissance maximale ne permettant pas physiquement de dépasser une température donnée.
 - ❖ Utilisation de dispositifs de sécurité : si le principe « sûr par conception » n'est pas applicable vis-à-vis d'un scénario dangereux, la solution privilégiée est d'intégrer un ou plusieurs **composants de sécurité**. Il s'agit de dispositifs associés à des paramètres mesurables et à des principes physiques simples (pression, température, débit, intensité, tension, etc.), qui se déclenchent lorsque les paramètres contrôlés atteignent un **seuil critique**. Exemples : valve de surpression, fusible (thermique, électrique), disque de rupture, prétensionneur de ceinture.
 - ❖ Boucles de sécurité automatisées : dans certains cas, le scénario de risque ne peut être contrôlé par un dispositif de sécurité unitaire. Dans ce cas, un « watchdog » est mis en place : il s'agit d'une **chaîne fonctionnelle de sécurité** de surveillance/détection/interprétation/action qui déclenche une action de sauvegarde en cas de détection d'un événement spécifique ou d'une dérive par rapport à un état de référence. Exemple : boucle de détection incendie (couplage détecteurs de fumée + automate d'acquisition des signaux + alarme + coupure de l'alimentation des équipements).
 - ❖ Enfin, des procédures humaines sont également mises en œuvre : surveillance des paramètres critiques du système par les opérateurs, détection des dérives dangereuses et déclenchement manuel de mécanismes de sécurité. Exemple : surveillance de la pression par un opérateur et ouverture manuelle d'une vanne de décharge en cas de danger.

A chaque fois que cela est possible, le principe « sûr par conception » est privilégié. Dans tous les cas, les principes suivants sont mis en œuvre :

- juxtaposition de plusieurs « barrières » simples et de natures différentes (logiciel, matériel, humain) ;
- adaptation du choix et du nombre de barrières selon la nature du danger et sa gravité ;
- confinement des phénomènes aux systèmes qui en sont le siège ou évacuation à l'extérieur de l'avion (via la *vent line*), de façon à limiter autant que possible les interactions physiques, chimiques, biologiques, électriques ou radiatives entre les expériences ;
- application des principes de **tolérance aux fautes** suivants :
 - tolérance à la simple défaillance ou erreur pour les dangers de gravité *Critique* : « FS » (*Fail-Safe*)
 - tolérance à la double défaillance et/ou erreur pour le niveau *Catastrophique* : « FS/FS ».

4.2.3 Principe III : Traitement et contrôle des risques selon une démarche de sécurité théorique et pratique

L'évaluation et la gestion des risques sont assurées au travers d'une démarche de **sécurité en profondeur** combinant :

- des analyses de sécurité **théorique** sur les systèmes expérimentaux, prenant en compte l'ensemble des sources de défaillances / erreurs / agressions, et basées sur l'analyse de scénarios d'accidents simples ou combinées ;
- un processus de sécurité **pratique** porté par les différents acteurs à leurs niveaux de responsabilité (expérimentateurs, NOVSPACE, DGA Essais en Vol, Agence spatiale).

Les analyses de sécurité théorique et pratique prennent en compte aussi bien les systèmes eux-mêmes que leur environnement (sol / avion, micropesanteur / hyper-pesanteur, humain). Elles sont décrites respectivement aux chapitres 4.3 et 4.4.

4.2.4 Principe IV : Mise en œuvre d'un processus de management de la sécurité pendant toute la durée de la campagne

Ce point fait l'objet du chapitre 3. Le processus de management de la sécurité mis en œuvre conjointement par NOVSPACE, l'Agence spatiale et la DGA EV, et en collaboration étroite avec les expérimentateurs, repose :

- sur la réalisation de revues de sécurité redondantes, internes puis regroupant l'ensemble des organisations ;
- sur la mise en œuvre d'un référentiel technique unique de maîtrise des risques à destination des expérimentateurs comme document applicable (*Rules and Guidelines* [6]) ;
- sur les ESDP (*Experiment Safety Data Package*) produits par les expérimentateurs.

4.3. Démarche de sécurité théorique

4.3.1 Evaluation des risques

Dès le début, NOVSPACE demande aux expérimentateurs de réaliser une **Preliminary Hazard Analysis (PHA)**, méthode d'analyse de risques couramment utilisée en phase initiale d'un projet industriel [8]. La PHA permet d'avoir une bonne vision globale de la sécurité et présente en outre deux avantages majeurs pour les expérimentateurs :

- c'est une méthode relativement simple, au moins simple à présenter et expliquer ;
- c'est une méthode d'analyse qualitative, particulièrement adaptée au contexte des vols paraboliques (cf. §4.2.1).

Les résultats de la PHA sont reportés dans l'ESDP sous la forme de **compte-rendus de risques**. Ces derniers aident les ingénieurs de NOVSPACE à évaluer si les risques identifiés sont acceptables. Par exemple, il est possible de vérifier que trois barrières sont présentes vis-à-vis d'un risque catastrophique. S'il s'avère nécessaire de détailler l'analyse de risques menée

(par exemple sur un sous-système ou process particulier présentant une forte complexité et/ou des risques élevés), il est demandé aux expérimentateurs de mener une analyse de risques plus poussée (bien souvent une HAZOP, *Hazard and Operability Analysis*). Dans le cas où une expérience présente de fortes inquiétudes liées à la sécurité, NOVSPACE peut demander la réalisation d'autres analyses de risques plus spécifiques et sophistiquées.

Dans tous les cas, **NOVSPACE accompagne les expérimentateurs** dans la réalisation de leurs analyses de risques ; des « templates » standards sont intégrés dans le document de spécifications *Rules and Guidelines* [6] afin de faciliter et homogénéiser la réalisation des analyses de risques. Enfin, NOVSPACE conseille toujours aux expérimentateurs de faire appel à des spécialistes de la maîtrise des risques.

4.3.2 Identification des scénarios d'accident

L'identification des scénarios d'accident potentiels est basée sur la **chaîne de causalité** représentée sur la **Figure 5**. La combinaison d'un danger et d'un événement contact conduit à une situation dangereuse. Cette situation dangereuse peut conduire à un accident si elle est activée par un événement amorce, éventuellement avec des facteurs d'environnement défavorables (exemples : confinement, mauvaise visibilité). A noter que l'événement amorce n'est pas forcément une défaillance technique, une agression ou une erreur humaine ; il peut s'agir d'un événement normal lié au processus de mise en œuvre de l'expérience (exemple : mise sous tension d'un équipement en début de séquence). Dans ce cas, la situation dangereuse constitue un **état dormant** d'accident qui, s'il n'est pas détecté, conduit de façon quasi-certaine à l'accident lorsque l'événement amorce survient.

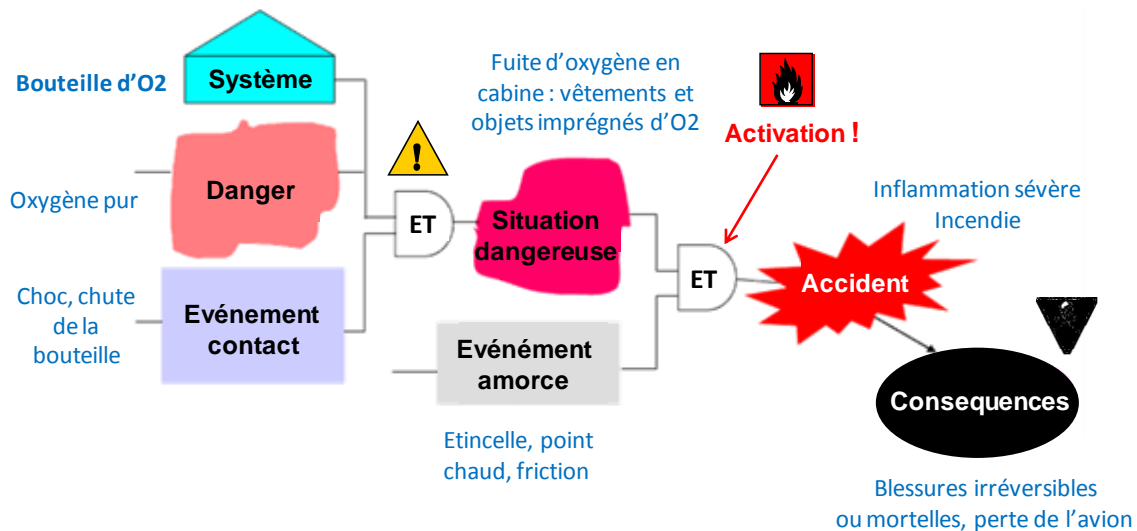


Figure 5. Chaîne de causalité utilisée pour l'identification des scénarios d'accidents

L'utilisation de cette chaîne de causalité pour l'analyse des scénarios d'accident potentiels offre l'avantage d'aboutir à une **description structurée des scénarios** sous la forme d'une combinaison d'événements simultanés ou répartis dans le temps. Cette approche offre également l'avantage de pouvoir **traiter le risque « en profondeur »** en identifiant des barrières aux différents niveaux de la chaîne de causalité :

- prévention des situations dangereuses par action sur le couple « danger » versus « événement contact » ;
- prévention de l'accident par action sur le couple « situation dangereuse » versus « événement amorce » ;
- minimisation de la gravité des conséquences en cas d'occurrence de l'accident, soit en confinant les effets dangereux, soit en protégeant les personnes et les équipements des effets.

Les risques combinés liés aux interactions entre expériences sont analysés lors des revues collégiales intégrées NOVSPACE / DGA EV / INGELIANCE (cf. §3), qui abordent les différentes expériences dans leur globalité et au travers de leurs interactions. Exemples : interférences entre expériences (ex : impact d'un voyant lumineux d'une expérience sur un capteur infrarouge d'une autre expérience), partage et gestion de la puissance électrique distribuée entre expériences, gestion de l'espace dédié aux expériences afin de minimiser les interactions physiques (cloisonnement, éloignement).

4.4. Sécurité pratique

La sécurité pratique lors des campagnes de vols paraboliques consiste globalement à **contrôler** d'une part que l'expérience est conforme à la configuration de définition validée lors de la revue de sécurité finale (cf. §3), et d'autre part que les mécanismes de sécurité prévus dans le cadre de l'analyse de risques sont présents et fonctionnels (ceci inclut la vérification des certificats de conformité liés par exemple à des tests d'épreuve).

Ce **processus d'acceptation** des expériences avant les vols consiste en plusieurs étapes visualisées dans le synoptique de la **Figure 6** (page suivante). Il est managé par un responsable de campagne chez NOVSPACE et comprend :

- des inspections et contrôles au sol par NOVSPACE avant chargement des expériences dans l'avion,
- des inspections de sécurité par la DGA EV avant les vols.

Les vérifications menées par NOVSPACE **au sol** sont conduites à l'aide de check lists rassemblant un ensemble de **points de contrôles**. Le but de ces contrôles au sol est de s'assurer que l'équipement est strictement conforme à la description de conception définie dans l'ESDP. Les points de contrôle réalisés par NOVSPACE sur chaque expérience sont de cinq natures.

C0 - Vérification que les expérimentateurs **connaissent** parfaitement leur installation sous ses différents aspects (fonctionnel, technique, opérationnel, sécuritaire) et qu'ils ont connaissance des risques que leur expérience est susceptible de générer (passage en revue des compte-rendus de risques) ; les points de contrôle C0 incluent : un briefing de sécurité, des contrôles d'entrée des équipements, la vérification de la documentation papier (ESDP final, certificats, documents d'assurance, plan de prévention, etc.).

C1 - Contrôle des **interfaces** (points de jonction, masse, centre de gravité, puissance électrique, protections électriques...)

- C2 - Vérification des **mécanismes de sécurité** des équipements de l'expérience pris individuellement et vérification de la bonne prise en compte des remarques issues des revues de sécurité (ex : remplacement d'une cellule d'expérience initialement prévue en verre par une cellule en polycarbonate, ajout d'un fusible électrique en aval d'un équipement sensible, ajout d'un clapet de surpression sur une enceinte, sécurisation de la trappe d'accès à un laser de classe 4, etc.) ; une fois ces contrôles effectués, les équipements peuvent être mis sous tension.
- C3 - Vérifications **fonctionnelles** de l'expérience dans son ensemble et tests (si non destructifs) des boucles de sécurité ;
- C4 - **Inspections** finales avant chargement de l'expérience dans l'avion (propreté, clôture des points restés ouverts, installation d'étiquettes de sécurité, etc.).

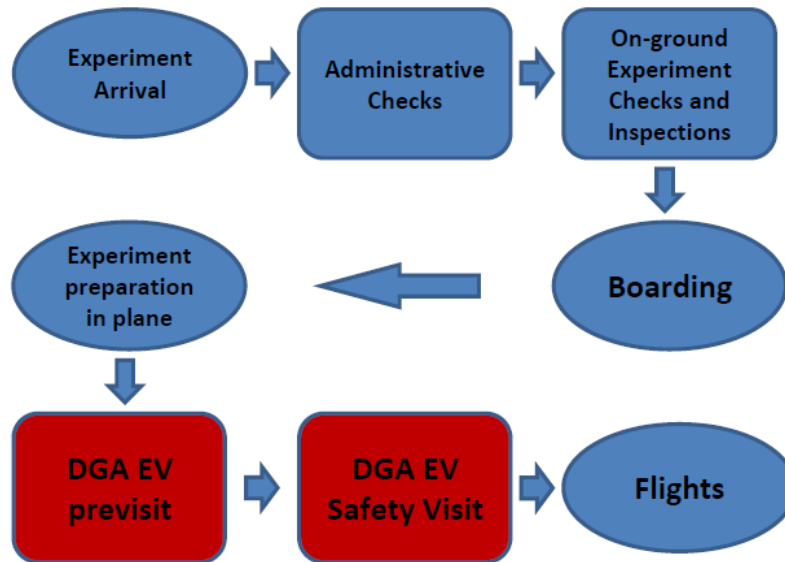


Figure 6. Préparation et qualification d'une expérience pour le vol

Une fois l'expérience contrôlée au sol, elle est embarquée et installée à l'emplacement prévu à bord de l'avion. Les expérimentateurs peuvent alors la mettre à la **configuration du vol** et procéder à toutes les vérifications techniques et fonctionnelles avant le vol. L'équipement est alors prêt pour la pré-inspection de sécurité de la DGA EV puis pour l'inspection finale. Les deux inspections ont lieu à bord de l'avion, dans la configuration de l'expérience en vol.

- La pré-inspection a lieu dans l'avion environ cinq jours avant le premier vol. Elle vise à détecter au plus tôt tout problème sérieux et consiste généralement en des contrôles mécaniques et électriques par le personnel de DGA EV.
- L'inspection de sécurité finale a lieu la veille du premier vol en présence de l'ensemble du personnel responsable de NOVSPACE et de la DGA EV : les ingénieurs de vols paraboliques de NOVSPACE, le commandant de bord, le chef de cabine, l'ingénieur de vol, le coordinateur de projet de DGA EV, le médecin, et les spécialistes des domaines mécanique et électrique.

A noter que la plupart des personnes présentes aux revues de sécurité et aux contrôles participent également aux vols réels.

Enfin, citons le fait que la succession de phases de micropesanteur et d'hyper-pesanteur lors des vols paraboliques peut provoquer des cinétoses (le mal des transports) et gêner ainsi les participants dans l'exécution de leurs tâches, voire conduire à des situations dangereuses (erreur de manipulation, erreur de perception conduisant à une réaction inappropriée face à un événement). Pour réduire ce risque lié au **facteur humain**, d'une part le médecin de vol distribue avant chaque vol des doses adaptées de scopolamine (un anti-nauséeux puissant) aux primo-volants et aux expérimentateurs potentiellement affectés par le mal des transports ; d'autre part, les assistants de sécurité de vol de DGA EV et les ingénieurs de vols paraboliques de NOVSPACE sont en permanence physiquement présents dans la zone des expériences, **prêts à intervenir** et à prendre la main sur une expérience en cas d'incident ou d'action illicite. Les expériences particulièrement sensibles et les expérimentateurs primo-volants font l'objet d'une attention plus particulière. Un médecin participe à tous les vols pour superviser les opérations en vol sur le plan médical et ainsi aider les participants malades.

5. Comparaison avec les politiques de sécurité appliquées dans d'autres organisations

5.1. Station spatiale internationale (ISS)

Dans les campagnes de vols paraboliques ESA [9, 10], la revue de sécurité interne indépendante menée par l'ESA est conduite par un expert du département opérationnel des « charges utiles » de l'ESA (PSRP : *Payload Safety Review Panel*). Un des rôles de l'ESA PSRP est de vérifier la conformité des dispositifs scientifiques embarqués avec les exigences de sécurité du **programme de l'ISS** (*International Space Station*). Par conséquent, les résultats issus des revues de sécurité internes menées par l'ESA dans le cadre des campagnes de vols paraboliques de NOVSPACE, sont fortement influencés par les exigences de la politique de sécurité du programme ISS. La politique en matière d'assurance sécurité et les exigences appliquées dans une campagne de vols paraboliques NOVSPACE sont ainsi très **similaires** à celles mises en œuvre pour les expériences embarquées dans la station ISS.

Tout comme pour l'ISS, les principes de conception de sûreté de fonctionnement appliqués dans les programmes de vols paraboliques sont, par ordre de priorité :

- élimination des risques par conception (principe *sûr par conception / hazard elimination*) ;
- implémentation de dispositifs de sécurité pour les risques qui ne peuvent être éliminés par conception.

Dans le cas du programme ISS tout comme pour les vols paraboliques, la maîtrise des risques qui ne peuvent pas être éliminés par conception repose sur le principe de **tolérance aux fautes** ; d'autre part, les critères de tolérance aux fautes appliqués aux

dispositifs expérimentaux embarqués dans l'ISS sont similaires à ceux exigés pour les expériences dans l'Airbus A300 ZERO-G : tolérance à la double défaillance ou erreur pour les risques de gravité catastrophique, et tolérance à la simple défaillance ou erreur pour les risques de gravité critique (les échelles de gravité étant par ailleurs similaires). L'application des mêmes principes de tolérance aux fautes pour les campagnes de vols paraboliques de NOVESPACE et pour les dispositifs scientifiques embarqués dans l'ISS trouve son origine dans le fait que ces deux activités s'appliquent sur des prototypes pour lesquels on dispose de peu de données statistiques permettant d'élaborer des modèles quantitatifs de sécurité fonctionnelle.

La comparaison en matière d'assurance de sécurité entre le programme ISS et les campagnes de vols paraboliques NOVESPACE doit toutefois être **nuancée** par le fait que le contexte opérationnel des vols paraboliques est différent de celui de la station ISS. Pendant les vols paraboliques, les expériences sont **en permanence sous contrôle** des expérimentateurs eux-mêmes et de l'équipage de DGA EV dédié. La durée d'un vol est d'environ trois heures et les expérimentateurs ont du temps pour des opérations de maintenance et autres ajustements pour la préparation du vol du lendemain. Par contre, en environnement ISS, les dispositifs expérimentaux doivent assurer **leur propre sécurité** pour des périodes plus longues (semaines ou années), et souvent dans des conditions opérationnelles et de manipulations non surveillées.

Les différences liées à la façon de maîtriser certains risques peuvent être illustrées par les moyens de lutte incendie par exemple. Les expériences embarquées dans l'Airbus A300 ZERO-G doivent prévoir des moyens permettant une intervention rapide par l'équipage en cas de situation dangereuse avérée. Par exemple : un arrêt d'urgence de coupure d'alimentation (bouton rouge 'coup de poing') est exigé et installé pour chaque expérience. Pour les équipements scientifiques embarqués dans l'ISS, les exigences liées à la détection et à la lutte incendie sont bien présentes, mais l'accent est davantage porté sur le contrôle des sources potentiellement inflammables et sur la limitation des risques de propagation d'incendie par l'utilisation de matériaux non inflammables. Cela nécessite donc un travail de conception et d'analyse de sûreté de fonctionnement plus détaillé de la part des concepteurs, et axé sur la prévention des initiations d'incendie. Cette approche pleinement préventive n'est pas forcément adaptée ou nécessaire pour les expériences des vols paraboliques puisque la surveillance continue assurée par l'équipage permet une intervention rapide en cas d'incendie.

5.2. Programme de vols paraboliques de la NASA au Johnson Space Center

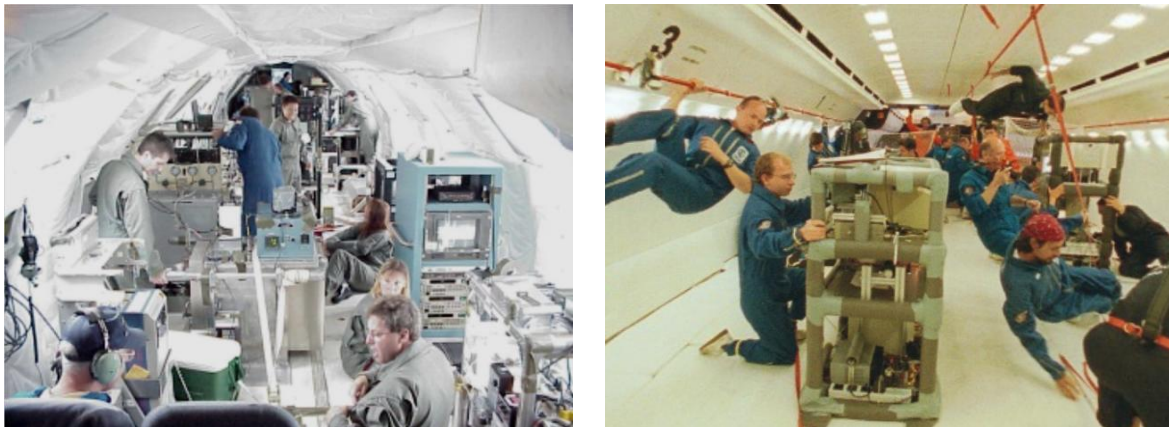


Figure 7. Visualisation des conditions expérimentales à bord (à gauche : NASA, à droite : NOVESPACE)

La politique de sécurité appliquée dans les campagnes de vols paraboliques menées par la NASA depuis le Johnson Space Center dans l'avion KC-135 [11] présente de nombreuses similitudes avec les pratiques de sécurité de NOVESPACE :

- un processus de validation des expériences, basé sur la réalisation de plusieurs revues de sécurité (*multi-stage reviews*) est mis en œuvre, l'approbation par plusieurs autorités étant requise pour autoriser une expérience à voler ;
- les exigences de sécurité applicables par l'ensemble des acteurs et des équipements sont définies dans un « *User's Guide* » ;
- chaque expérimentateur doit fournir, au moins six semaines avant le premier vol, un *Test Equipment Data Package* (TEDP) qui décrit la conception de l'expérience sous tous ses aspects (dont les aspects risques) ;
- une revue finale de sécurité (TRR : *Test Readiness Review*) est menée pour chaque expérience juste avant le vol : elle inclut une revue complète de la documentation (TEDP et analyses de risques), une inspection de l'équipement expérimental, et une dernière vérification de l'aptitude au vol une fois l'équipement embarqué. Lors de cette TRR, il est demandé aux expérimentateurs de faire fonctionner leur installation et de démontrer leur connaissance des procédures de sécurité.

La **différence majeure** entre les pratiques de sécurité mises en œuvre par NOVESPACE et par la NASA (telles qu'elle peut être évaluée au travers du document [11]) concerne l'**accompagnement des expérimentateurs** dans la phase amont de conception des expériences. Il apparaît que NOVESPACE communique et accompagne davantage les expérimentateurs. Le processus mis en place par la NASA est probablement davantage destiné à des organisations d'ingénierie déjà familières avec des exigences industrielles. L'approche de NOVESPACE semble mieux adaptée à des expérimentateurs scientifiques, peu habitués (en règle générale) à une démarche formelle d'ingénierie industrielle en mode projet.

6. Estimation des zones de risques résiduels et des vulnérabilités émergentes

Le processus de management de la sécurité décrit aux chapitres 3 et 4 permet indéniablement de réduire le risque d'accidents au cours d'une campagne de vols paraboliques. Toutefois, **il apparaît difficile (pour ne pas dire impossible) de quantifier la maîtrise du risque obtenue, c'est-à-dire de disposer d'un indicateur du niveau de risque résiduel.** Celui-ci est-il élevé ? faible ? très faible ? Certainement « plutôt » faible, mais il est impossible de le démontrer *a priori* de façon formelle. Ceci est dû à la spécificité du contexte scientifique et technique de cette activité qui se trouve, par certains aspects, en limite du domaine du connaissable (ex : certains phénomènes physiques susceptibles de constituer un danger sont l'objet même de l'expérience).

Si une estimation quantitative du risque résiduel n'est pas envisageable raisonnablement, certaines sources de **vulnérabilités émergentes ou latentes** sont clairement identifiées par NOVESPACE et les Agences spatiales. Citons :

- la complexité toujours croissante des installations expérimentales embarquées dans l'Airbus A300 ZERO-G augmente le risque de « passer à côté » de scénarios potentiels de défaillances ou erreurs ;
- l'intégration dans les expériences de technologies de pointe (ex : réalité virtuelle), de matériaux nouveaux (ex : nanoparticules, plasmas) et de moyens d'instrumentation de haute énergie (ex : LASER classe 4, caméras rapides) dans des process expérimentaux pilotés informatiquement de A à Z, rend possible des expériences qui n'étaient pas réalisables dans un passé récent, ce qui implique de nouveaux types de risques à considérer ;
- certaines expériences revolent maintenant régulièrement depuis plusieurs campagnes ; ceci induit des facteurs de risques nouveaux ou un accroissement de certains risques qui étaient jusqu'à présent négligeables : phénomènes de vieillissement et de fatigue (ex : joints, structures), dégradation prématurée de harnais électriques, perte d'efficacité de certains dispositifs de sécurité (encrassement, dérèglement, jeu mécanique), évolutions mineures d'une expérience non mentionnées dans l'ESDP et/ou non répercutées dans une réévaluation des risques.

Ces différentes sources de risques émergentes sont d'autant plus hasardeuses et difficiles à anticiper que les équipements et les structures subissent des conditions inédites de micropesanteur, hyper-pesanteur, et des transitions rapides 0g / 1.8g / 1g.

Face à cela, certaines procédures devront être renforcées, voire de nouvelles procédures créées :

- formation des évaluateurs à des technologies ou domaines scientifiques nouveaux ;
- sensibilisation et travail en étroite collaboration avec les expérimentateurs afin de s'assurer qu'ils utilisent correctement les nouvelles technologies qu'ils intègrent et qu'ils ont connaissance des risques associés ;
- vérification du respect scrupuleux des procédures et mise en place, au besoin, de nouveaux points de contrôles ;
- traitement des risques liés au vieillissement et à la fatigue dans des compte-rendus de risques dédiés ;
- ré-épreuve de tout ou partie d'installations ou remplacement préventif d'éléments d'usure.

7. Conclusion

Le processus de management des risques mis en œuvre dans les campagnes européennes de vols paraboliques est basé sur une « redondance » des **revues de sécurité** et un **processus d'approbation** en plusieurs étapes (voir Fig.2 §3 et Fig.5 §4.4). Cette redondance porte sur deux aspects : la revue des ESDP des expériences (sécurité théorique) et la revue des équipements (sécurité pratique). Plusieurs revues sont systématiquement menées sur ces deux aspects théorique et pratique de la sécurité. D'autre part, les personnes participant à ces revues sont toutes des spécialistes de domaines différents : depuis le commandant de bord jusqu'au médecin de vol, en passant par le spécialiste électrique de la DGA EV, l'ingénieur-chimiste de NOVESPACE et les experts en disciplines de l'ingénierie de l'ESA. NOVESPACE a capitalisé une forte expérience des dangers et scénarios d'accidents potentiels pouvant survenir sur différents types d'expériences ; d'autre part, l'ESA, de par son implication, apporte son expérience et expertise en matière d'assurance de sécurité, notamment liée au programme ISS.

Il est important de noter que les organisations intervenant dans la maîtrise de la sécurité durant une campagne de vols paraboliques ont leur propre pratique opérationnelle et technique de l'assurance sécurité ; et même si la sécurité est un but commun, des différences perceptibles apparaissent dans l'évaluation des risques. Ces légères différences de vues ont notamment des implications sur les exigences techniques relatives à la conception des expériences et sur le processus d'acceptation des systèmes à bord de l'Airbus A-300 ZERO-G. Un des enjeux de la maîtrise de la sécurité réside donc d'une part dans la **coopération** et le **partage d'expérience** entre les parties prenantes, et d'autre part dans la mise en place d'un **référentiel** technique et opérationnel de maîtrise du risque, partagé et mis en œuvre par l'ensemble des acteurs.

Un certain nombre d'expériences revolent maintenant régulièrement depuis plusieurs campagnes, souvent dans la même configuration ou dans une configuration similaire. Ces équipements présentés pour le vol ont donc déjà une histoire opérationnelle cumulée, mais sur certains aspects seulement : essais au sol, transport, montage/démontage, manutention, mise en œuvre en vol. **De nouvelles sources de risques**, peu ou pas abordées jusqu'à présent, doivent impérativement être prises en compte, particulièrement pour ces expériences qui comptabilisent plusieurs campagnes de vols. Citons : le vieillissement et la fatigue des structures, l'usure prématurée d'éléments, le dérèglement de dispositifs de sécurité. Dans ces domaines, le programme ISS bénéficie de retours opérationnels positifs, exploitables statistiquement, et transposables au contexte des vols paraboliques. La prise en compte plus approfondie et plus systématique de ce retour d'expérience « ISS » constitue des axes d'investigation actuels pour NOVESPACE.

Enfin, la maîtrise des risques dans une campagne de vols paraboliques passe en premier lieu par les **expérimentateurs eux-mêmes** qui doivent connaître et comprendre leur expérience, et avoir un point de vue critique par eux-mêmes sur les risques qu'elle peut occasionner.

Références

- [1] www.novespace.fr
- [2] www.esa.int/SPECIALS/HSF_Research/SEMU945XT9G_0.html
- [3] Pletser, V. Short duration microgravity experiments in physical and life sciences during parabolic flights: the first 30 ESA campaigns, 2004, Acta Astronautica, 55, 829-854.
- [4] www.cnes.fr/web/CNES-fr/617-a300-zero-g.php
- [5] www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10002
- [6] NOVESPACE, 2009, Novespace A300 Zero-G Rules and Guidelines, RG-2009-2, issue 2.
- [7] NOVESPACE, 2008, Working Rules at Novespace, Health and Safety Guide, HS-2008-1.
- [8] Alain Desroches, Dominique Baudrin, Michel Dadoun, 2009, L'Analyse Préliminaire des Risques - Principes et pratiques. Hermes Lavoisier.
- [9] 5th IAASS Conference (International Association for the Advancement of Space Safety), 2011, Versailles, Safety Risk Management for ESA Parabolic Flights.
- [10] ELGRA-2011 Symposium, 2011, Belgium, ESA Review of Equipment on ESA Sponsored Parabolic Flights.
- [11] NASA, 2000, Johnson Space Center Reduced Gravity Program User's Guide, Aircraft Operations Division, Revision D.