

# CNES MAG

FR  
EN

ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#89

Juillet 2021

**BALLONS**

**UNE EXPERTISE  
FRANÇAISE**

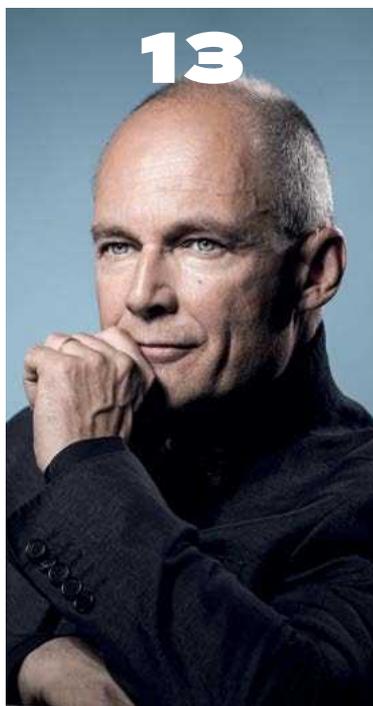


**cnes**

CENTRE NATIONAL  
D'ÉTUDES SPATIALES



## SOMMAIRE



**05**

### ÉDITORIAL

**06**

### L'ESSENTIEL

Spécificités techniques, bases de lancement, expériences scientifiques et coopérations : tout savoir sur les ballons

**12**

### #COMMUNAUTÉ

Les followers du CNES se passionnent pour les lâchers de ballons

**13**

### GRAND ORAL

Aérostatier de toujours, Bertrand Piccard suit de près la filière française des ballons et son apport à l'écologie

**16**

### EN IMAGES

Un besoin, un ballon

**18**

### EN CHIFFRES

Premier vol avec passager, records en tout genre et labellisation : les ballons sous toutes les coutures

**19**

### LE CNES EN ACTIONS

Ballons : cœur de métier du CNES

**16**

**27**

### MATIÈRE

Estadius : les étoiles dans le viseur

**28**

### INSTANTS T

Le programme Stratéole-2 à la loupe

**30**

### RENCONTRES

- Isabelle Zenone, ingénieure responsable de la filière ballons BSO au CNES
- Albert Hertzog, responsable scientifique de Stratéole-2
- Anne-Sophie Lectez, responsable mécanique des enveloppes de ballons au CNES



## SOMMAIRE



# 19

### 33

## ESPACE ÉTHIQUE

*Sic itur ad astra,*  
par Jacques Arnould

### 34

## EN VUE

Les événements et initiatives  
à retenir

### 36

## TRANSFERT

Le CNES à la manœuvre

# BALLONS: DES LANCEMENTS SOUS TOUTES LES LATITUDES

**TIMMINS**  
(CANADA)

P. 16

**AIRE-SUR-  
L'ADOUR**  
(FRANCE)

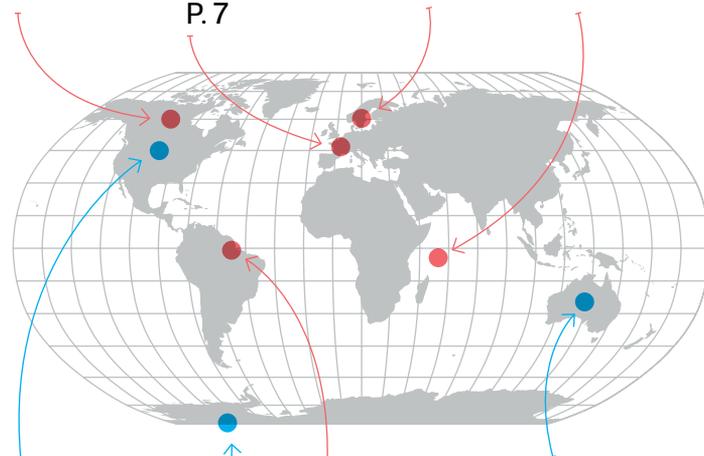
P. 7

**KIRUNA**  
(SUÈDE)

P. 22-23

**MAHÉ**  
(SEYCHELLES)

P. 28-29



**FORT SUMNER**  
(ÉTATS-UNIS)

**MCMURDO**  
(ÉTATS-UNIS)

P. 17

**FUTURE BASE  
DE TOCANTINS**  
(BRÉSIL)

P. 8

**ALICE  
SPRINGS**  
(AUSTRALIE)

P. 8

● Bases officielles de lancement

● Sites occasionnels de lancement

## PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro : Agence spatiale européenne (ESA) p. 8, 11, 31 ; Centre national de la recherche scientifique (CNRS) p. 7, 9, 29 ; Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) p. 8, 24-25 ; Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap) p. 9, 12, 23 ; Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) p. 9, 23 ; Agence spatiale américaine (NASA) p. 11 ; Institut national des sciences de l'Univers du CNRS (Insu) p. 22 ; Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E) p. 24 ; Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) p. 23, 29, 31 ; Laboratoire Atmosphères, Observations Spatiales (Latmos) p. 23, 29 ; Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM) p. 23 ; Thales Alenia Space p. 18, 26 ; Organisation météorologique mondiale (OMM) p. 29.



WWW.CNES.FR

Découvrez les contenus  
en ligne de ce nouveau  
numéro sur  
[cnes.fr/cnesmag](http://cnes.fr/cnesmag)



CNESFrance



@CNES



CNES



## CONTRIBUTEURS

# VINCENT DUBOURG



**De la sous-direction Ballons qu'il dirige au CNES,** Vincent Dubourg aime la diversité des sujets. Montage de projets, coopérations, technique, management... ce numéro lui doit l'essentiel de sa substance. Son autre mérite, dans une filière où hommes et femmes sont dispersés aux quatre coins du monde, c'est d'avoir su créer une équipe soudée, unie, compétente et réactive.



# STÉPHANE LOUVEL

**Son titre : chef de mission BSO.** Son bureau : l'ailleurs ! Des tropiques à l'Arctique, Stéphane Louvel court le monde et supervise l'organisation de campagnes de ballons XXL. Un travail au cordeau qui nécessite un investissement de tous les instants. Son été, il le passera cette année à Kiruna. Il nous a emmenés en coulisse vérifier les conteneurs de la mission Klimat.



# JEAN-CLAUDE RUBIO

**Résolument tourné vers l'avenir,** Jean-Claude Rubio a donné de l'oxygène à la base historique d'Aire-sur-l'Adour sur laquelle il a su accueillir de nouveaux usagers. Cet expert du numérique et de la pédagogie l'a notamment ouverte à de jeunes universitaires et à leurs expérimentations. Il sait également embarquer les scolaires avec ses voyages virtuels au pays des aérostats... et ainsi faire naître des vocations !

# STÉPHANIE VENEL



**Avec Stratéole-2, Stéphanie Venel, cheffe de projet,** sait qu'elle mènera une campagne des plus exigeantes à l'automne, l'atmosphère stratosphérique équatoriale ne ménageant ni les ballons ni les équipes. À la clé : l'acquisition de nouvelles connaissances sur les transferts des gaz à effet de serre. Pour *CNESmag*, elle revient sur les détails de cette campagne scientifique internationale inédite.

## CNESMAG

**CNESmag**, le magazine d'information du Centre national d'études spatiales, 2 place Maurice Quentin, 75039 Paris cedex 01. Adresse postale pour toute correspondance : 18 avenue Édouard Belin, 31401 Toulouse cedex 9. Tél. : +33 (0)5 61 27 40 68. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : <https://cnes.fr/reabonnement-cnesmag>. **Directeur de la publication** : Philippe Baptiste. **Directrice éditoriale** : Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef** : Brigitte Alonzo-Thomas. **Secrétaire générale de la rédaction** : Céline Arnaud. **Rédaction** : Brigitte Alonzo-Thomas, Liliane Feuillerac, Karol Barthélémy. **Photothèque (recherche iconographique)** : Marie-Claire Fontebasso. **Responsable photo** : Thierry De Prada. **Crédits photo** : p. 4 CNES/T. De Prada - CNES/L. Lecarpentier - CNES/F. Maligne ; p. 5 CNES/C. Peus ; p. 6 CNES/R. Gaboriaud ; p. 7 CNES/E. Grimault (gauche) - CNES/S. Louvel (droite) ; p. 8 CNES/S. Louvel (haut) - NASA (bas) ; p. 9 CNES/E. Grimault ; p. 10 CNES/Prodigima R. Gaboriaud (haut) ; p. 11 CNES/Krenotec/Livemedial (haut) - ESA/NASA (bas) ; p. 13 et 15 J. Saget ; p. 16 CNES/E. Grimault ; p. 17 CNES/P. Cocquerrez ; p. 19 CNES/Prodigima Films/R. Gaboriaud ; p. 20 CNES/OMP/IRAP/UT3/CNRS/S. Chastanet ; p. 21 CNES/F. Maligne ; p. 22 CNES/S. Louvel ; p. 23 CNES/OMP/IRAP/UT3/CNRS/S. Chastanet ; p. 24 CNES/LMD ; p. 25 CNES/E. Grimault ; p. 26 Thales Alenia Space/Stratobus - E. Briot ; p. 27 CNES/OMP/IRAP/UT3/CNRS/S. Chastanet ; p. 33 J. Arnould ; p. 34 Zephalto (haut) - CNES/E. Grimault (bas) ; p. 35 CNES/Planètes Sciences ; p. 36 CNES/E. Quevarec. **Illustrations** : Idix, Jean-Marc Pau. **Web master** : Sylvain Charrier, Mélanie Ramel. **Réseaux sociaux** : Mathilde de Vos. **Traduction** : Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation** : Citizen Press – Camille Aulas, David Corvaisier, Fabienne Laurent, Alexandra Roy. **Impression** : Ménard. ISSN 1283-9817. **Ont participé à ce numéro** : Yves André, Jacques Arnould, Jean-Baptiste Behar, Typhanie Bouju, Philippe Collet, Evelyne Cortiade, Serge Delmas, Emeline Deseez, Vincent Dubourg, Philippe Estaque, Jean Evrard, Vincent Farret d'Asties, Stéphane Louvel, Vincent Meens, Frédéric Mir, Mikael Planes, Erwan Quevarec, Philippe Raizonville, Jean-Claude Rubio, Frédéric Thoumieux, François Vacher, Colette Valero, André Vargas, Stéphanie Venel.



## É D I T O R I A L



### **Chaleur, sécheresse, orages, typhons... En défiant l'équilibre climatique planétaire, ces phénomènes entraînent des risques critiques pour les populations.**

Depuis 60 ans, le ballon, véhicule complémentaire des satellites, reste un allié de choix. Évaluant durablement entre 20 et 40 km d'altitude, il n'a pas d'égal pour collecter *in situ* des données sur les vents, les gaz à effet de serre, les aérosols, les radiations, voire même pour observer l'Univers à partir de télescopes de plusieurs centaines de kilos portés au-dessus des couches denses de l'atmosphère. Depuis sa création, le CNES a acquis en la matière une expertise internationalement reconnue, qu'il optimise grâce aux moyens techniques, laboratoires et moyens d'essais de haut niveau mis à disposition de la sous-direction des projets ballons. Cette expertise fait du CNES un acteur essentiel de l'organisation des campagnes mondiales. Cette année encore, les ballonniers mèneront deux campagnes majeures qui feront progresser la connaissance : la première, Klimat, va déployer en août à Kiruna (Suède) des moyens exceptionnels pour l'analyse des vents dans la moyenne stratosphère ; la seconde, Stratéole-2, poursuivra dès l'automne, à Mahé (Seychelles), les recherches sur la dynamique de l'atmosphère dans la zone intertropicale. Avec l'arrivée du New Space, l'utilisation de la stratosphère pour de nouvelles applications d'observation et de surveillance devient stratégique. Elle attire les start-up comme les grands groupes et les institutionnels : des ballons aux performances renforcées sont dans la feuille de route du CNES ; ils porteront de magnifiques projets dans les années à venir.

**MARIE-CLAUDE SALOMÉ**

**DIRECTRICE DE LA COMMUNICATION DU CNES**

2021

## VENTS FAVORABLES POUR LE CLIMAT

Les ballonniers français sont sur le pont : deux campagnes scientifiques majeures sur le climat ont lieu cette année. En août 2021, période favorable aux vents légers, la campagne *Klimat* regroupe en Suède des moyens exceptionnels : gros ballons ouverts, petits ballons dilatables, avion instrumenté et moyens au sol. Elle complète l'analyse à long terme des processus à l'œuvre dans la moyenne stratosphère. À l'opposé sur la carte du monde, aux Seychelles, la campagne *Stratéole-2* poursuivra d'octobre 2021 à avril 2022 les investigations menées depuis 2005. Son objectif : étudier les vents cycliques de l'équateur et mesurer la composition chimique de la haute troposphère et de la basse stratosphère (cf. *Instants T* p. 28-29). Par ailleurs, la campagne *Fireball* (télescope détecteur d'UV), mise entre parenthèses pour cause de pandémie, se prépare en coulisse. Le CNES fournira la nacelle pointée de cette expérience franco-américaine.



## L'ESSENTIEL



### AIRE-SUR-L'ADOUR

## BASE DE LANCEMENT DANS L'AIR DU TEMPS

**E**n 1965, le CNES prend le relais du CNRS sur la base d'Aire-sur-l'Adour pour y organiser des lâchers de ballons. Les vents légers et la proximité de Potez (acteur de l'industrie aéronautique) favorisent en effet le lancement de très gros ballons. Mais dans les années 2010, l'urbanisation grignote la zone de sécurité, compromettant l'activité des ballons stratosphériques ouverts et celle des ballonnières. Pour valoriser ses 8 hectares, le CNES change alors de cap et opte pour la traque aux gaz à effet de serre (GES). Il renforce son offre, accueille des ballons légers et devient un contributeur majeur de la lutte contre le changement climatique. Les prélèvements dans l'atmosphère apportent en effet aux scientifiques des données *in situ* complémentaires des mesures satellitaires et aéroportées ainsi que des indications sur la répartition de ces GES. Aire-sur-l'Adour accueille, entre autres, la campagne Magic (cf. encadré p. 25). De plus, l'installation d'une antenne en bande Ka va ouvrir le centre à de nouveaux services aval (comme l'agriculture, par exemple). Sur critères définis par un comité de sélection, les étudiants en master peuvent également venir tester des expériences.

# 4 000



Depuis près de 60 ans, le CNES conçoit et opère des systèmes ballons pour la science et la technologie. On estime à environ 4 000 le nombre de vols réalisés à ce jour.



### BALLONS LÉGERS DILATABLES

## PETIT BUDGET, GROSSE DEMANDE

**P**etites plumes de la famille, les ballons légers dilatables (BLD) ont toute leur place dans la gamme des aérostats du CNES. Conçue en latex, l'enveloppe est gonflée à l'hélium, jusqu'à atteindre 1,50 m de diamètre. Fermée, elle se dilate au fil de son ascension jusqu'à 30 km dans la stratosphère. Au total, du décollage à l'atterrissage, 2 à 3 h de temps à peine suffisent à mettre en situation 3 à 4 kg d'expériences scientifiques. Avec un prix abordable (le coût de l'enveloppe est estimé à moins de 200 euros) et une charge utile d'une masse honorable, le BLD est un outil prisé par les scientifiques, mais aussi par les étudiants. La demande est en effet croissante : depuis 2012-2013, plus de 150 BLD ont été lancés avec une tendance à la stabilisation autour de 30 ballons par an, dont 3 ou 4 dans le cadre des projets universitaires.



## BASES DE LANCEMENT DES LÂCHERS SOUS TOUTES LES LATITUDES

**S**uède, Canada, Brésil, Australie... plus que les pays, c'est leur latitude qui guide l'implantation des bases de lancement des très gros ballons (BSO). Elle doit en effet répondre aux objectifs scientifiques et bénéficier d'un environnement favorable : de belles trajectoires de vol et de grands espaces de sécurité pour la récupération des éléments de mission. L'utilisation d'une base est, par ailleurs, soumise à accords. Contributeur au consortium ESAPAC, le CNES a un accès privilégié à la base arctique de l'Esrangle<sup>1</sup> (Kiruna, Suède). À Timmins (Canada), un accord de coopération lie depuis dix ans les agences spatiales française et canadienne ; il sera renouvelé en 2022. Mais en réponse à une forte demande scientifique, l'offre devrait être complétée avec une nouvelle base en zone équatoriale, dans l'État du Tocantins, au Brésil, un pays avec lequel existe une coopération de longue date. À terme, instituer un cycle triennal sur ces bases fournirait aux scientifiques des observations sous toutes les latitudes. Alice Springs, base tropicale au centre de l'Australie, accueillerait ponctuellement des missions d'astrophysique. Gérée par la CSIRO<sup>2</sup>, elle est mise à disposition du CNES sous accord bilatéral.

1. European Space Range.

2. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, organisme gouvernemental australien pour la recherche scientifique.

## BIOLOGIE UNE NOUVELLE ORIENTATION POUR LES BALLONS

**L**e rêve des explorations humaines lointaines se heurte à l'enfer des radiations cosmiques. Pourtant, en 2019, des cellules humaines ont volé dans la stratosphère. L'Inserm les avait protégées par des blindages différenciés, puis confiées au CNES pour les tester. 12 h de vol à 40 km d'altitude par -40 °C ont suffi à confirmer que, même protégées, les cellules subissent l'effet des radiations. Une nouvelle expérience, Bernadotte, est programmée en août à Kiruna (Suède). Paraffine, plomb, aluminium... des blindages différents protégeront les cellules de peau, cœur, yeux et os envoyées dans la stratosphère. L'un d'eux utilisera même des morceaux de la combinaison spatiale de Thomas Pesquet. Le détail n'est pas anodin ; il orientera le choix des matériaux les plus protecteurs pour les équipements des futurs astronautes. En ouvrant le champ de la biologie aux ballons, cette expérience réclame une attention particulière : en fin de mission, récupérer puis acheminer ces échantillons du cercle polaire arctique aux laboratoires de l'Inserm dans des conditions strictes de conservation (-16 °C minimum pour éviter toute reconstruction des cellules endommagées) est aussi un challenge en soi.





Nacelle Pilot prête au départ.

## DE PILOT À CO-PILOT RECYCLER POUR MIEUX SCRUTER

**C** omprendre le rôle du champ magnétique dans la formation des étoiles : le projet est scientifiquement ambitieux et technologiquement complexe. En 2017, avec Pilot, l'Irap<sup>1</sup>, le CEA<sup>2</sup>, le CNRS et le CNES ont conçu une mission performante. Le télescope de 83 cm de diamètre était équipé d'une instrumentation capable d'enregistrer les émissions cosmiques. Trois campagnes plus loin, mission accomplie ! 23 h de données, collectées dans des conditions optimales, sont en cours d'exploitation. Co-Pilot va poursuivre la success story. Cette nouvelle mission va réutiliser le télescope et le dispositif de maintien à température cryogénique. Mais l'instrument va être reconfiguré sur des gammes de fréquence différentes. Co-Pilot apportera ainsi des observations sur la distribution du gaz moléculaire sombre qui détermine, en partie, la formation d'étoile des galaxies comme la nôtre.

1. Institut de recherche en astrophysique et planétologie.
2. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

# 479

Le programme Eole a été le premier à valider l'intérêt scientifique des campagnes ballons. De septembre 1971 à juin 1972, une flottille de 479 ballons pressurisés a été lâchée dans le courant-jet de l'hémisphère Sud, à 9 000 m d'altitude ; elle a dérivé plusieurs jours, suivie par un satellite météorologique.  
*Source : Laboratoire de Météorologie Dynamique*

# 680

En 2019, pendant la campagne pré-Stratéole-2, les 8 ballons pressurisés stratosphériques ont cumulé 680 jours de vol, soit 85 jours en moyenne par ballon. Au cours d'un vol qui dure jusqu'à 4 mois, ils pourraient faire 3 fois le tour de la Terre.

# 1 KG/1 M<sup>3</sup>

Un principe simple à retenir pour savoir combien d'hélium injecter dans un ballon : il faut 1 m<sup>3</sup> de gaz pour soulever 1 kg.

## LA RONDE DES BALLONS



### BSO (ballon stratosphérique ouvert)

Volume : de 3 000 à 1 200 000 m<sup>3</sup>  
Gaz porteur : hélium  
Masse emportée : plusieurs tonnes  
Altitude plafond : 40 km  
Durée du vol : quelques heures à quelques jours



### BPS (ballon pressurisé stratosphérique)

Volume : 900 m<sup>3</sup>  
Gaz porteur : hélium  
Masse emportée : jusqu'à 60 kg  
Altitude plafond : 30 km (de jour)  
Durée du vol : quelques mois



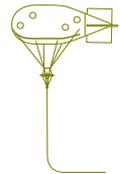
### BLD (ballon léger dilatable)

Volume : plus de 500 m<sup>3</sup>  
Gaz porteur : hélium ou hydrogène  
Masse emportée : inférieure à 4 kg  
Altitude plafond : 30 km  
Durée du vol : 2 h



### MIR (montgolfière à infrarouge)

Volume : 45 000 m<sup>3</sup>  
Gaz porteur : air chaud  
Masse emportée : 60 kg  
Altitude plafond : 30 km le jour, 20 km la nuit  
Durée du vol : plusieurs semaines



### Aéroclipper

Volume : jusqu'à 70 m<sup>3</sup>  
Gaz porteur : hélium  
Masse emportée : 50 kg  
Altitude plafond : 50 m maximum à la surface des mers et des océans  
Durée du vol : jusqu'à 30 jours



## L'ESSENTIEL

### NOSYCA

## BORD-SOL : UNE ARCHITECTURE POLYVALENTE



u'ils soient lâchés pour quelques heures ou pour des mois, les ballons sont sous étroite surveillance.

Ils dialoguent en permanence avec le centre de contrôle au sol. Car l'intérêt du programme scientifique tout comme le règlement de sauvegarde et de sécurité sont en jeu. Cinq fonctions s'imposent : communication, localisation, délestage, dégazage et séparation en fin de vol. Depuis 2012, avec son système Nosyca<sup>1</sup>, le CNES a renforcé les outils de contrôle et de télémessure/télécommande, et optimisé les liaisons bord-sol. Aujourd'hui, le principe « à chaque famille son système » est révolu. Le calculateur de bord des nacelles nouvelle génération n'est plus conçu



Campagne Stratéole-2 (Seychelles, 2019).

comme un bloc unique mais comme un assemblage de fonctions, transposables et réutilisables quel que soit le type d'aérostat. Cette approche possède de nombreux bénéfices : elle diminue les coûts via des produits sur étagère, permet de réactualiser

régulièrement les fonctions récurrentes ou d'innover par ajout de nouvelles, décloisonne les métiers et enfin optimise la qualification et l'intervention des équipes.

1. Nouveau système de contrôle d'aérostats.

### HEMERA

## ENVOYER L'EUROPE DANS LA STRATOSPHERE



e CNES sait aussi « lancer des propositions ».

En 2018, dans le cadre du programme européen Horizon2020, il a créé le consortium Hemera pour rassembler les fournisseurs européens de ballons scientifiques et leurs utilisateurs. Grâce à lui, tous les scientifiques européens ont accès à des mesures

dans la stratosphère. La France et la Suède se coordonnent et assurent les vols des expériences pour les autres pays. Hemera favorise les synergies entre les mesures et le partage des données. Le consortium a prouvé sa vitalité : 39 expériences de 13 pays ont été sélectionnées lors d'un appel à propositions. Leurs vols s'échelonnent entre 2019 et 2022 et concernent des domaines d'études

variés : astrophysique, atmosphère, magnétosphère. Certaines charges utiles relèvent du bijou technologique, d'autres explorent des niches scientifiques. Certains vols sont enfin précurseurs d'une mission satellitaire d'envergure dédiée à l'étude du changement climatique. Cette initiative confirme l'intérêt européen pour la science dans la stratosphère.

## EXPLORATION

# DES BALLONS EXTRATERRESTRES

**L** arguer un aérostat dans l'atmosphère martienne ou vénusienne ne tient pas de la science-fiction. Dans ce scénario, le ballon a même des atouts : sa vitesse est supérieure à celle d'un rover, il se déplace au gré du vent, peut acquérir des images à proximité de la surface et prendre des mesures au cœur de la dynamique de l'atmosphère. En 1985, les Russes ont d'ailleurs envoyé deux ballons dans l'atmosphère de Vénus (programme Venera) avec la contribution de la France. Certains obstacles importants restent néanmoins à lever : la tenue à l'environnement, les pluies acides vénusiennes ou encore le stockage longue durée (1 à 10 ans selon la planète) de l'enveloppe compactée dans une sonde interplanétaire. Déploiement et gonflage de l'aérostat, en descente sous parachute, restent également des écueils réels. Le CNES était néanmoins associé à plusieurs avant-projets ces vingt dernières années : Mars 1996 avec la Russie, European Venus Explorer avec l'Europe en 2011 et Titan Aerial Explorer (lune de Saturne) avec l'Europe et les États-Unis en 2010 et 2012. Ces dernières collaborations répondaient conjointement aux appels à propositions Flagship de la NASA et Large Mission de l'ESA.



Exploration de Titan par une montgolfière.



Campagne Vasco dédiée à l'étude de la variabilité des échanges océan-atmosphère dans l'océan Indien (Seychelles, 2007).

## PROJET PHYSALIA DANS L'ŒIL DU CYCLONE

**L**'œil du cyclone, c'est le plafond de verre qu'il faudrait casser pour mieux connaître ces phénomènes tropicaux accentués par le changement climatique, et mieux prévoir leur intensité et leur trajectoire. Par télédétection classique, depuis l'orbite, il est difficile de mesurer la pression atmosphérique dans un cyclone. Un aérostat du type aéroclipper dérivant entre ciel et mer paraît un bon candidat, mais les modèles existants sont trop lourds et trop fuselés pour offrir une bonne prise au vent. Le flablab Ballons du CNES s'est donc appuyé sur le concept mais a travaillé un nouveau profil. Il a élaboré différentes maquettes plus adaptées, petites mais de prise au vent élevée, permettant une aspiration plus rapide par le cyclone. Des essais très prometteurs ont déjà été réalisés sur la nacelle miniaturisée qui mesurera la pression atmosphérique, la température de l'océan, etc. Ils ont confirmé sa parfaite résistance et sa non-dangerosité en cas d'arrivée sur une plage. Le profil du véhicule final est en cours de stabilisation ; son comportement sera testé sur l'eau dès cette année.



## # COMMUNAUTÉ

Tous les jours, sur les réseaux sociaux, le CNES discute avec vous. Vous nous faites part de vos réflexions ou questions. Rejoignez la conversation !;)

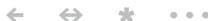


### @F\_BIERRY

Président de la Collectivité européenne d'Alsace (CeA) et vice-président de l'Assemblée des Départements de France (ADF)



[#sciences] Envoyer un ballon-sonde à 26 000 mètres d'altitude dans la stratosphère ! C'est l'exploit réalisé la semaine dernière par des collégiens alsaciens (#collège Charles-Walch, Thann) avec leur professeur de technologie, le @CNES et l'asso @PlaneteSciences #Alsace

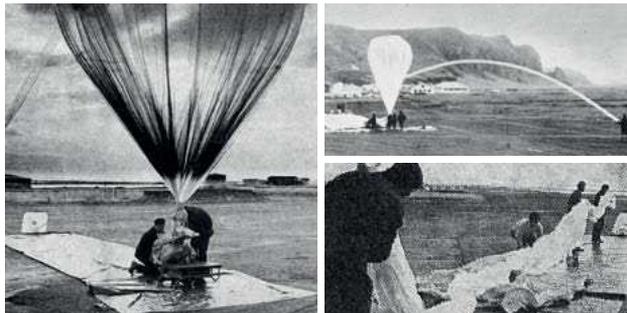


### @STRATOBALLOON

Stratospheric balloons, history and present. A website devoted to document their use in the scientific research, the military field and the aerospace activity



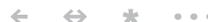
Very rare images of French stratospheric balloons operating in Iceland, Circa 1967-1968. Every year, in late 60's CNES made these launch expeditions to the island to perform X-ray measurements at altitude in the auroral zone and to study solar X-rays. #BalloonImageOfTheDay



### @IRAP\_FRANCE

Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie. Étudier l'univers depuis le centre de la Terre jusqu'aux confins de l'espace

#Kiruna, une base de lancement bien connue des scientifiques de l'@IRAP\_France, et notamment de l'équipe #PILOT @CNES



### @LOUVELSTEPHANE

Chef de mission des vols sous Ballons Stratosphériques Ouverts (BSO) réalisés pour les scientifiques européens par le CNES

Lancement d'une dizaine de Ballons Légers Dilatables depuis #CNES Aire-sur-l'Adour avec des expériences analysant la composition de l'atmosphère + le Falcon 20 SAFIRE faisant des mesures complémentaires. Une répétition avant les vols de la campagne KLIMAT à Kiruna en août 2021.





GRAND ORAL

# BERTRAND PICCARD

AÉROSTIER DE TOUJOURS, AVENTURIER TOUT TERRAIN  
ET VISIONNAIRE ÉCOLOGISTE, BERTRAND PICCARD  
SUIT DE PRÈS LA FILIÈRE FRANÇAISE DES BALLONS.

Il revient pour nous sur ceux qui ont changé sa vie et  
sur ceux qui changeront le monde.



## GRAND ORAL

### **ULM, parapente, ballon, avion... D'où vient votre passion pour l'aéronautique ?**

**Bertrand Piccard :** Sans nul doute des exemples et inspirations avec lesquels j'ai été en contact enfant. En 1931, mon grand-père Auguste a été le premier homme à atteindre la stratosphère. Il a accompli cet exploit en ballon grâce à la cabine pressurisée qu'il avait inventée pour montrer que l'on pouvait voler à très haute altitude, dans de l'air moins dense. J'ai également eu la chance de vivre en Floride entre 1968 et 1970. Grâce à mon père [océanographe, qui participait à la réalisation du module lunaire du programme Apollo], j'ai assisté à six lancements Apollo : ça change la vie d'un garçon de 11 ans ! J'ai rencontré les premiers astronautes Mercury, Gemini, Apollo – « The Right Stuff » [L'Étoffe des héros] – mais aussi Charles Lindbergh ! De la rencontre avec ces pionniers, j'ai gardé un goût pour l'exploration et la recherche de l'exploit. J'ai appris à voler à 16 ans et ai ensuite saisi toutes les occasions de voler avec quelque chose de nouveau. La tradition familiale m'a rattrapé en 1992, lorsqu'un aérostier belge m'a proposé de devenir son coéquipier pour la première course transatlantique en ballon. Il m'a choisi pour ma formation de médecin et ma

« Le plus long vol [en distance comme en durée] de toute l'histoire de l'aviation a été réalisé par un ballon. »

maîtrise des techniques d'hypnose, ce qu'il voyait comme une arme secrète pour gérer le stress, le sommeil, la vigilance, etc. Et cela a dû nous servir, puisque nous avons gagné !

« Le CNES amène des connaissances scientifiques fondamentales pour accélérer les actions en faveur de l'environnement. »

### **Vous avez réalisé le premier tour du monde en ballon en 1999 avec Breitling Orbiter 3, après deux tentatives infructueuses en 1997 et 1998. Quel regard portez-vous sur cette époque ?**

**B. P. :** Avec 42 714 kilomètres parcourus en 19 jours, Breitling Orbiter 3 est le plus long vol (en distance comme en durée) de toute l'histoire de l'aviation. Et ce record a été obtenu par un ballon, un clin d'œil à mon grand-père. Vingt ans plus tard, je constate que tout s'est compliqué depuis le 11 septembre 2001 : chaque vol se voit contraint par un monde archi-sécurisé et standardisé qui laisse moins de place à l'aventure. Finalement, Breitling Orbiter était un projet très romantique : nous partions en espérant arriver ! Je me suis d'ailleurs beaucoup amusé des spécialistes affirmant que je n'y arriverais jamais ; c'est tellement typique de juger un projet possible ou non en se référant toujours au passé et

pas à la disruption possible. Aucun ballon n'avait dépassé quelques jours de vol : 6 pour le ballon à gaz et 2,5 pour celui à air chaud. Mais nous, nous avons combiné les deux dans une rozière, un système inventé par Pilâtre de Rozier en 1784 – et qui lui a coûté la vie. Contrairement à nos concurrents, nous avons compris, grâce à une étude thermodynamique de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, comment tripler la durée de vie de l'hélium : en isolant le ballon non pas la nuit mais la journée, afin que le Soleil ne chauffe pas trop l'hélium, réchauffé la nuit grâce aux brûleurs à propane.

### **Suivez-vous les activités de la filière ballons française ?**

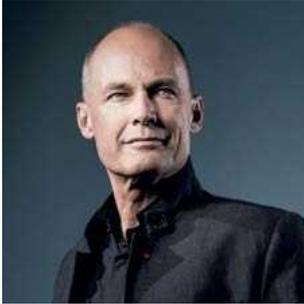
**B. P. :** Bien sûr ! D'autant que, si mon grand-père a inventé la cabine pressurisée, son frère jumeau Jean-Félix est à l'origine du ballon stratosphérique en film plastique ! Aujourd'hui capables de faire deux ou trois fois le tour du monde, ces ballons proposent une extraordinaire technologie. De mon point de vue, il ne leur manque qu'un être humain à l'intérieur ! D'ailleurs, si la troisième tentative avec Breitling Orbiter avait échoué, j'avais prévu de partir avec un ballon comme ceux du CNES.

### **Du ballon, vous êtes ensuite passé à l'avion et, en 2003, vous développez Solar Impulse. Comment vous est venue l'idée de l'avion solaire ?**

**B. P. :** Ayant réalisé mon rêve de tour du monde en ballon, je voulais que le



## GRAND ORAL



### BERTRAND PICCARD

AVENTURIER TOUT TERRAIN  
ET VISIONNAIRE ÉCOLOGISTE

« Si la troisième tentative avec Breitling Orbiter avait échoué, j'avais prévu de partir avec un ballon comme ceux du CNES. »

vol suivant soit fondamentalement utile. Or, lorsque j'ai atterri avec Breitling Orbiter 3 dans le désert égyptien, mon réservoir de propane était presque vide. On dit que « le ciel est la limite » (*sky is the limit*), mais c'est faux : la seule limite, c'est le carburant ! J'ai alors pensé qu'il fallait changer de paradigme, c'est-à-dire voler sans aucun carburant pour s'affranchir de toute limite. De là est né le rêve de Solar Impulse, un avion qui vole uniquement à l'énergie solaire, produisant et stockant sa propre électricité dans des batteries le jour pour voler la nuit. Avec lui, j'ai voulu montrer que l'on pouvait faire des choses a priori impossibles avec des technologies propres et des énergies renouvelables. Et cela selon le fameux principe de « qui peut le plus peut le moins » : si j'ai pu voler

ainsi, alors nous pouvons utiliser ces technologies propres au sol, dans notre vie quotidienne.

### Qu'a changé pour vous le succès du tour du monde de Solar Impulse en 2015-2016 ?

**B. P. :** Je répondrai par une anecdote. En 2018, Tom Enders, alors patron d'Airbus, m'a raconté que ses ingénieurs lui avaient par trois fois conseillé de ne pas m'aider : d'abord sous prétexte que je ne pourrais jamais construire cet avion, puis qu'il ne volerait jamais, et enfin qu'il s'écraserait sans doute... Mais lorsque j'ai réussi mon tour du monde, ces mêmes ingénieurs lui ont déclaré « il faut absolument développer des programmes d'aviation électrique » ! Ce vol a donc montré qu'il existe toute une dimension à exploiter dans ce domaine.

### Militant pour les technologies propres, vous avez également fondé l'Alliance mondiale pour les solutions efficaces. Quels sont vos objectifs ?

**B. P. :** Je trouve que l'on parle trop des problèmes et pas assez des solutions. J'ai donc créé cette Alliance, alors même que je traversais l'Atlantique avec Solar Impulse, pour que ceux qui produisent des technologies propres et ceux qui cherchent à les utiliser ou à les financer puissent se rencontrer. Avec plus de 3 500 entreprises adhérentes aujourd'hui, les solutions promues prouvent qu'il est possible de concilier développement

économique et création d'emplois avec protection de l'environnement.

### Selon vous, le CNES et plus largement l'espace ont-ils un rôle à jouer pour accéder à des modes de vie plus propres et plus durables ?

**B. P. :** Le CNES amène des connaissances scientifiques fondamentales pour se rendre compte de ce qui se passe et accélérer les actions en faveur de l'environnement. Si ce sont bien les technologies d'aujourd'hui qui vont nous permettre de développer tous les secteurs de manière propre et durable, le spatial en est une jolie démonstration : quand vous êtes en orbite, c'est 100 % d'énergies renouvelables et 100 % de déchets recyclés, exactement ce que doit faire notre humanité.

## PROFIL

### 1985

Champion d'Europe de voltige en deltaplane

### 1992

Vainqueur de la 1<sup>re</sup> course transatlantique en ballon

### 1999

Tour du monde en ballon

### 2015-2016

Tour du monde avec l'avion Solar Impulse

### 2016

Création de l'Alliance mondiale pour les solutions efficaces



EN IMAGES



## BALLON STRATOSPHERIQUE OUVERT (BSO)

Une « bulle » de 40 mètres de hauteur gonflée de 3 000 m<sup>3</sup> d'hélium. En 2015, sur la base canadienne de Timmins, ce BSO embarquait la mission Pilot. À 40 km d'altitude, son enveloppe atteignait 45 000 m<sup>2</sup> de superficie (soit 7 terrains de rugby) pour un volume de 800 000 m<sup>3</sup>, une hauteur de 100 m et un diamètre de 140 m. La chaîne de vol aurait dépassé la tour Eiffel ! Largué depuis la nacelle, le lest a maintenu ce BSO à son altitude maximale de jour comme de nuit. Pouvant voler de quelques heures à quelques jours, le BSO offre une grande capacité d'emp<sup>1</sup> et une précieuse polyvalence : expériences scientifiques et technologiques, largage de maquettes de navettes, et même de fusées.

1. Plus d'une tonne pour Pilot



EN IMAGES



## BALLON PRESSURISÉ STRATOSPHERIQUE (BPS)

Sur la base antarctique américaine de McMurdo, le BPS qui se prépare est l'un des 19 lâchés dans le tourbillon polaire pour le compte de la campagne internationale Concordiasi. Fermés, encore flasques au sol, les BPS entrent en tension, atteignent leur plein volume au terme de leur ascension et plafonnent à une altitude constante (20 km) sur des périodes longues (4 mois) avant d'exploser ! Avec 50 kg de charge utile maximum, ces alliés des scientifiques et climatologues renseignent sur les mouvements des masses d'air, leur température, leur pression, les taux d'humidité, la qualité de l'air ou encore le rôle de la couche d'ozone. Concordiasi a permis d'améliorer la connaissance de l'atmosphère polaire et contribuer à la surveillance du climat.



## EN CHIFFRES

# Label



**Les ballons intéressent aussi pour leur potentiel commercial.** Déjà à l'étude, les dirigeables du consortium Flying Whales transporteront des charges lourdes; Stratobus de Thales développera des activités de surveillance et de télécommunication; Zephalto innovera avec des vols touristiques quasi spatiaux. Tous ces acteurs prouvent l'inventivité et la vitalité du secteur. Mais ils ont besoin d'accompagnement. C'est la mission des instances comme la Banque publique d'investissement (BPI) France, les pôles de compétitivité, l'Europe... dont le soutien est conditionné à l'avis technique d'experts. Le CNES remplit cette fonction en cumulant la propriété intellectuelle pour les gros ballons et des décennies d'expérience de terrain. Il conseille donc les entreprises et constitue le passage obligé pour l'obtention de financements. Ce rôle va se renforcer en devenant l'opérateur unique pour l'écosystème spatial dans le plan France Relance.

# 107

## JOURS

**C'est la plus longue durée de vol enregistrée en 2020** dans le cadre de la campagne de validation Stratéole-2 pour l'étude de la basse stratosphère équatoriale (cf. Instants T p. 28-29).



# RECORD

**1 million de m<sup>3</sup>**: c'est le volume (équivalent au Stade de France!) du plus gros ballon réalisé pour le CNES. Lancé en 1982 depuis la base d'Aire-sur-l'Adour, ce ballon stratosphérique ouvert (BSO) était trop long pour l'aire de lancement; les ballonniers ont utilisé la piste de l'aérodrome. Il est monté à 47 km d'altitude!



# 1 mm

**C'est infime, et pourtant** un trou de moins d'un millimètre sur un ballon Stratéole-2 diminue la durée du vol d'un mois.

# 1770

## C'EST LA DATE DES PREMIERS VOLS DE BALLONS À AIR CHAUD OU À GAZ.

Le premier vol avec passagers embarquait Jean-François Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes en novembre 1783, en présence du roi Louis XVI au château de la Muette. Le vol a duré 25 minutes, le ballon atteignant 1000 m d'altitude et volant sur 8 km. Les premiers programmes de ballons scientifiques, eux, ont démarré dans les années 1960 et ont rapidement été intégrés au CNES.

# KLIMAT

**115 personnes de plus de 20 universités et laboratoires européens** vont se retrouver sur la base de l'Estrange à Kiruna (Suède) pendant la campagne Klimat. Objectifs partagés: collecter des mesures stratosphériques sur l'évolution du climat.



LE CNES EN ACTIONS



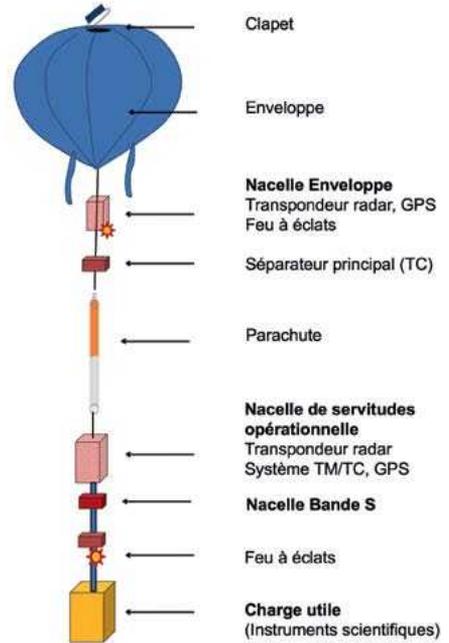
# BALLONS

## CŒUR DE MÉTIER DU CNES

SEULS VÉHICULES CAPABLES D'Étudier *IN SITU* ET DURABLEMENT L'ATMOSPHÈRE SOUS 40 KM D'ALTITUDE, LES BALLONS SONT L'UN DES DOMAINES D'EXPERTISE DU CNES DEPUIS SA CRÉATION. ADAPTABLES, MODULABLES ET RÉUTILISABLES, ILS ONT SU SE RENDRE INCONTOURNABLES DANS UN NOMBRE GRANDISSANT DE DOMAINES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES. LE TOUR DE LA QUESTION.



## LE CNES EN ACTIONS



Sur une longueur de 100 à 150 m, la chaîne de vol fait le lien entre l'enveloppe et la charge utile. Sous l'enveloppe, le premier équipement abrite le système d'identification et de localisation. Au-dessous, le séparateur est commandé depuis le sol en fin de vol. Viennent ensuite le parachute et la nacelle de servitudes opérationnelles, dédiée notamment à la gestion du vol et à la réception/transmission de données. Enfin, la nacelle dite « feu à éclats » rend le ballon visible la nuit.



rchimède, dans son bain, a découvert un phénomène qu'il a érigé en principe. En 1783, Joseph de Montgolfier s'en est inspiré pour l'appliquer à l'air. Et depuis soixante ans, le

CNES en fait bon usage : la poussée d'Archimède est l'unique moteur de ses ballons, une activité pour laquelle son expertise est mondialement reconnue.

Dans la panoplie de ses engins spatiaux, ballons et satellites cohabitent depuis 1962 en parfaite harmonie. Et pour cause : contrairement aux apparences, ils partagent de nombreux points communs. « Si l'enveloppe du ballon représente le lanceur, la poussée d'Archimède est son moteur, et la nacelle le satellite doté de sa charge utile », explique Vincent Dubourg, sous-directeur Ballons au CNES. Or dans le cas des ballons, ces trois constituants restent solidaires du début à la fin du vol ; c'est du tout en un !



**L'hélium**  
est 7 fois moins dense que l'air atmosphérique. Un ballon dont l'enveloppe contient 100 m<sup>3</sup> de ce gaz pourrait donc s'élever avec un adulte de corpulence moyenne à son bord.

Par ailleurs, si le ballon est complémentaire de tous les autres véhicules, c'est aussi parce qu'il a sa « chasse gardée » : une zone entre 20 et 40 km au-dessus de la Terre, à laquelle n'accèdent ni les avions qui volent plus bas, ni les satellites qui volent plus haut, ni les fusées qui passent trop vite.

### UN LARGE PANEL D'AVANTAGES

Gonflé à l'hélium, plus léger que l'air, le ballon « vole libre sans contrainte de trajectoire ; il circule avec les masses d'air et constitue un moyen idéal pour investiguer au cœur même de l'atmosphère », remarque Vincent Dubourg. Il embarque des expériences dont les temps de développement et d'exécution sont courts : le projet sous ballon s'élabore en 2 à 3 ans, contre 5 à 15 ans pour un projet satellite. Le lâcher se fait hors infrastructure lourde (sans cosmodrome ou space port, sans salle blanche ou banc d'essai). Sans



## LE CNES EN ACTIONS

ergols (carburants), il est aussi plus économique et plus écologique. Les types d'enveloppe, les flottilles, la chaîne de vol, tout est modulable. Cette adaptabilité contribue au maintien en compétence des ballonniers pour préparer les futures missions spatiales. Grands, petits, ouverts, fermés... le CNES dispose d'une vaste gamme d'aérostats lâchés de l'équateur jusqu'au cercle polaire. Les ballons stratosphériques ouverts (BSO) sont affectés aux vols de courte durée et aux charges lourdes. Le ballon se maintient à altitude constante le jour et descend avec la baisse de température nocturne (cf. En images p. 16). Étanches, les ballons pressurisés stratosphériques (BPS), eux, peuvent plafonner pendant plusieurs semaines ou mois à même altitude et sur de longues distances (cf. En images p. 17). Enfin, portés par les vents entre air et mer, les ballons pressurisés de couche limite (BPCL) et l'aéroclipper aux allures de dirigeable

### Nacelles pointées

## LE CNES, LEADER MONDIAL

**Engagées sur avis du CTB<sup>1</sup>, les missions ballons sont motivées par un objectif scientifique ou technologique.** Les instruments de la charge utile devront être aménagés et exploités pour servir au mieux cet objectif ; dans certains cas, il faut qu'ils soient orientés, autrement dit « pointés » le plus précisément possible vers toute ou partie de la zone à observer. Mais des perturbations dues à l'environnement de vol peuvent mettre à mal l'ultra-précision de ce pointage. La sous-direction Ballons a donc conçu de nouvelles nacelles pour offrir des services de bord contrecarrant ces effets : modules de commandes numériques (micro-ordinateurs embarqués), nouvelle génération de capteurs (gyromètres), capteur stellaire multi-étoiles, optimisation des liaisons bord-sol... Avec Pilot, un nouveau viseur d'étoiles a été testé (cf. Matière p. 27) ; il mesure l'attitude de jour comme de nuit. Un investissement technique qui confère au CNES une position de leader mondial des nacelles pointées.

1. Comité technique Ballons CNES/ CNRS-Insu.



La nacelle pointée Fireball au Laboratoire d'astrophysique de Marseille.



## LE CNES EN ACTIONS



Campagne Kasa (Kiruna, 2016).

(cf. L'essentiel p. 9) scrutent, pour les météorologues et les scientifiques, l'état des basses couches de l'atmosphère et de la couche limite océanique.

Le grand « plus » de la plupart des ballons, c'est le potentiel de récupération et de réutilisation: sacrifiée en fin de vol, l'enveloppe n'est pas réutilisée mais récupérée. Tous dotés de moyens de géolocalisation, les éléments constitutifs de la mission – matériels et instruments – sont en revanche récupérés, reconfigurés et réutilisés pour d'autres projets.



### Le règlement

**de sauvegarde des bases de lancement de ballons lourds est très strict. Le risque de toucher un individu à l'atterrissage doit être inférieur à 3 pour 100 000.**

### DANSE AVEC LES VENTS

Chef d'orchestre et financeur des campagnes, le CNES intervient dans la sélection des projets déposés. C'est un comité spécifique, le CTB, qui décide de la programmation. En s'appuyant sur l'avis des comités scientifiques et des experts techniques, il examine l'opportunité de la demande, son intérêt scientifique ou technologique au regard des thématiques d'actualité et le prolongement possible avec une mission satellitaire.

Le savoir-faire des ballonniers concourt à « la garantie sécurité », exigée par le règlement de la sauvegarde en vol, dont le CNES a délégué l'auto-certification. Celui-ci définit les conditions et mesures drastiques qui doivent être suivies et appliquées scrupuleusement. « *Les ballonniers sont responsables de tout ce qu'ils font voler et de tout ce qu'ils récupèrent* », confirme Vincent Dubourg. À noter également, le rôle fondamental revêtu par les ballons pour la formation des jeunes: « *Des expériences ballons sont développées par des universitaires qui ont vocation à travailler ensuite dans le spatial. On remarque une grande appétence des étudiants pour le terrain et la réalisation concrète d'un système de vol.* »

Véritables vitrines de l'activité, les campagnes ballons sont source d'innovation permanente: recherche d'une précision extrême pour le pointage des charges utiles (cf. encadré p. 21), nouveaux matériaux, optimisation des calculateurs de bord, nouvelle stratégie de conception des nacelles, ouverture à de nouveaux domaines scientifiques... Les ballons ont décidément encore de beaux jours devant eux.

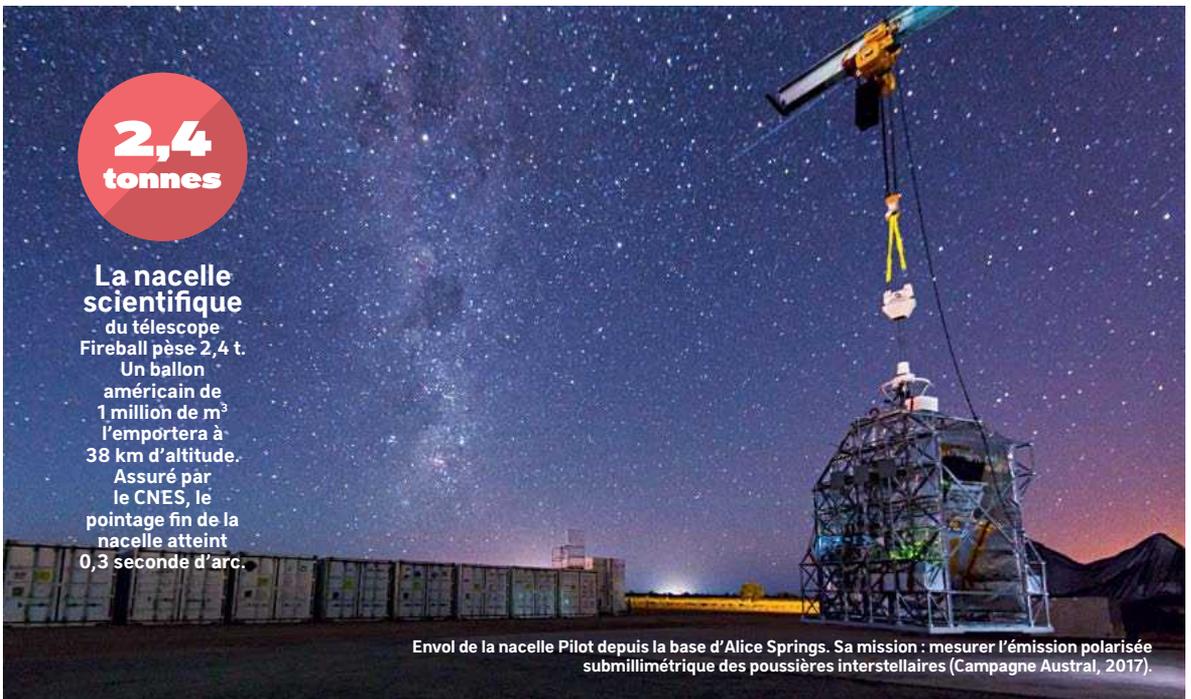


LE CNES EN ACTIONS

# Scruter

## LES DESSOUS DE L'ATMOSPHÈRE

Les campagnes ballons auxquelles le CNES a contribué ont déjà permis d'analyser de nombreux phénomènes essentiels à la compréhension de la machine climatique. Mais de l'astrophysique à la biologie, l'activité ballons sait aussi se diversifier, pour le plus grand bonheur de la communauté scientifique internationale.



**A**éronomie, astronomie, météorologie, climatologie... Les ballons apportent une réelle plus-value dans divers domaines depuis soixante ans. Les expériences *in situ* dans la stratosphère et tout au long de la ligne de descente donnent des mesures précises de concentrations d'eau, de méthane, de dioxyde de carbone, d'ozone, d'oxyde d'azote, d'aérosols... tous impliqués dans les dysfonctionnements cli-

matiques. Transmises au sol par télémesure ou enregistrées et récupérées après le vol, ces précieuses données enrichissent les travaux de la communauté scientifique internationale. Le CNES contribue depuis longtemps à cette recherche sous ballon. Il coopère pour cela avec des laboratoires publics comme le LPC2E<sup>1</sup>, le LMD<sup>2</sup>, le Latmos<sup>3</sup>, l'Irap<sup>4</sup>, le Lam<sup>5</sup>, l'Onera ou encore le CEA<sup>6</sup>. Son historique est marqué par sa contribution active à des campagnes internationales d'enver-



## LE CNES EN ACTIONS



Lâcher d'un ballon pressurisé de la campagne Amma depuis Cotonou. L'objectif de la mission portait sur la compréhension des mécanismes de la mousson africaine et leurs répercussions sur le climat (local, régional, global) et les populations (Bénin, 2006).

gure. Déjà en 1972-1973 – c'était il y a un demi-siècle ! –, son implication dans la mission franco-américaine Eole a confirmé la pertinence des ballons comme traceurs des masses d'air et des vents en aéronomie ainsi qu'en météorologie. Un visa pour les campagnes scientifiques futures.

### UN TOUR DU MONDE DES OBSERVATIONS

Et elles n'ont pas manqué : associés à d'autres moyens, les ballons ont apporté leur contribution à l'analyse de certains phénomènes climatiques dévastateurs comme El Niño (campagne Vasco, 2005-2007) ou la mousson africaine (Amma, 2002-2007).

Stratéole Vorcore (2005) a quant à elle été motivée par les premières investigations sur l'évolution du trou d'ozone antarctique... un changement climatique global qui mobilise toujours aujourd'hui. Stratéole-2 (cf. Instants T p. 28-29), menée avec les États-Unis, consistera logiquement en une étude approfondie de ces phénomènes. Tropiques



### Sur Mars,

le rover Opportunity a parcouru 45 km en 15 ans et Curiosity 23 km en 8 ans. Le nouveau rover Perseverance pourrait quant à lui atteindre 200 m/jour. En comparaison, avec les vents vénusiens, il suffit de 7 à 10 jours à un ballon pour faire le tour de la planète.

sud, nord, arctique, équateur, moyennes latitudes... faire voler des ballons dans tous les points du globe, c'est offrir à la communauté scientifique un outil de travail exceptionnel pour décrypter une situation climatique planétaire de plus en plus critique.

Si les sciences de l'atmosphère constituent l'essentiel du plan de charge des ballonnières, les aérosols sont aussi d'excellents assistants pour les astrophysiciens. Les télescopes placés au-dessus des couches denses de l'atmosphère peuvent capter des rayonnements moins ou pas visibles depuis le sol. Des recherches ardues comme l'étude du milieu interstellaire galactique (Pronaos), l'observation des poussières interstellaires (Pilot) ou la recherche des filaments de poussière tiède (Fireball) ont profité de campagnes dédiées. Les observations ballons complètent les données satellitaires et apportent ou consolident des clés de compréhension du fonctionnement de la galaxie.

Depuis 2019, avec l'emport d'expériences confiées par l'Inserm sur l'irradiation des cellules humaines (cf. L'essentiel p. 8), l'activité ballons ouvre un nouveau chapitre, celui de la biologie. À élargir ses horizons, elle peut aussi envisager de quitter l'atmosphère terrestre. Demain, le CNES pourrait envoyer ses ballons vers Mars, Vénus ou toute autre planète comportant une atmosphère. Il faudra pour cela tenir compte de certaines particularités « locales », comme les nuages d'acide sulfurique sur Vénus ou la température glaciale (-170 °C) sur Titan...

1. Laboratoire de physique et de chimie de l'environnement et de l'espace.
2. Laboratoire de Météorologie Dynamique.
3. Laboratoire Atmosphères, Observations Spatiales.
4. Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie.
5. Laboratoire d'Astrophysique de Marseille.
6. Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives.



Klimat

## LA CAMPAGNE DE TOUS LES RECORDS

En août, la campagne scientifique sous gros ballons menée par le CNES promet d'être « exceptionnelle par les moyens qu'elle va associer », selon Stéphane Louvel, chef de la mission. Sur la base de Kiruna, deux ballons stratosphériques ouverts d'Hermera (cf. L'essentiel p. 10) seront dédiés à la chimie de l'atmosphère et à la concentration en gaz et aérosols.

Le CNES sera aux commandes de deux autres BSO : Xenon et Super Climat. Xenon emportera Bernadotte, une expérience de l'Inserm (cf. L'essentiel p. 8), et Brad, un instrument de mesure de l'environnement radiatif. Sous la nacelle sera également testé le générateur solaire Medor.

Une fois validée, cette technologie pourrait à l'avenir minimiser la quantité de batteries nécessaires. Quant à Super Climat, il traquera les gaz atmosphériques par carottage d'air. Il sera encadré par 10 ballons légers dilatables de la campagne Magic. L'enveloppe latex des BLD explose à 30 km d'altitude ; la nacelle redescend alors, accumulant des données de pression, humidité, température... et d'observation sur les gaz à effet de serre. Combinées, les données de BSO, BLD, complétées par celle de l'avion capteur Safire doivent permettre d'améliorer les modèles de prévision et la compréhension du climat.

### 13000 m<sup>3</sup>

C'est le volume total d'hélium qui sera employé pour l'ensemble des vols de Klimat. Le CNES a acheminé deux remorques de 8 000 m<sup>3</sup> utiles à 300 bars de pression ; la SSC (Swedish Space Corporation), qui gère le site d'Esrange (au nord de la Suède), fournit 5 000 m<sup>3</sup> utiles à 180 bars.

### 100 tonnes

Au total, 15 conteneurs concentreront le matériel nécessaire au lancement. Plus de 100 tonnes de matériel seront acheminées sur place, des ballons aux nacelles scientifiques en passant par le centre de contrôle.

# Les ballons

## TREMPAINS TECHNOLOGIQUES

**Coûts diminués et résultats rapidement disponibles : les ballons sont aussi de parfaits cobayes pour tester de nouvelles technologies en vue de leur vol à bord de satellites ou de leur développement industriel.**



Pour des expériences technologiques ou des maquettes, souvent lourdes, le premier intérêt d'un vol ballon, c'est bien sûr le coût. Faire voler une expérience sous ballon peut coûter jusqu'à 40 fois moins cher que sur un satellite. Le deuxième atout, c'est la rapidité des retours d'expérience. Les vols sous BSO durent quelques heures et les charges utiles sont immédiatement récupérées. Elles peuvent donc être rapidement exploitées. Enfin, le vol sous ballon est un allié précieux pour la validation et la calibration des instruments. Par exemple, en 2014, Eusoballon a validé une nouvelle technique de détection des rayons cosmiques pendant leur traversée de l'atmosphère. En 2015, la campagne Klimat embarquait 12 instruments scientifiques. Le vol *in situ* a permis l'inter-calibration et l'inter-comparaison de ces différents instruments qui mesuraient les mêmes variables atmosphériques.

Autre mission, autres instruments : en 2017, Casolba emportait 60 cellules solaires de six fabricants européens et américains. Objectif : les étalonner en conditions réelles pour, ultérieurement, produire industriellement les cellules solaires des futurs satellites. Calibration ou validation s'appliquent aux instruments mais aussi aux données de satellites en



Futur

## DE NOUVEAUX HORIZONS

Le CNES s'implique dans des projets porteurs pour l'avenir de la filière. Loon, le réseau d'accès à l'Internet par ballons porté par Google, a fait long feu. S'il s'est soldé par un échec économique, ce projet a néanmoins été un succès technologique incontestable avec le développement de ballons manœuvrants. Le CNES pense qu'une fois reconvertis, ces petits ballons pourraient trouver de nouveaux champs d'utilisation (cf. Transfert p. 36). De même, le développement d'une ligne ISR (Intelligence, Surveillance et Reconnaissance) devrait dégager d'autres horizons pour les ballons, comme le programme Stratobus. Thales devrait mettre en service un dirigeable stratosphérique de la famille des Haps au service de la sécurité et de la surveillance. Autre domaine, la perspective des démonstrateurs de lanceurs réutilisables remet aussi à l'ordre du jour l'opportunité d'utiliser les ballons comme grue aérostatique. La rentrée dans l'atmosphère d'un lanceur réutilisable devra faire l'objet d'essais. L'emport, sous ballon, de maquettes à échelle réduite serait une première étape pour étudier la validité des process. Le ballon serait utilisé comme « grue » qui monterait et larguerait le démonstrateur à 20 ou 30 km du sol. Il apparaît aujourd'hui comme le seul dispositif capable de réaliser de telles manœuvres.

orbite. Au cœur de la stratosphère, le vol ballon permet de confirmer ou d'infirmer ces données. En 2005, par exemple, le satellite Envisat a sondé la couche d'ozone. Un ballon du CNES a pris *in situ* des mesures du même gaz ; il utilisait un sondeur atmosphérique, clone de celui embarqué sur le satellite, de manière à compléter et comparer les données acquises. Au total, trois des instruments atmosphériques d'Envisat ont eu au moins un démonstrateur embarqué sous un ballon. Le même type de manipulation avait été réalisé en 2010 et contribué à la calibration/validation des données de l'instrument lasi<sup>1</sup>, sondeur de température atmosphérique sur les satellites météorologiques polaires. Discret mais unique en son genre, l'aérostat a aussi su se rendre incontournable en matière de technologie.

1. Interféromètre atmosphérique de sondage dans l'infrarouge.

Coö  
MATERIE

# Jour étoilé

POUR ÉTUDIER L'ÉMISSION POLARISÉE DES POUSSIÈRES STELLAIRES, LE TÉLESCOPE PILOT DEVAIT RELEVER UN DÉFI: FOURNIR UNE ATTITUDE DE VISÉE D'UNE EXTRÊME PRÉCISION DE JOUR COMME DE NUIT. Aucun des senseurs stellaires n'en était alors capable. Et pour cause: le jour et à 25 km d'altitude, la lumière du Soleil et la présence d'atmosphère résiduelle « diluent » les étoiles dans un ciel bleu. Les ingénieurs du CNES ont abordé la question de manière multidisciplinaire et trouvé la solution en hybridant les mesures du senseur optique avec un gyromètre embarqué sur le ballon. Fruit de ces recherches, le viseur d'étoiles Estadius<sup>1</sup> est autonome et multi-étoiles; il délivre une attitude de visée très précise sur toute la voûte céleste. Produit à faible coût à partir d'éléments sur étagère, il a signé les excellentes performances de pointage de Pilot lors de ses deux vols scientifiques.

1. Estimateur STellaire d'Attitude DIUrne Stratosphérique. Estadius est un équipement de haute précision protégé par un brevet déposé. Les grands principes en ont été repris sur le senseur gyro-stellaire Gysele du patrouilleur spatial français Yoda.



I N S T A N T S T



# 1

## DEUX TOURS DU MONDE, QUATRE MOIS DE VOL

8 vols probatoires « à blanc » (sans instrumentation scientifique) ont validé la mission entre 2019 et 2020. Deux phases d'observations scientifiques vont désormais se succéder, à trois ans d'intervalle.

La première<sup>1</sup> débutera en octobre sur la base équatoriale de Mahé, aux Seychelles. 20 ballons pressurisés voleront pendant 4 mois et feront deux fois le tour de la Terre pour fournir des informations à l'échelle globale. Une fois les autorisations administratives obtenues, ils survoleront 96 pays tout le long de l'équateur. En 1971, le CNES avait innové avec ce type d'aérostat : son enveloppe étanche et inextensible favorise les vols longue durée dans la partie inférieure de la stratosphère. Un demi-siècle plus tard, ils tiennent encore le vent et parcourent jusqu'à 80 000 km.

1. La deuxième phase est programmée pour 2024-2025.

# 2

## DEUX FLOTTILLES DE DIX BALLONS

Les 20 ballons ne voleront pas « groupés » mais en deux flottilles distinctes de 10 ballons. L'une, à 18 km d'altitude, prendra des mesures *in situ*. L'autre, à 20 km d'altitude, sera chargée des mesures à distance. Deux instruments feront notamment des profils de température sur 2 km. Objectif : collecter des données très haute résolution pour mieux comprendre le climat et affiner les modèles météorologiques. Stratéole-2 mesurera notamment l'intensité et la direction du vent, la pression et la température de l'air, la concentration des principaux gaz à effet de serre (vapeur d'eau, ozone, dioxyde de carbone) et détectera la présence de glaces et de poussières en suspension.



## INSTANTS T

**AU CŒUR DU PROGRAMME STRATÉOLE-2 : L'ÉTUDE DES VENTS TOURNANTS ET DES NUAGES TRÈS HAUTE ALTITUDE DE LA BASSE STRATOSPHERE ÉQUATORIALE. ENGAGÉE PAR LA FRANCE, CETTE MISSION D'OBSERVATION INÉDITE MOBILISE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE. LE CNES SERA AUX COMMANDES DES LANCEMENTS DE LA PREMIÈRE SESSION EN OCTOBRE 2021, AUX SEYCHELLES.**

# 3

## **DEUX NACELLES ET DEUX CENTRES DE CONTRÔLE**

La chaîne de vol comportera deux nacelles. La première, Euros, est une nacelle dite de servitude. Elle permet d'assurer le suivi et le contrôle du vol selon des règles de sauvegarde strictes depuis les centres de contrôle de Toulouse et d'Aire-sur-l'Adour. Indépendante de la première, la seconde nacelle, Zéphyr, contiendra différentes combinaisons de 2 ou 3 instruments parmi les 12 dédiés aux sciences.

Ces combinaisons seront définies par Albert Hertzog, PI de la mission (cf. Rencontres p. 31). Les opérations scientifiques sont gérées par le Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) et le Latmos<sup>1</sup> depuis le centre de contrôle mission installé à Palaiseau.

1. Le Laboratoire ATMosphères, Observations Spatiales.

# 4

## **UN CONSORTIUM SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL**

Stratéole-2 agrège plusieurs équipes scientifiques américaines et laboratoires français du CNRS. Elle s'inscrit dans le programme Sparc de l'OMM<sup>1</sup>, dédié à l'étude des processus stratosphériques et à leur rôle dans le climat. Certaines observations seront transmises en temps quasi réel aux centres de prévisions météorologiques mondiaux pour améliorer les prévisions. Stratéole-2 va également valider les mesures d'instruments embarqués sur satellite comme cela a été le cas en 2019-2020 pour les observations du vent réalisées par le satellite européen Aeolus. Après exploitation, les données seront gratuitement mises à la disposition de la communauté scientifique mondiale.

1. Organisation météorologique mondiale.



RENCONTRES

# ISABELLE ZENONE

**Ingénieure responsable de la filière ballons BSO au CNES**

« Le monde des ballonniers nourrit l'esprit d'équipe avec des challenges techniques ultra-stimulants ! »



« Petite, je pensais voir passer des ovnis ; c'était en fait des ballons lâchés depuis le centre d'Aire-sur-l'Adour qui clignotaient ! » se remémore Isabelle Zenone, originaire de Tarbes. **Fascinée par ces ballons qui montent vers l'espace, l'ingénieure diplômée en informatique embarquée s'est naturellement orientée vers le CNES, où elle consacre d'abord dix années à la maîtrise d'œuvre interne de projets**, dont la filière microsatellites et l'horloge atomique Pharao. Puis, en 2009, elle se laisse happer par les challenges techniques de la filière ballons, dont elle est aujourd'hui responsable pour les plus gros spécimens. « Nous sommes une petite structure avec énor-

mément d'opportunités qui nécessitent d'être en contact avec des métiers très différents. Et je dois tous bien les connaître pour les coordonner », s'enthousiasme-t-elle. D'autant que, pour optimiser les coûts et les délais de développement, l'équipe technique a conçu une architecture spécifique qui capitalise ses développements en les rendant adaptables d'une filière ballons à l'autre. De fait, après quelques années dédiées à « tout remettre à plat, notamment pour maîtriser les contraintes de sauvegarde, nous remplaçons les besoins opérationnels au cœur de nos activités », explique l'ingénieure. **Désormais, chaque campagne annuelle déploie son lot d'innovations.**

**Ce rythme de développement rapide concrétise des objectifs à court terme et favorise la synergie avec les opérationnels.** D'ailleurs, les développeurs participent régulièrement aux lâchers des aérostats. « Confrontés aux réalités du terrain, ils reviennent systématiquement éblouis par les compétences des opérationnels qui, à chaque campagne, montrent la fluidité et l'efficacité de leur équipe », salue Isabelle Zenone. La responsable a mis en place une feuille de route technique de la filière sur dix ans. « Je l'ajuste chaque année, en fonction des résultats, des besoins émergents et des envies, confie-t-elle. Il faut laisser le champ libre à la créativité des équipes ! »



RENCONTRES

# ALBERT HERTZOG

Responsable scientifique (PI) de Stratéole-2

« Au gré de leurs déplacements dans les masses d'air, les ballons renouvellent notre manière de voir l'atmosphère. »



Enseignant-chercheur à Sorbonne Université (Paris) et au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) à l'École polytechnique (Palaiseau), **Albert Hertzog a fait connaissance avec les ballons en 1999, lors de son post-doctorat sur la dynamique de la stratosphère grâce aux premiers vols longue durée Stratéole-1.** « Je trouve extraordinaire de travailler sur des observations collectées par des ballons qui font le tour du monde; je suis arrivé au Laboratoire de météorologie dynamique pour cela », raconte le chercheur. Devenu un utilisateur assidu, il est aujourd'hui responsable scientifique de Stratéole-2. C'est la quatrième campagne ballons CNES à laquelle il prend part.

Si Stratéole-1 se déployait dans les régions polaires car surtout motivé par la découverte du trou de la couche d'ozone, **Stratéole-2 se déporte vers l'Équateur pour mieux comprendre la distribution des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère**, aux côtés d'autres études d'ordre dynamique. « Évoluant entre 18 et 20 km d'altitude, nos ballons fournissent des observations uniques sur cette zone difficile à observer et qui est le siège d'une oscillation majeure de l'atmosphère, détaille le scientifique. Nous étudions tout particulièrement le transport de la vapeur d'eau des basses couches vers la stratosphère, beaucoup plus sèche mais dont le contenu a une importance critique pour

le climat puisque la vapeur d'eau est le premier GES. » **En parallèle, les vols Stratéole-2 transmettent leurs mesures en temps réel aux agences de prévisions météorologiques.** L'ensemble des données est également rapidement mis à la disposition de la communauté scientifique internationale, « qui les utilise avec des angles auxquels nous n'avions pas pensé. Nous contribuons aussi à la validation d'instruments embarqués sur des satellites comme, en 2019, les premières mesures de vent du Lidar Aeolus de l'ESA », précise Albert Hertzog. Un beau clin d'œil pour ce scientifique qui a démarré sa carrière sur des observations Lidar depuis le sol !



RENCONTRES

# ANNE-SOPHIE LECTEZ

Responsable mécanique des enveloppes de ballons au CNES

« Pour optimiser un ballon, le challenge consiste à trouver le compromis entre tenue mécanique et légèreté. »



Parfois plus fine qu'un cheveu, l'enveloppe des aérostats doit résister à d'importantes déformations, une mécanique bien particulière dans laquelle s'est spécialisée Anne-Sophie Lectez. Membre de la sous-direction Ballons du CNES depuis quatre ans, l'ingénieure détaille : « La mécanique des structures déformables suppose que les points de la structure ne conservent pas la même distance entre eux. Nous allons donc observer le comportement des matériaux un par un en leur appliquant une loi de comportement, c'est-à-dire une relation entre les contraintes appliquées et les déformations engendrées. »

Pour les enveloppes d'aérostats, les

polymères thermoplastiques sont les matériaux de prédilection. Et pour cause : ils changent de forme sous l'effet de la température. Il s'agit de films plastiques de 15 à 60 microns d'épaisseur, comme par exemple le polyéthylène et le PET, respectivement utilisés dans la vie courante comme emballages et fibres textiles. « L'objectif n'est pas d'avoir un matériau ultra-déformant mais de pouvoir contrôler sa déformation », souligne l'ingénieure. La modélisation devient alors un formidable outil. Dans un premier temps, pour simuler le ballon dans des conditions les plus proches possible de la réalité : au sol, en vol, à des températures données, etc. « Nous formulons

ensuite des hypothèses simples puis de plus en plus complexes sur une loi de comportement, que nous intégrons dans un calcul numérique de la totalité du ballon », détaille-t-elle. Puis les résultats de calcul sont validés au travers d'essais sur un petit ballon (ou une structure représentative) équipé de cibles dont on suit la position pour confronter les résultats théoriques aux mesures réelles. « Le but est ainsi de progresser en augmentant les performances et le champ d'applications des ballons », résume Anne-Sophie Lectez, qui a justement rejoint le CNES pour « la richesse de la modélisation et de l'expérimental tout en gardant un pied dans l'applicatif ».



JACQUES ARNOULD

## SIC ITUR AD ASTRA

**À un curieux qui lui demandait quelle serait l'utilité des ballons, Benjamin Franklin répondit : « À quoi sert un nouveau-né ? » Les plus-légers-que-l'air ouvraient à ses yeux une nouvelle ère.**

**L**ouis XVI ne s'y est pas trompé. Après le premier exploit aéronautique de Pilâtre de Rozier et du marquis d'Arlandes, le 21 novembre 1783, le roi prend grand soin de récompenser, en les ennobissant, les inventeurs du ballon, Joseph et Étienne Montgolfier : les temps modernes doivent davantage aux ingénieurs et aux savants qu'aux explorateurs et aux aventuriers. Les deux frères décident de prendre pour devise la belle sentence de Virgile, tirée de l'*Énéide* : « *Sic itur ad astra* – C'est ainsi que l'on s'élève jusqu'aux astres. » Je n'y vois, de leur part, ni orgueil exacerbé, ni exagération déplacée : comme Benjamin Franklin, ils sont convaincus que l'invention des ballons, qui stimule une génération de savants et enthousiasme les foules à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, marque l'entrée effective de l'humanité dans une nouvelle ère, celle de la conquête de l'air et de l'espace.

### UN ÉLAN VERS LE CIEL

Certes, à cette époque, il n'est guère possible de distinguer l'atmosphère terrestre du vide cosmique. Il est donc aisé d'imaginer qu'un jour des ballons emmèneraient des humains jusque sur la Lune et même au-delà. Le journal satirique londonien *The Examiner*, dans son édition du 3 janvier 1808,

peut même, pour se moquer des prétentions politiques de Napoléon, lui prêter des propos cosmiques : « *Alors je pourrai constituer une armée de ballons, dont Garnerin sera le général, et prendre possession de la Comète. Cela me permettra de conquérir le système solaire, ensuite j'irai avec mes armées dans les autres systèmes, enfin – je pense – je rencontrerai le Diable.* » En réalité, Bonaparte a fermé dès 1799 la fabrique de ballons et l'école d'aéroliers de Meudon et renoncé à envoyer ses grognards envahir « la Comète ». Mais l'élan vers le ciel a bel et bien été donné par les plus-légers-que-l'air, comme les Montgolfier l'avaient pressenti. Après avoir manié la fourche, les aéronautes, aviateurs et astronautes ont appris à maîtriser l'essence et la poudre ; à la toile de coton et de papier ils ont substitué l'acier et les matériaux composites. Mais les ballons ne quittent pas pour autant le ciel de notre planète, avant de contribuer, un jour peut-être, à explorer d'autres planètes : sans eux, nous ne serions pas capables de connaître et de suivre cette large zone atmosphérique que nos avions ne peuvent atteindre et nos fusées ne font que brièvement traverser. De son crayon noir et de sa craie blanche, Odilon Redon a vu juste : les ballons sont des yeux absolument uniques qui sont tournés à la fois vers la Terre et vers les étoiles.

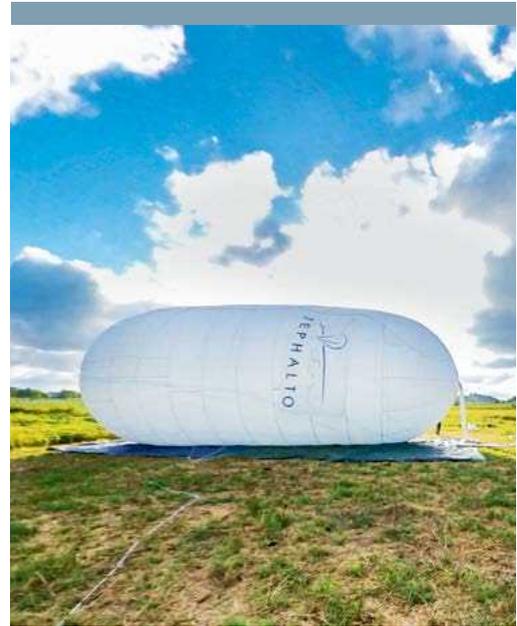
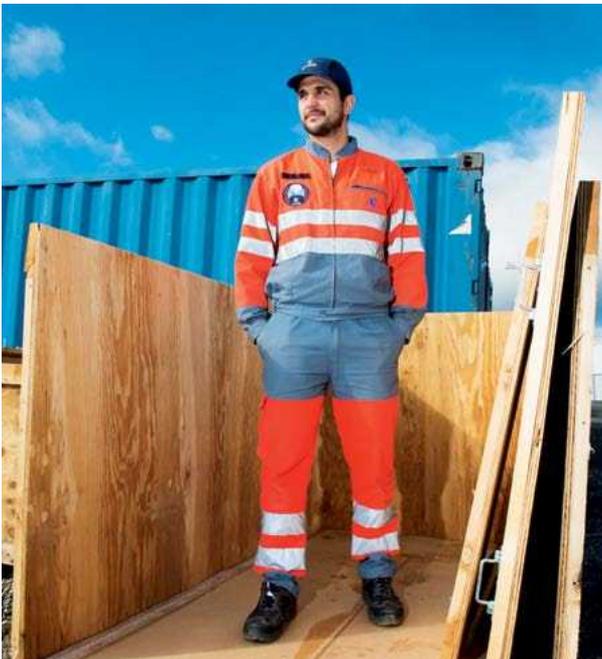


EN VUE

## MÉTIER

# BALLONNIER : UN SPORT COLLECTIF ?

Dans la nomenclature des formations, ne cherchez pas le métier de ballonnier : il n'existe pas. Arrivé avec sa seule formation de dessinateur, le chef de lancement Pierre Bergos le confirme. Après quatre ans passés en bureau d'études, il voulait changer d'air. « *L'essentiel s'apprend sur le tas. Ballonnier, c'est un sport collectif* », fait-il remarquer. Mécanique, électronique, informatique, communication... tous les savoirs sont complémentaires et nécessaires : « *Il faut camper sur ses bases mais les enrichir de l'expertise des autres.* » Chaque jour vous confronte à l'aléa technique, aux contraintes scientifiques et aux caprices de la météo... l'interdisciplinarité est la seule clé du succès. Enfin, faire campagne est une formation continue à la sociabilité : passer des semaines loin de chez soi, c'est accepter, avec ses collègues, une cohabitation autre que les « *10 minutes par jour à la machine à café* » ! Pour rester efficace et motivé, rien de mieux que l'esprit d'équipe !



## ZEPHALTO

### Des touristes dans la stratosphère

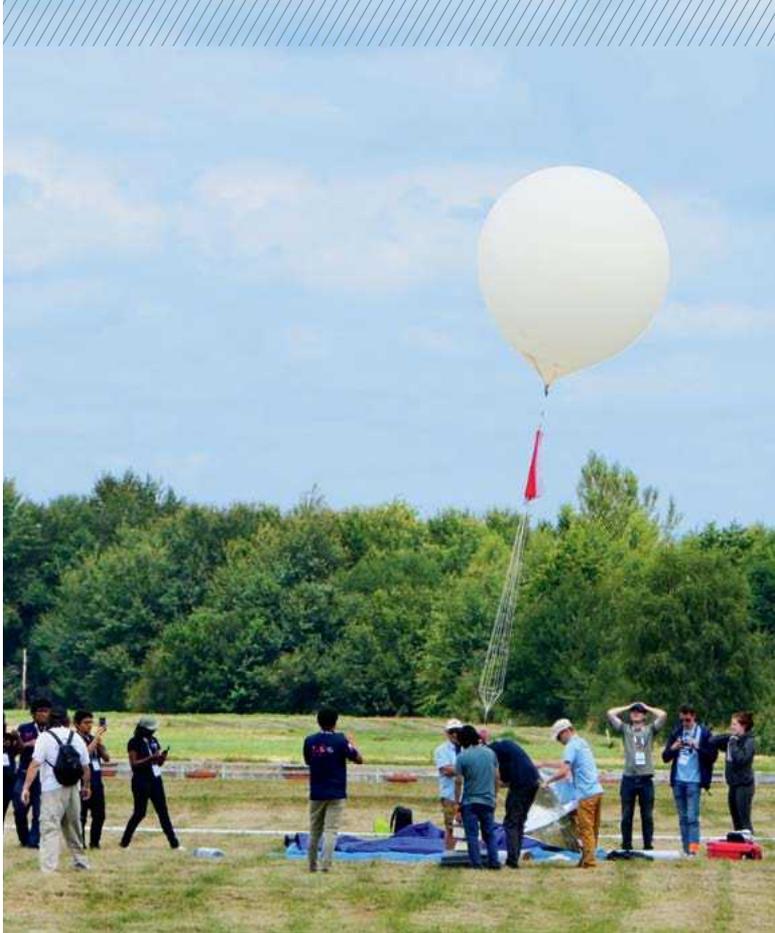
Certains rêves se réalisent. C'est le cas de celui de Vincent Farret d'Astiès : « *Aller voir les étoiles sans polluer, vivre quelque chose d'intégralement beau, dans un milieu naturel propre* ». Ce rêve, il devrait même être en mesure de le partager, en proposant un voyage sous ballon à 20 km d'altitude, à bord d'une « *nacelle pressurisée confortable, modulable, offrant une large visibilité sur la courbure de la Terre* ». S'appuyant sur de solides études d'ingénieur en aéronautique, il a créé en 2016 la société Zephalto. Après avoir pris conseil auprès du CNES, il a obtenu le soutien de pôles de compétitivité et de l'écosystème spatial local. Il a aussi inventé puis breveté un régulateur d'altitude solaire.

Si le design de la nacelle est en cours de définition, le ballon, lui, a passé avec succès les premiers tests : en août 2020, Vincent Farret d'Astiès s'est laissé porter sur 300 km lors d'un vol sans accroc. Les premiers touristes pourraient embarquer à bord de Céleste, le nom choisi pour le ballon, dès 2024. Les billets sont déjà en prévente.



PLUS D'INFOS SUR :

[HTTPS://ZEPHALTO.COM/LE-VOYAGE-DU-FUTUR/#BALLON](https://zephalto.com/le-voilage-du-futur/#ballon)



## AGENDA

### AOÛT 2021

Campagne Klimat 2021  
*Kiruna, Suède*

### OCT.-NOV. 2021

Campagne Stratéole-2  
*Mahé (Seychelles)*

### MAI 2022

25<sup>e</sup> Symposium ESAPAC sur les ballons et fusées sondes, organisé par le CNES et l'ESA  
*Biarritz (France)*

[atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/pac-symposium-2021/home1](http://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/pac-symposium-2021/home1)

## ÉDUCATION

# APPRENTIS BALLONNIERS

Ah, la poussée d'Archimède... quelle prise de tête ! Parce que le CNES est convaincu qu'il faut voir pour comprendre, il a conçu « Un ballon pour l'école », un programme éducatif tout aussi ludique que scientifique. Depuis 1992, une centaine de projets sont menés chaque année avec des établissements scolaires – écoles, collèges et lycées – dans la France entière. Le CNES fournit l'enveloppe latex du ballon léger (BLD), la chaîne de vol avec parachute, émetteur/récepteur et hélium. Il établit également un cahier des charges qui engage écoles et intervenants. Les bénévoles de Planète Sciences accompagnent alors la conception de la nacelle expérimentale. Données météo, mesures d'humidité de l'air, propagation des vibrations ou encore mesures de rayonnement ultraviolet et envoi des données par radio... le « ballon pour l'école » embarque de véritables expériences scientifiques ou technologiques. À terme, cours d'école et terrains de foot prennent des airs de base de lancement. Si l'opération « gonflage » est assurée par un technicien, tous les élèves se transforment ensuite en ballonniers, installant parachute ou nacelle avant le lâcher. Équipé d'un système de géolocalisation, le ballon est suivi tout au long de sa course, un trajet de 100 à 200 km. Également localisable, la nacelle est rapidement récupérée et les résultats exploités. Chaque année, 2 500 jeunes vivent ainsi des temps forts d'éducation qui sont aussi des temps d'émotion.

## SAVOIR-FAIRE FRANÇAIS BALLONS HAUTE COUTURE

CNIM Air Space, successeur de Zodiac M Espace, le fournisseur historique des enveloppes des ballons français, fait dans la finesse : l'épaisseur du polyéthylène employé pour les BSO flirte avec le micron ! Constitué par thermocollage de dizaines de fuseaux, un BSO peut atteindre 190 m de hauteur ; la chaîne de fabrication donne donc dans la démesure puisqu'elle s'étire sur 200 m de long ! Les ballons pressurisés, eux, sont fabriqués en salle grise pour garantir leur étanchéité. Ces conditions exceptionnelles de fabrication, les équipes du CNES les trouvent chez CNIM Air Space, qui connaît toutes les procédures, contraintes et certifications qualité. Cette expérience acquise positionne aujourd'hui l'entreprise comme partenaire du programme Hemera H2020 financé par l'Union européenne (cf. L'essentiel p. 10). Elle va notamment fabriquer un ballon de 900 000 m<sup>3</sup>, un nouveau défi à sa (dé)mesure !



POUR S'INFORMER OU S'INSCRIRE :

[WWW.PLANETE-SCIENCES.ORG/ESPACE/BALLON-STRATOSPHERIQUE/UN-BALLON-POUR-L-ECOLE](http://WWW.PLANETE-SCIENCES.ORG/ESPACE/BALLON-STRATOSPHERIQUE/UN-BALLON-POUR-L-ECOLE)



TRANSFERT

# LE CNES À LA MANŒUVRE

**En 2014, avec Loon, Google voulait connecter le monde via une flotte de ballons. Depuis, Google a jeté l'éponge mais le CNES réinvestit ses recherches dans un projet de ballon manœuvrant.**



es ballons sont tributaires des vents dont ils suivent le courant. Pour pouvoir les manœuvrer, et donc infléchir leur trajectoire, pourquoi ne pas simplement les faire « changer de couche de vent » ? « *L'une des solutions consisterait à insérer un ballonnet rempli d'hélium dans le ballon pressurisé, et à combler l'espace entre les deux enveloppes d'air comprimé. En s'alourdissant, le ballon descendrait dans une nouvelle couche de vent et s'orienterait alors différemment* », explique Erwan Quévarec, chef du service Véhicules porteurs au CNES.

Il suffirait qu'un système accessoire crée les échanges nécessaires avec l'air extérieur, aspirant de l'air si le ballon doit descendre et rejetant de l'air s'il doit monter.

## DE L'INTÉRÊT DE CHOISIR SA TRAJECTOIRE

De couche d'air en couche d'air, le ballon serait ainsi amené dans des zones d'intérêt et pourrait y séjourner plus longtemps. Sans compter qu'en l'espace de quatre mois, un ballon plane au-dessus de nombreux pays dont le survol est toujours soumis à des démarches administratives longues et fastidieuses. Un aérostat manœuvrant pourrait alors contourner les pays dont le survol ne s'avère pas nécessaire.

Aussi, si les campagnes partent de Suède, des Seychelles ou encore d'Australie, c'est parce que les conditions météo sont cruciales. Le ballon manœuvrant pourrait être lancé d'une base fixe et proche (Aire-sur-l'Adour, par exemple). De là, il transiterait vers la zone choisie, allégeant ainsi les contraintes opérationnelles et budgétaires.

Commercialement, enfin, ce type de ballon ouvrirait la voie à de nouveaux services applicatifs comme la surveillance de zones restreintes au-dessus desquelles le ballon stationnerait. Ce nouveau concept est donc une feuille de route prometteuse sur laquelle

le CNES et tout l'écosystème spatial se penchent, aidés par le plan France Relance. Un coup de pouce bienvenu pour placer le ballon manœuvrant sur la bonne trajectoire.



1

an

Les travaux en cours devraient permettre aux ballons manœuvrants d'évoluer à leur altitude plafond pendant un an.

De quoi accroître considérablement la gamme des services attendus.