

Le programme de séances d'exploration de l'univers spatial est engagé par l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire arts-sciences du CNES dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial. La quatrième séance ouvre une nouvelle série sur les « formes et nécessités » des véhicules spatiaux. Elle est consacrée aux différents ballons qu'utilise la recherche spatiale depuis plus de cinquante ans pour mener à bien des expériences inédites. Comment sont déterminées leurs formes et leurs caractéristiques techniques ? Quelles sont les contraintes de fabrication et de mise en œuvre ? Pour atteindre quels objectifs scientifiques et technologiques ?

Séances d'exploration de l'univers spatial

Séance n°4 : Formes et nécessités des ballons stratosphériques

Observatoire de l'Espace, laboratoire arts-
sciences du CNES

Séances d'exploration de l'univers spatial

Dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial, l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire arts-sciences du CNES a ouvert un programme triennal de séances d'exploration de l'univers spatial.

Chaque séance d'exploration aborde une notion qui revient régulièrement dans les projets d'artistes et d'écrivains du programme, afin de donner accès à un large savoir sur le thème évoqué. Témoignages d'acteurs du monde spatial, exposés de chercheurs en sciences exactes ou en sciences humaines, présentation de documents d'archives documentaires ou audiovisuelles composent le programme de chaque séance. Un temps d'échanges et de discussion est également réservé à la fin de chaque séance entre les participants et avec les intervenants.

Les premières séances d'exploration ont été consacrées au corps transformé du point de vue physiologique et au confinement, tant du point de vue des effets psychologiques qu'entraîne cet état sur l'homme que du point de vue architectural si l'on s'attache aux contraintes que cela impose aux habitats spatiaux.

La quatrième séance ouvre une nouvelle série sur les « formes et nécessités » des véhicules spatiaux. Elle est consacrée aux différents ballons qu'utilise la recherche spatiale depuis plus de cinquante ans pour mener à bien des expériences inédites. Comment sont déterminées leurs formes et leurs caractéristiques techniques ? Quelles sont les contraintes de fabrication et de mise en œuvre ? Pour atteindre quels objectifs scientifiques et technologiques ?

Vincent Dubourg, sous-directeur en charge des projets ballons au sein de la Direction des systèmes Orbitaux du CNES a présenté les problématiques du ballon spatial en trois chapitres : le rôle des ballons dans la recherche spatiale menée par le CNES et leurs les objectifs scientifiques et technologiques ; une typologie des ballons ; les différentes campagnes déjà menées. Son intervention a été étudiée et commentée par le philosophe et romancier Pierre Alféri. La séance a été animée par Michel Viso du Centre national d'études spatiales (CNES).

Programme

La séance s'est organisée autour de trois axes : l'historique des ballons stratosphériques et les intérêts scientifiques pour le CNES de ces véhicules ; une typologie des différents ballons et enfin une évocation des différentes campagnes de vol.

1. L'historique des ballons stratosphériques du CNES

Cette partie était introduite par la lecture d'un extrait de Edgar Allan Poe, *The Unparalleled Adventure of One Hans Pfaall*, ou *Aventure sans pareille d'un certain Hans Pfaall*, selon la traduction de Charles Baudelaire. Le texte est un canular journalistique paru en 1835 sous forme de nouvelle dans le magazine mensuel américain *Southern Literary Messenger*. L'histoire de Hans Pfaall, raccommodeur de soufflet, qui tua ses créanciers et décida de voyager jusqu'à la Lune dans un ballon qu'il aurait construit lui-même après avoir découvert un manuel d'astronomie spéculative chez un bouquiniste de Rotterdam :

[...] je me procurai, en diverses fois, plusieurs pièces de très-belle batiste, de douze yards chacune, - de la ficelle, - une provision de vernis de caoutchouc, - un vaste et profond panier d'osier, fait sur commande, - et quelques autres articles nécessaires à la construction et à l'équipement d'un ballon d'une dimension extraordinaire. Je chargeai ma femme de le confectionner le plus rapidement possible, et je lui donnai toutes les instructions nécessaires pour la manière de procéder.

En même temps, je fabriquais avec de la ficelle un filet d'une dimension suffisante, j'y adaptais un cerceau et des cordes, et je faisais l'emplette des nombreux instruments et des matières nécessaires pour faire des expériences dans les plus hautes régions de l'atmosphère. Une nuit, je transportai prudemment dans un endroit retiré de Rotterdam, à l'est, cinq barriques cerclées de fer, qui pouvaient contenir chacune environ cinquante gallons, et une sixième d'une dimension plus vaste ; six tubes en fer-blanc, de trois pouces de diamètre et de quatre pieds de long, façonnés ad hoc ; une bonne quantité d'une certaine substance métallique ou demi-métal, que je ne nommerai pas, et une douzaine de dames-jeannes remplies d'un acide très-commun. Le gaz qui devait résulter de cette combinaison est un gaz qui n'a jamais été, jusqu'à présent, fabriqué que par moi, ou du moins qui n'a jamais été appliqué à un pareil objet. Tout ce que je puis dire, c'est qu'il est une des parties constituantes de l'azote, qui a été si longtemps regardé comme irréductible, et que sa densité est moindre que celle de l'hydrogène, d'environ trente-sept fois et quatre dixièmes. Il est sans saveur, mais non sans odeur ; il brûle, quand il est pur, avec une flamme verdâtre ; il attaque instantanément la vie animale. Je ne ferais aucune difficulté d'en livrer tout le secret, mais il appartient de droit, comme je l'ai déjà fait entendre, à un citoyen de Nantes, en France, par qui il m'a été communiqué sous condition.

Le même individu m'a confié, sans être le moins du monde au fait de mes intentions, un procédé pour fabriquer les ballons avec un certain tissu animal, qui rend la fuite du gaz chose presque impossible ; mais je trouvai ce moyen

beaucoup trop dispendieux, et, d'ailleurs, il se pouvait que la batiste, revêtue d'une couche de caoutchouc, fût tout aussi bonne. Je ne mentionne cette circonstance que parce que je crois probable que l'individu en question tentera, un de ces jours, une ascension avec le nouveau gaz et la matière dont j'ai parlé, et que je ne veux pas le priver de l'honneur d'une invention très-originale.

Le ballon a été l'un des premiers vecteurs permettant le passage dans la troisième dimension, son histoire commence avec les frères Montgolfier puis de manière scientifique avec Dolfus, dès 1950. Cette séance ne retrace pas tout l'historique mais s'intéresse aux débuts de l'activité en France à travers les établissements scientifiques.

Cette plongée dans l'histoire des ballons a été l'occasion de revenir sur les rôles clés joués, dès la fin des années 1950 et le début des années 1960, par Jacques Blamont du Service d'Aéronomie du CNES et Robert Régipa, officier de l'armée de l'air, recruté pour diriger cette nouvelle activité. Il a fait travailler toute sa famille dans la région parisienne à l'assemblage et au soudage des premières enveloppes ballons. Le premier vol a lieu en 1961, il s'agit d'un ballon de 3 000 m³ soit la taille montgolfière. C'était un ballon tétraédrique (sorte de berlingot), forme inventée par Régipa qui compensait un manque d'aérodynamie par une facilité de fabrication (peu de coutures).

L'activité prend rapidement de l'ampleur avec des campagnes aux îles Kerguelen dès 1962 et l'inauguration d'un site consacré à Aire-sur-Adour avec un premier vol en 1964. Cette base spatiale d'un nouveau genre devient une base CNES en 1965 et tout accélère puisqu'en 1968 on lance déjà un ballon de 100 000 m³, fabriqué à proximité de la base par la société Potez. Depuis, des records ont été battus, notamment en 1982, lorsque le CNES lâche un ballon de 1 000 000 m³ qui atteint une altitude de 47 km, où il n'y a presque plus d'atmosphère, c'est la limite de l'Espace.

Cette activité ballon présente beaucoup d'avantages comparés à un vol de fusée puisque elle permet une rapidité de (3-5 ans, contre 10-20 ans pour un projet de satellite) et une souplesse liées au peu de contraintes techniques et logistiques qu'elle engendre comparativement. Les expériences peuvent être lourdes (1 tonne), volumineuses (2-3 m), pas besoin de résister aux accélérations et aux vibrations d'un lanceur. On a également la possibilité de récupérer et de réutiliser les nacelles et les instruments, au cours d'une même campagne.

De plus, les altitudes qu'elle permet d'atteindre et la durée d'enregistrement apportent une réelle complémentarité par rapport aux projets de satellite. Les ballons font des mesures plus haut que les avions, plus longtemps que les fusées sondes. Ainsi, les missions ballons remplissent des objectifs liés à l'étude de l'atmosphère, à la météorologie, l'aéronomie, l'astronomie mais également la calibration d'équipement et la mesure de satellites.

2. La typologie des ballons du CNES



Cette partie était introduite par la diffusion d'un extrait de *Himmelskibet* (A Trip to Mars) de Holger-Madsen, un space-opéra muet, premier film de science-fiction danois sorti en février 1918 dans lequel le héros, Aventi Planetaros, se lance dans la construction d'un dirigeable pour partir sur Mars. Une fois arrivé sur la planète, l'équipage découvre un peuple pacifiste et végétarien que la fille du leader martien quittera afin d'accompagner le héros pour délivrer son message de paix sur Terre.

Un ballon est une enveloppe fermée qui contient un gaz plus léger que l'air à la différence d'une montgolfière qui a de l'air chaud. Dans cette catégorie de ballons fermés, il y a bien entendu les dirigeables et les ballons passifs, ceux que nous envoyons, qui subissent les vents d'altitudes, ils se déplacent avec la masse d'air. A cause du phénomène de perméation, mêmes les enveloppes étanches fuient et petit à petit se vident du gaz plus léger que l'air, les ballons passifs ont donc un temps de vol contraint par ce phénomène malgré leur étanchéité.

Avec les Etats-Unis, l'activité ballon est une spécificité française qui développe une gamme complète de véhicule en fonction des objectifs à atteindre et des contraintes d'exploitation à encadrer. La durée de vol, le volume du ballon, l'hélium ou l'air employés au décollage sont autant de données propres à chaque objet volant : la Montgolfière Infra-rouge ; le Ballon Pressurisé Sphérique ; Ballons Pressurisés stratosphériques ; Ballons longue-durée ; Ballons Pressurisés Couche Limite ; AEroClipper.

Il existe quelques différences techniques entre tous ces ballons s'ils sont ouverts ou fermés :

BSO : Ballon stratosphérique ouvert à la base ; au plafond, le gaz porteur en excès sort de l'enveloppe afin d'éviter la surpression (et l'éclatement). La pression à la sortie de la manche d'évacuation égale la pression atmosphérique. Pression différentielle au point supérieur du ballon positive très faible. En quelques mots, c'est un ballon très fin, avec

une masse embarquée importante mais une durée de vol relativement faible. En effet, ce ballon est fait d'un polyéthylène très fin (10-15 microns) qui supporte mal les pressions circonférentielles mais très bien les pressions longitudinales. Sa forme en goutte d'eau inversée permet d'éviter toutes les mauvaises pressions et sa résistance lui fait supporter une charge utile de 2 tonnes. Ce ballon peut voler quelques jours (environ 20). De plus, il faut prendre en compte l'importance des aspects thermiques et des différences de température entre jour/nuit, ces différences dans les effets radiatifs visible (direct et albédo) et Infrarouge (montant et descendant) jouent sur l'altitude du ballon et entraîne une gestion du lest. A chaque fois que la chaleur augmente, il monte et perd de l'hélium.

BPS, BPCL, BLD, Aéroclipper (cf. tableau ci-dessous) : Ballons fermés pressurisés; contrairement au précédent, la densité d'air à l'intérieur est constante, il peut donc réaliser des vols de longue durée. De même, son enveloppe a une épaisseur plus importante mais la charge utile qu'il peut supporter est plus faible que celle d'un ballon ouvert.

	BSO (Ballon Stratosphérique Ouvert)	BPS (Ballon Pressurisé Stratosphérique)	BLD (Ballon Léger Dilatable)	BPCL (Ballon Pressurisé Couche Limite)	AEC (AéroClipper)
Utilisation scientifique des ballons					
Les différentes disciplines scientifiques	Physique et dynamique et chimie de la stratosphère, astronomie	Chimie et dynamique de l'atmosphère	Chimie, Validation d'instruments, (Accompagnement BPCL par exemple) et profils verticaux	Exploration des phénomènes météorologiques au sein de la couche limite atmosphérique	Etude simultanée de la surface marine et des basses couches de l'atmosphère. Etude in situ des cyclones
Caractéristiques BALLONS					
Type ballon	Ouvert, non pressurisé	Ballon pressurisé	Ballon dilatable	Ballon pressurisé	Ballon profilé, fermé + guiderope fixé à la NSO instrumentale
Enveloppe	Polyéthylène de 15 à 25 microns	Multicouches polyester / polyamide	Latex / chloroprène	Multicouches polyester / polyamide	Tissu SN503 et triplex Polyester/Polyamide/ Polyester
Gaz	He	He	He	He	He
Diamètre	max : 148 m	3 types : 8,5, 10 et 12 m	Sol : 2m Culmination : 10m	2,5 m / 2,6 m (BPCL)	6 à 7 mètres d'arête 10 m de longueur
Volume	de 3000 à 1 200 000 m ³	300-900 m ³	8 m ³ max	8 m ³ max	40 m ³
Caractéristiques VOL					
Durée de vol	De quelques heures à plusieurs jours	mois	2 à 3 h	semaines	semaines
Masse sous ballon	de 50 à 1750 kg (*)	50 kg	< 3 kg	3 kg	Quelques kg
Altitude	de 15 à 40 km	20 km	Jusqu' à 40 km	Entre 500 et 3000 m	Enveloppe stabilisée à 60 m d'altitude

Portraits de ballons :



Figure 1: BSO, Ballon Stratosphérique Ouvert



Figure 2: MIR, Montgolfière InfraRouge



Figure 3: BPS, Ballon Pressurisé Sphérique



Figure 4: BPCL, Ballon Pressurisé Couche limite



Figure 5: AEC, AEroClipper

3. Les campagnes CNES



Un rappel des principales campagnes du CNES, a été l'occasion de revoir toute la chaîne de l'activité Ballon, de la fabrication au lancement et de se remémorer les documentaires réalisés sur les vols du scientifique Audouin Dollfus en visionnant un documentaire sur son deuxième vol, daté d'avril 1959 : à bord d'une capsule pressurisée accrochée à une grappe d'une centaine de ballons, il atteindra plus de 14 000 mètres d'altitudes. La vidéo présentée montre les préparatifs de cet événement spectaculaire qui eut une grande résonance médiatique.

Un vol de ballon suit plusieurs étapes, tout d'abord, la préparation au vol, on vérifie le matériel et surtout les conditions météorologiques, notamment le vent. On exécute ensuite la chronologie négative et le lâcher. A ce moment, le ballon est en vol, on le suit précisément à l'aide de stations de réception au sol. Les instruments scientifiques embarqués effectuent leurs mesures puis vient la fin du vol. On lance l'ordre de séparation de l'enveloppe du ballon et de la chaîne de vol avec la nacelle contenant les instruments de mesures. Encore une fois, on suit précisément la descente de ces deux éléments jusqu'à ce qu'il touchent terre. Il suffit alors d'aller récupérer l'enveloppe et la chaîne de vol.

Ces ballons peuvent emporter des charges utiles très sophistiquées qui, lors de certaines campagnes scientifiques, peuvent ensuite être embarquées sur un satellite, complétant ainsi les données recueillies au moyen du ballon. La complémentarité ballon/satellite est ainsi à l'œuvre dans la campagne de vol PILOT (*Polarized Instrument for Long-wave length Observations of the Tenuous interstellar matter*) qui emporte un télescope pour observer le fond diffus cosmologique, soit essayer de mieux comprendre la naissance de l'univers et des étoiles en regardant la lumière primitive et là précisément les poussières intergalactiques. Ces données vont compléter les données du satellite PLANCK qui a cartographié l'ensemble de l'univers en prenant tout ce qui arrivait, localement, ce qu'a regardé PILOT va permettre de nettoyer ce qu'a vu PLANCK.

(cf. http://pilot.irap.omp.eu/PAGE_PILOT/index.html)

Les ballons restent le plus longtemps en vol (ceux pressurisés couche limite peuvent

rester quelques mois en vol) permettent d'obtenir de bonnes cartographies d'un territoire. (cf. campagne Strateole, <https://strateole2.cnes.fr/fr>)
(<http://www.lmd.ens.fr/STRATEOLE/>)
(<http://www.lmd.polytechnique.fr/VORCORE/Documents/sp2.pdf>)

Biographies

Vincent Dubourg est sous-directeur en charge des projets ballons au sein de la Direction des systèmes Orbitaux du CNES depuis 2013. Il présentera les problématiques du ballon spatial en trois chapitres : le rôle des ballons dans la recherche spatiale menée par le CNES et leurs les objectifs scientifiques et technologiques ; une typologie des ballons ; les différentes campagnes déjà menées.

Pierre Alféri est philosophe et romancier. Il est le fondateur, avec Suzanne Doppelt, de la revue *Détail* et avec Olivier Cadiot, de la *Revue de littérature générale*. Il réaliste plusieurs travaux communs avec le plasticien Jacques Julien ainsi que des disques et performances avec le musicien Rodolphe Burger (Kat Onoma). Depuis le mois de mars dernier, il est le quinzième auteur à avoir expérimenté la résidence ZERO-G pour son projet de philosophie nouvelle *Cogito-OG*.

Michel Viso rejoint le CNES en 1985 comme candidat spationaute après avoir exercé pendant plusieurs années le métier de vétérinaire ; en 2004, il prend la responsabilité du domaine de la biologie et de la physiologie spatiale. À ce titre il gère la participation française dans des projets européens ainsi que pour de futures missions d'explorations spatiales, et est en charge des programmes d'exobiologie au CNES.