



4 آذار / مارس 2026

الرقم المرجعي: 6557829/2026/RCO/ROE

عدد المرفقات: 2 (المرفق الأول بالإنكليزية فقط، في حين يتوفر المرفق الثاني بالإنكليزية والفرنسية فقط)

الموضوع: الحملة العلمية الثالثة لبرنامج بالونات الرصد الجوي الطويلة الأجل في طبقة الستراتوسفير (STRATEOLE-2)

الإجراء المطلوب: ينبغي لأعضاء المنظمة المهتمين أن يتواصلوا مع المركز الوطني الفرنسي للدراسات الفضائية (CNES) من أجل تيسير إجراءات الحصول على التراخيص اللازمة لطيران البالونات فوق أراضيهم

تحية طيبة وبعد،

يشرفني أن أبعث إليكم بهذه الرسالة بشأن الحملة العلمية الثالثة المقبلة لبرنامج بالونات الرصد الجوي الطويلة الأجل في طبقة الستراتوسفير (STRATEOLE-2)، بقيادة المركز الوطني الفرنسي للدراسات الفضائية (CNES)، والمقرر إجراؤها في شتاء 2027/2026. وسوف تتضمن هذه الحملة إطلاق بالونات الرصد الجوي الطويلة الأجل من سيشيل، في إطار رحلات جوية تستمر لعدة أشهر حول المنطقة الاستوائية، وربما تُحلّق هذه البالونات في سماء عدد من أعضاء المنظمة.

واستناداً إلى المرحلتين السابقتين من هذه الحملة (المرحلة الأولى في 2020/2019 والمرحلة الثانية في 2022/2021)، فإن هذه النسخة الثالثة من الحملة ستوفر رصدات أساسية لطبقة التروبوسفير العليا وطبقة الستراتوسفير السفلى في المنطقة الاستوائية، الأمر الذي من شأنه أن يدعم تحسين التنبؤات الجوية وإعداد توقعات مناخية أكثر موثوقية لفائدة جميع أعضاء المنظمة.

ومن جانبيها، فإن المنظمة العالمية للأرصاد الجوية تنوّه بالأهمية العلمية لهذه المبادرة التي تتماشى مع ولاية المنظمة المتمثلة في تعزيز نظم الرصد العالمية وتشجيع تبادل بيانات الأرصاد الجوية وما يتصل بها من بيانات مجانية ودون قيود. وسيجري تبادل مجموعة فرعية من البيانات ذات الصلة بالأرصاد الجوية في الوقت شبه الآن، وستتاح جميع الرصدات للأوساط العلمية الدولية.

وأرسل إليكم هذه الرسالة لأن بلدكم الكريم سيكون من بين أعضاء المنظمة الذين قد تُحلّق البالونات فوق أراضيهم خلال الحملة. وبطيب لي في هذا السياق أن أدعوكم وأدعو سلطاتكم الوطنية إلى النظر في دعم إجراءات الحصول على التراخيص المطلوبة لطيران البالونات فوق أراضيكم، وفقاً للوائح الوطنية المعمول بها في بلدكم. وألفت انتباهكم إلى أن المركز الوطني الفرنسي للدراسات الفضائية قد أشار إلى أن عدداً من الأعضاء قد منحوا بالفعل تراخيص الطيران فوق أراضيهم، ويطلب المركز دعم الأعضاء المعنيين الآخرين من أجل توفير مسارات طويلة ومثالية من الناحية العلمية للبالونات.

إلى: الممثلين الدائمين لأعضاء المنظمة (توزيع محدود)

ومرفق طي هذه الرسالة مذكرة التأييد التي أعدتها إدارة العلوم والابتكار بالمنظمة، والتي تتضمن تفاصيل إضافية عن الجدوى العلمية لهذه الحملة، برجاء الاطلاع عليها والإحاطة علماً بها. كذلك، تجدون طي هذه الرسالة ملفاً بتنسيق PDF، أعده المركز الوطني الفرنسي للدراسات الفضائية، يصف مفهوم الحملة، وترتيباتها التشغيلية، وطلب الحصول على الترخيص بالطيران. وأرجو من الأعضاء التواصل مع المركز الوطني الفرنسي للدراسات الفضائية عبر البريد الإلكتروني التالي: ST2_overflight_authorization@cnes.fr، من أجل تيسير إجراءات الحصول على الترخيص بطيران البالونات فوق أراضيهم.

وتفضلوا بقبول فائق الاحترام،



البروفيسورة سيلبستى سالو
الأمينة العامة



Our ref.: 6557718/2026/SDCC/SI

To whom it may concern

19 February 2026

Subject: Support letter for Balloon campaign

Dear Sir/Madam,

The World Meteorological Organization wishes to express its strong scientific support for the STRATEOLE-2 stratospheric balloon campaign led by the Centre National d'Études Spatiales (CNES) in France, for which overflight authorizations are being requested.

STRATEOLE-2 addresses a major gap in our current observational capabilities by providing unprecedented, long-duration and high-resolution observations in the equatorial upper troposphere and lower stratosphere, a region that plays a critical role in the climate system but remains among the least observed and least understood parts of the atmosphere. Processes occurring in this region strongly influence large-scale atmospheric circulation, climate variability, and long-term climate change, yet they are insufficiently constrained in current weather and climate models.

The campaign is scientifically extremely relevant for advancing understanding of atmospheric dynamics in the deep tropics, including large-scale circulations, gravity waves, equatorial waves, convection-driven transport, and their interactions with radiation and clouds. These processes are essential for improving the representation of the Tropical Tropopause Layer, the Brewer – Dobson circulation, and the Quasi-Biennial Oscillation in numerical models. Improved knowledge of stratospheric dynamics will also support advances in weather prediction, as improved representation of stratosphere – troposphere coupling is known to enhance forecast skill for large-scale circulation, tropical variability, and high-impact weather at medium and extended lead times. The STRATEOLE-2 observations will also provide highly valuable reference measurements for the calibration and validation of current and future satellite missions, including wind-lidar missions such as ESA's Aeolus, thereby strengthening the accuracy and long-term consistency of global satellite-based atmospheric datasets.

In addition, STRATEOLE-2 will document key components of atmospheric composition that are central to the climate system, including water vapour, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), ozone, and aerosols. Small variations in stratospheric water vapour and trace gases are known to have disproportionate impacts on Earth's radiative balance and climate feedback. The unique combination of in-situ measurements, vertical profiling beneath the balloons, and remote sensing observations carried out over several months provides information that cannot be obtained from satellites, ground-based stations, or conventional radiosonde networks alone.

Experts involved in WMO programmes in the Science and Innovation division particular within the Global Atmosphere Watch and the World Climate Research Programme's Atmospheric Processes And their Role in Climate Core Project, have expressed strong scientific interest and support for the STRATEOLE-2 campaign, highlighting its uniqueness, its complementarity with existing observing systems, and its high potential impact for both weather prediction and climate research at global scale.

WMO also welcomes CNES's and MétéoFrance clear commitment to open science. All data collected during the campaign will be made rapidly available to the international scientific community, in line with WMO data policies and Resolution 40, and a subset of meteorologically relevant data will be shared in near-real time. This open and timely access to high-quality observations is highly valued and will maximize scientific return and societal benefit.

WMO welcomes CNES's interest in working with institutions in countries overflowed, including National Meteorological and Hydrological Services and research organizations. This can include cooperation on balloon operations and atmospheric measurements, as well as opportunities for longer-term collaboration and capacity building.

In conclusion, WMO is fully convinced that the STRATEOLE-2 campaign is scientifically extremely relevant, fully consistent with the principles of open data and international data exchange promoted by WMO, and particularly valuable for its partnership and capacity building dimension. From a scientific standpoint, WMO therefore expresses its full support for this initiative and for the facilitation of the necessary authorizations that will enable its successful implementation.

Yours faithfully,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V. Bouchet', with a stylized flourish at the end.

Dr Veronique Bouchet
Director
Department of Science, Services and Capacity
Development

STRATEOLE-2, **LONG-DURATION STRATOSPHERIC BALLOONS FOR THE STUDY OF THE LOWER EQUATORIAL STRATOSPHERE**

SUMMARY SHEET IN ENGLISH

OBJECT OF THE REQUEST

OVERFLIGHT AUTHORISATIONS

Following the success of the eight flights of the Pre-Strateole-2 campaign of 2019-2020 and the 17 flights of the first scientific campaign of 2021-2022 (see results in **annex 3**), we request that foreign countries authorise CNES to let stratospheric balloons drift over their territory, within the framework of the Strateole-2 No. 2 scientific flight campaign in 2026 – 2027:

The balloon releases are planned between October 2026 and April 2027 and each flight can last up to four months. The potential overflight period therefore extends from October 2026 to August 2027.

This calendar should be considered as a nominal scenario, but in the event of unforeseen circumstances, the dates of this campaign could be postponed by one year.

The overflight authorisations are thus requested for the whole period from October 2026 to August 2028.

While the region of primary scientific interest is the latitude band between 15° North and 20° South, some balloons may occasionally transit outside this region. Therefore, for the countries whose territory is only partly situated in this latitude band, our request extends to their whole territory.

The list of the countries concerned is given in **annex 4**.

APPOINTMENT OF A CORRESPONDENT FOR AGREEING ON AIR TRAFFIC CONTROL PROCEDURES

Our systems and their deployment are carried out in compliance with the ICAO Air Rules (Appendix 5 "Unmanned Free Balloons" of Annex 2 of the ICAO Convention). Most countries do not request any coordination actions other than those imposed by the ICAO.

Should additional coordination action be requested by a country, we would then ask for a contact person or agency to be designated for dealing with this matter.

APPOINTMENT OF A CORRESPONDENT TO BE INFORMED OF A LANDING IN THE EVENT OF FORCE MAJEURE

In the nominal situation, we will terminate the flight over the seas, so we do not nominally plan landing of the balloons. However, the need for a landing cannot be totally excluded, in case of force majeure.

To cover such an eventuality, we ask that each country appoint a correspondent with whom we could coordinate if such an event were to occur.

LANDING AUTHORISATION FOR TENTATIVE RECOVERY OF THE FLIGHT HARDWARE (CONSIDERED FOR A SMALL NUMBER OF COUNTRIES)

As mentioned above, once the mission of a flight has been fulfilled, we plan to terminate the flight over the seas. However, the recovery of certain flight systems may be considered, as well as the management of the flight termination over land for this purpose, provided that the safety criteria are met. We would like to discuss this possibility with the following countries: Australia, Bolivia, Brazil and Peru. We are therefore requesting that correspondents be appointed for this purpose in these four countries.

PREVIOUS LONG-DURATION BALLOON FLIGHT CAMPAIGNS

Numerous flight campaigns of very long-duration balloons have been carried out in the past by CNES, in excellent coordination with the countries overflown. The most recent one is the STRATEOLE 2 scientific campaign No.1 of 2021-2022, where the same hardware, software and balloons were operated as for the coming campaign of 2025-2026. For each of these previous campaigns, the on-going process for requesting authorisation and coordination was used.

Note: Information about these campaigns can be found at <http://tinyurl.com/strateole>

THE STRATEOLE-2 PROGRAMME

SCIENTIFIC OBJECTIVES

The main scientific outcome expected from Strateole-2 is improved knowledge of the evolution of the climate, by allowing a better understanding of certain phenomena which occur in the atmosphere near an altitude of 18,000 m, in the vicinity of the equator. Stratospheric balloons drifting in the stratosphere allow observations that are essential for this purpose and are unattainable by any other means.

The mission consists in performing a set of measurements from pressurised balloons drifting for several months in the lowermost equatorial stratosphere. These measurements are intended to study the transport of water vapour, the dynamics of the atmosphere, and ultimately the impacts of these processes on climate and meteorology.

Studies have recently shown that small variations in stratospheric moisture can have significant climatic impacts compared to those produced by the long-term increase in greenhouse gases. Future changes in stratospheric moisture and ozone are key factors for the climate system. However, our current understanding of the transport processes at the Tropical Tropopause (coldest point between the lower atmosphere and the stratosphere) is insufficient and places limits on achieving the highest accuracy predictions from climate models. Transport in this region results from complex interactions among large-scale circulations, convection, atmospheric waves, clouds and radiative processes. In addition, high-resolution vertical observations (e.g. radiosondes) are rare at low latitude and are essentially limited to the continents. Finally, the use of satellite observations is complicated by the steep vertical gradients in atmospheric properties that are present in this region.

Obtaining new high-resolution and global observations in the upper troposphere / lower stratosphere in the deep tropics is thus considered a priority by the international scientific community. Strateole-2 aims to fulfil that need.

Note: more information about Strateole-2 can be found at <http://tinyurl.com/strateole>

RESEARCH INSTITUTES AND TYPES OF MEASUREMENTS

Strateole-2 is a project bringing together the majority of French institutions involved in the study of the upper troposphere-lower stratosphere (LMD, LATMOS, LPC2E, GSMA & DT-INSU, CNRM), two institutions in the United States of America (the LASP in Boulder and the Scripps Institution of Oceanography in San Diego), and will be based on collaborations with laboratories in different countries, including India (NARL in Gadanki) and Australia (University of Adelaide).

The on-board scientific instruments, listed in **annex 1**, are intended solely for the study of the atmosphere and for meteorology.

Following the initial "Pre-Strateole-2" flight validation campaign for system development, the Strateole-2 programme will include two scientific measurement campaigns.

During these different campaigns, balloons will be deployed at two levels in the stratosphere:

- In the Tropical Tropopause Layer (TTL), at 18,000m of altitude, equipped with in-situ sampling instruments (water vapour, aerosols and concentrations of ozone and carbon dioxide), and lightweight "profiler devices" measuring the same parameters, deployed as much as 2000m below the balloons,
- Above the "TTL", at 20,000m of altitude, equipped with remote sensing instruments (cloud detection Lidar, atmospheric soundings through GPS radio-occultation, measurement of the radiative balance of the Earth).

ACCESS TO DATA

All the data acquired will be made available to the international atmospheric science community, in compliance with WMO Resolution 40: *"As a fundamental principle of the World Meteorological Organization (WMO), and in consonance with the expanding requirements for its scientific and technical expertise, the WMO commits itself to broadening and enhancing the free and unrestricted international exchange of meteorological and related data and products."*

In addition, the subset of data acquired in flight that is useful for meteorology will be transmitted in near-real time to the Global Telecommunication System of the World Meteorological Organization, thus making it freely usable worldwide by the various Meteorological Forecasting Centres.

DESCRIPTION OF THE FLIGHT SYSTEM AND OF THE CONDUCT OF THE FLIGHTS

The balloons will be released by CNES from the equatorial region in the Indian Ocean. CNES will ensure continuous flight monitoring, checking the operational status of the systems on board. The end of each flight will be ordered according to pre-established safety rules. For this purpose, CNES has a redundant satellite link control centre in communication with the balloon fleet. Throughout the flights, a dialogue is established with the relevant air traffic control authorities, according to pre-established procedures.

Each balloon is registered in France and carries an ADS-B radar transponder and a flashing light required by ICAO regulations. This equipment is aeronautically certified.

The balloons are spheres filled with helium, with a diameter of 11 to 13m depending on the flight altitude and payload, made of very thin plastic material (tens of microns), which carry a suspended assembly consisting of a parachute, a "flight control gondola" weighing about 15kg and finally a "payload gondola" weighing about 22kg, carrying the scientific instruments. The parachute ensures that the gondolas reach the ground at low vertical speed. The shell of the gondolas is made of a shock-absorbing material.

Some of the payload gondolas carry a "FLOATS" or "RACHuTS" instrument, which include a sensor unit deployed down to 2000m below the balloon. These deployed units meet the weight and fragility criteria defined for the "light balloons" class by the ICAO "Rules of the Air".

A synoptic view of the flight system is presented in **annex 2**.

STRATEOLE-2 FLIGHT CAMPAIGN OVERVIEW

Three flight campaigns are planned for Strateole-2:

- **Pre-Strateole-2 (achieved in 2019-2020)**

This campaign aimed at validating all the new systems,

- Eight flights took place during this campaign; see trajectories in **annex 3**

The launches were performed between 6 November 2019 and 8 December 2020. The longest flight was terminated after 107 days of flight. The flotilla accumulated 680 days of flight, 85 days on average per balloon.

- **Strateole-2 scientific campaign no.1: carried out in 2021-2022**

- 17 flights took place during this campaign; see trajectories in **annex 3**

The releases were carried out between 20 October and 26 November 2021. The longest flight lasted 71 days. The flotilla accumulated 632 days of flight, or on average, 37 days per balloon.

- **Strateole-2 scientific campaign no.2 (the subject of this request)**

- Up to approximately 25 flights are planned during this campaign

- The release campaign is planned from October 2025 and each flight can last up to four months. The potential overflight period extends from October 2025 to August 2026.

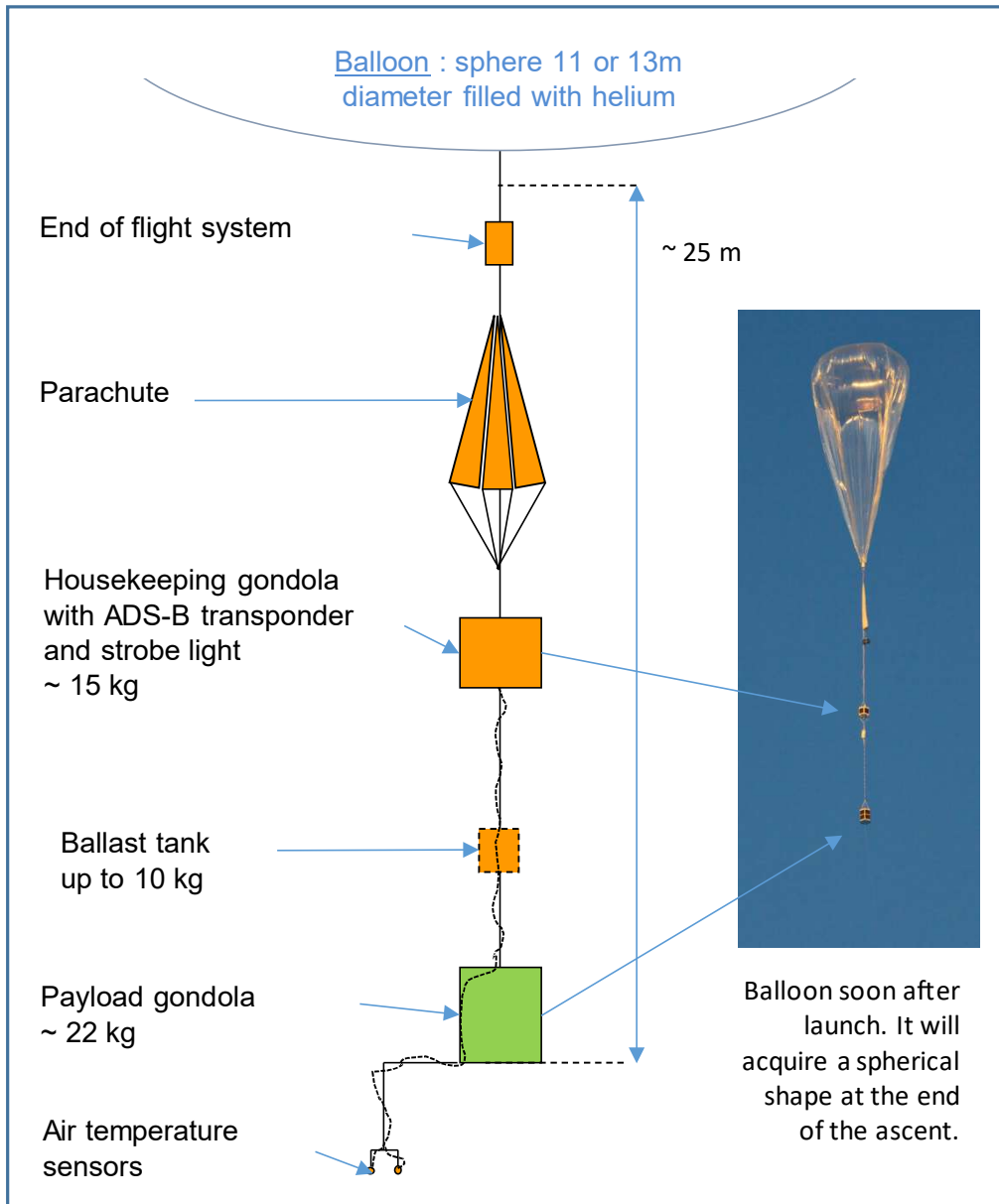
The exploitation of the scientific results obtained during the two campaigns carried out is still in progress but has already been the subject of several scientific articles in specialised journals (see list in **annex 3**).

- [Annex 1: Short description of the scientific measurements](#)

Scientific instruments provide a useful set of measures to achieve the climate and meteorological objectives described above. Over time, some updates are possible, from one flight campaign to the next. The list of instruments for the Strateole-2 scientific campaign No.2 is as follows:

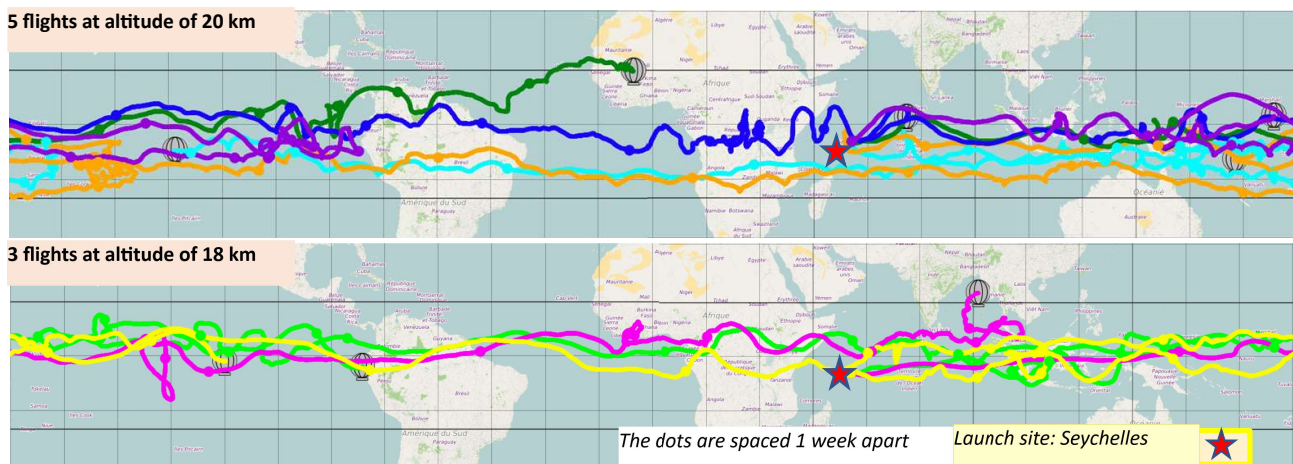
Instrument name	Measurement
GPS	Wind at balloon flight level
TSEN	Air pressure and temperature at balloon flight level
RACHuTS	Vertical profiles of air temperature, water vapour and cloud detection, up to 2000m below the balloon
FLOATS	Vertical profiles of air temperature, up to 2000m below the balloon
BOL-DAIR	Upwelling infrared flux
SAWfPHY	Water vapour, through "frost point" technique, at balloon flight level
pico-SDLA	Water vapour and carbon dioxide, through laser absorption, at balloon flight level
B-Bop	Ozone concentration at balloon flight level
LOPC	Cloud aerosol counter at balloon flight level
LOAC	Cloud aerosol counter at balloon flight level
BeCOOL	Cloud detection by Lidar, up to a few kilometres below the balloon
ROC	Atmospheric sounding through GPS Radio-Occultation
VATA	Wind speed
BIS	Infrasounds
X-STORM	High energy particles
RIP	Electrical field

ANNEX 2: TYPICAL CONFIGURATION OF AN AEROSTAT

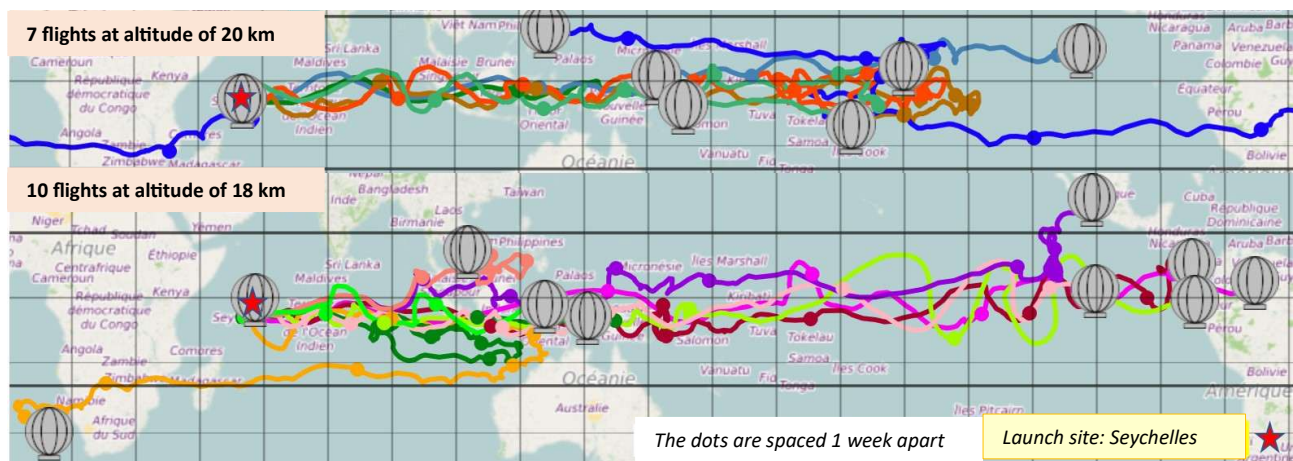


ANNEX 3: RESULTS OF THE TWO PREVIOUS STRATEOLE 2 CAMPAIGNS

Pre-Strateole 2 Campaign, trajectories between 11 November 2019 and 29 February 2020:



Scientific campaign No.1, trajectories between 20 October 2021 and 25 January 2022:



First scientific publications:

- Haase, J., et al. Around the world in 84 days, Eos, 2018
- Hertzog A. How can we improve the driving of the Quasi-Biennial Oscillation in climate models?, J. Geophys. Res.-Atmos. 2020
- Kalnajs, L. E., et al. A reel-down instrument system for profile measurements of water vapor, temperature, clouds, and aerosol beneath constant-altitude scientific balloons, Atmos. Meas. Tech., 2021
- Corcos, M., et al. Observation of gravity waves at the tropical tropopause using superpressure balloons. J. Geophys. Res.: Atmos., 2021
- Alexander, M. J., et al. Observational validation of parameterized gravity waves from tropical convection in the Whole Atmosphere Community Climate Model. J. Geophys. Res.: Atmos, 2021
- Bramberger, M., et al. First Super-Pressure Balloon-Borne Fine-Vertical-Scale Profiles in the Upper TTL: Impacts of Atmospheric Waves on Cirrus Clouds and the QBO. Geophys. Res. Lett., 2022
- Garcia, R. F., et al. Infrasound from large earthquakes recorded on a network of balloons in the stratosphere, Geophys. Res. Lett., 2022
- Podglajen, A., et al. Stratospheric Balloon Observations of Infrasound Waves From the 15 January 2022 Hunga Eruption, Tonga, Geophys. Res. Lett., 2022
- Cao, B., et al. Equatorial waves resolved by balloon-borne Global Navigation Satellite System Radio Occultation in the Strateole-2 Campaign, Atmos. Chem. Phys., in press.

ANNEX 4 : STRATEOLE-2, COUNTRIES POSSIBLY OVERFLOWN

Afrique	Amériques	Asie-Océanie
Angola	Bolivia	Australie
Benin	Brésil	Birmanie
Botswana	Chili	Brunei
Burkina-Faso	Colombie	Cambodge
Burundi	Costa Rica (Dont ILES Del Coco)	Etat Fed. De Micronésie-Iles Carolines
Cameroun	El Salvador	Fidji
Centrafrique	EQUATEUR Dont Iles Galapagos	ILES De Nouvelle Zélande : Tokelau , Iles Cook, Niue Is
Comores	Grenade, Grenadines, Ste Lucie	Iles Des Etats-Unis (Jarvis, Baker, Howland, Kingman Reef, Palmyra, Guam, Marianne Isl)
Congo	Guatemala	Iles Marshall
Côte D'ivoire	Guyana	Iles Maurice (Agalega)
Djibouti	Honduras	Iles Salomon
Erythrée	Mexique	INDE (Dont ILES Nicobar)
Ethiopie	Nicaragua	Indonesie
Gabon	Panama	Kiribati- Iles Phoenix, Iles De La Ligne
Gambie	Paraguay	Laos
Ghana	Perou	Malaisie
Guinée-Bissau	Suriname	Maldives
Guinée Conakry	Venezuela	Nauru
Guinée Equatoriale	Barbade	Palaos
Iles Du Cap Vert		Papouasie-Nvelle Guinee
Iles UK St H, Asc, Di G, ...		Philippines
Kenya		Samoa
Liberia		Seychelles
Madagascar		Singapour
Malawi		Sri Lanka
Mali		Thailande
Mauritanie		Timor Oriental
Mozambique		Tonga
Namibie		Tuvalu
Niger		Vanuatu
Nigeria		Vietnam
Ouganda		Yemen
Rd. Congo		
Rwanda		
Sao Tomé Principe		
Sénégal		
Sierra Leone		
Somalie		
Soudan		
Soudan Du Sud		
Tanzanie		
Tchad		
Togo		
Zambie		
Zimbabwe		

STRATEOLE-2,
BALLONS STRATOSPHERIQUES DE LONGUE DURÉE
POUR L'ÉTUDE DE LA BASSE STRATOSPHERE ÉQUATORIALE

FICHE SYNTHÉTIQUE EN FRANÇAIS

OBJET DE LA DEMANDE

AUTORISATIONS DE SURVOL

Suite aux succès des 8 vols de la campagne Pré-Stratéole-2 de 2019-2020 et des 17 vols de la première campagne scientifique de 2021-2022 (voir résultats en **annexe 3**), nous demandons l'autorisation de survoler le territoire de pays étrangers par des ballons du CNES dans le cadre de la Campagne scientifique Strateole-2 n°2 en 2026 – 2027 :

Les dates de lâchers des ballons sont prévues entre octobre 2026 et avril 2027, chaque vol peut atteindre une durée de 4 mois. La période de survol potentiel s'étend donc d'octobre 2026 à août 2027.

Ce calendrier est à considérer comme scénario nominal, mais en cas d'alea, les dates de cette campagne pourraient être décalées d'un an.

Lesdites autorisations de survol sont ainsi demandées pour la période couvrante d'octobre 2026 à août 2028.

Bien que la région de vol d'intérêt principal pour la mission scientifique soit la bande de latitude [15°Nord, 20°Sud], il est possible que certains ballons dérivent de façon transitoire en dehors de cette plage de latitude. En conséquence, pour les pays situés en partie dans la région nominale, cette demande porte sur l'ensemble de leur territoire.

La liste des pays concernés est donnée en **annexe 4**. A noter que des territoires français se situent dans cette zone.

DESIGNATION D'UN CORRESPONDANT POUR CONVENIR DES PROCÉDURES DE CONTRÔLE AÉRIEN

Nos systèmes et leur mise en œuvre sont réalisés dans le respect des Règles de l'Air de l'OACI (appendice 5 « Ballons Libres Non Habités » de l'annexe 2 de la Convention de l'OACI). La coordination avec les services du contrôle aérien s'effectue généralement par simple application de ces règles.

Mais si une action de coordination supplémentaire est requise par un pays, nous demandons que ce pays désigne un correspondant avec qui traiter cette question.

DÉSIGNATION D'UN CORRESPONDANT POUR INFORMER D'UN ATERRISSAGE EN CAS DE FORCE MAJEURE

En situation nominale, nous mettrons fin au vol en survol des mers. Nous ne prévoyons donc pas nominale de mettre fin au vol en survol des terres. Cependant un atterrissage ne peut être totalement exclu, en cas de force majeure. Pour couvrir une telle éventualité, **nous demandons que chaque pays nous désigne un correspondant que nous joindrions suite à un atterrissage sur son territoire.**

AUTORISATION D'ATERRISSAGE À FIN DE RÉCUPÉRATION ÉVENTUELLE DU MATÉRIEL DE VOL (ENVISAGÉ SUR UN PETIT NOMBRE DE PAYS)

Comme précisé plus haut, nous prévoyons nominale de mettre fin aux vols en survol des mers, une fois la mission du vol réalisée. Toutefois la récupération de certains vols pourrait être envisagée, suite à une fin de vol commandée dans ce but, sous réserve que différents critères se trouvent respectés. Nous souhaiterions pouvoir discuter d'une telle possibilité avec les pays suivants : Australie, Bolivie, Brésil, Pérou.

Nous sommes donc demandeurs que nous soient désignés des correspondants à cette fin dans ces 4 pays.

PRÉCÉDENTES CAMPAGNES DE VOLS BALLONS DE LONGUE DURÉE

De nombreuses campagnes de vols de ballons de très longue durée, ont été effectuées dans le passé par le CNES, en excellente coordination avec les états survolés. La plus récente est la campagne Strateole-2 campagne scientifique n°1 de 2021-2022, qui a mis en œuvre des matériels et des ballons identiques à ceux de la future campagne de 2025. Cette campagne a donné lieu au processus de demandes d'autorisations comme celui déroulé présentement.

Nota: on pourra trouver des informations sur ces campagnes sur <http://tinyurl.com/strateole>

LE PROGRAMME STRATEOLE-2

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les retombées principales de Strateole-2 sont attendues sur l'étude de l'évolution du climat, en permettant une meilleure connaissance de certains phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère vers 18 000 m d'altitude, au voisinage de l'équateur. Les ballons stratosphériques dérivant dans la stratosphère permettent des observations essentielles pour cet objectif, inaccessibles par tout autre moyen.

La mission consiste en un ensemble de mesures réalisées à partir de flottilles de ballons pressurisés dérivant durant plusieurs mois dans la basse stratosphère équatoriale. Ces mesures sont destinées à l'étude des transports de vapeur d'eau, de la dynamique, et in fine des impacts sur le climat et sur la météorologie. Des études ont montré récemment que des petites variations de l'humidité stratosphérique pouvaient avoir des impacts climatiques significatifs comparés à ceux produits par l'augmentation décennale des gaz à effet de serre. Les évolutions futures de l'humidité et de l'ozone stratosphériques constituent ainsi des rétroactions clés pour le système climatique. Or, notre compréhension actuelle des mécanismes de transport à la tropopause tropicale est insuffisante et limite la confiance que l'on peut apporter aux prévisions réalisées par les modèles climatiques. Le transport dans cette région résulte en effet d'interactions complexes entre les mouvements de grande échelle, la convection, les ondes atmosphériques, les processus nuageux et radiatifs. De plus, les observations à haute résolution (par ex. radiosondes) sont rares à basse latitude et essentiellement limitées aux continents. Enfin, l'utilisation des observations satellites est compliquée par les importants gradients verticaux présents dans cette région.

L'obtention de nouvelles observations in-situ à haute résolution et à l'échelle globale dans la haute troposphère basse stratosphère équatoriale est ainsi considérée comme prioritaire par la communauté scientifique internationale, et Strateole-2 est développé dans ce cadre.

Nota: on pourra trouver plus d'informations sur Strateole-2 sur <http://tinyurl.com/strateole>

INSTITUTS DE RECHERCHE ET TYPES DE MESURE

Strateole-2 est un projet regroupant la majorité des laboratoires français impliqués dans l'étude de la haute troposphère-basse stratosphère (LMD, LATMOS, LPC2E, GSMA & DT-INSU, CNRM), deux laboratoires aux Etats-Unis d'Amérique (le LASP à Boulder et le Scripps Institution of Oceanography à San Diego) et reposera sur des collaborations avec des laboratoires de différents pays, dont l'Inde (le NARL à Gadanki) et l'Australie (à l'Université d'Adelaïde).

Les instruments de mesure scientifique embarqués, dont la liste est précisée en **annexe 1**, sont uniquement destinés à l'étude de l'atmosphère et à la météorologie.

Suite à la campagne « Pré-Strateole-2 » de validation en vol des systèmes développés pour Strateole-2, le programme comporte deux campagnes de mesures scientifiques.

Lors de ces différentes campagnes, des ballons sont déployés à 2 niveaux dans la stratosphère :

- Dans la « TTL » (Tropical Tropopause Layer), c'est-à-dire à 18 500 m d'altitude, dotés d'instruments de mesure in-situ (vapeur d'eau, aérosols et concentrations en ozone et en dioxyde de carbone), et d'appendices légers « profileurs » des mêmes paramètres, se déployant jusqu'à 2000m sous les ballons,
- Au-dessus de la « TTL », à 20 000 m d'altitude, dotés d'instruments de mesure à distance (Lidar de détection des nuages, sondages atmosphériques par radio-occultation GPS, mesure du bilan radiatif atmosphérique).

ACCÈS AUX DONNÉES

L'ensemble des données acquises, est mis à disposition de la communauté internationale des sciences de l'atmosphère, dans le respect de la résolution 40 de l'OMM : *"As a fundamental principle of the World Meteorological Organization (WMO), and in consonance with the expanding requirements for its scientific and technical expertise, the WMO commits itself to broadening and enhancing the free and unrestricted international exchange of meteorological and related data and products."*

De plus, parmi les données acquises en vol, celles utiles pour la météorologie opérationnelle, seront transmises en quasi-temps réel vers le « Global Telecommunication System » de l'Organisation Météorologique Mondiale, les rendant ainsi utilisables librement par les différents Centres de Prévisions Météorologiques à travers le monde.

DESCRIPTION DES VOLS ET DES AÉROSTATS

Les ballons seront lâchés par le CNES depuis la région équatoriale, dans l'Océan Indien. Le CNES assurera une surveillance continue des vols, vérifiant la bonne santé des systèmes à bord. La fin de chaque vol sera commandée selon des règles de sécurité préétablies. Pour ce faire le CNES dispose d'un centre de contrôle en liaison satellitaire redondante avec la flottille de ballons. Tout au long des vols, un dialogue est établi avec les autorités de contrôle de la circulation aérienne, selon les procédures préétablies.

Chaque ballon est immatriculé en France et embarque un transpondeur radar ADS-B et un feu à éclats imposés par le règlement de l'OACI ; ces équipements sont certifiés aéronautique.

Les ballons sont des sphères remplies d'hélium, d'un diamètre de 11 à 13 m selon les vols, réalisées en matière plastique de très faible épaisseur (dizaines de microns), qui emportent un ensemble suspendu constitué d'un parachute, d'une « nacelle de servitude » d'environ 15 kg et enfin d'une « nacelle charge utile » d'environ 22 kg, contenant les instruments scientifiques. Le parachute assure une arrivée au sol des nacelles à faible vitesse verticale. La coque des nacelles est constituée d'un matériau absorbant les chocs.

Certaines des nacelles charge utile comportent un instrument « profileur d'atmosphère » (« FLOATS » ou « RACHuTS »), dont le capteur se déploie jusqu'à 2000 m sous le ballon. Ces éléments déployés respectent les critères de légèreté et de fragilité imposés pour les « ballons légers » par les « Règles de l'Air » de l'OACI.

Une vue synoptique de l'aérostaf est présentée en **annexe 2**.

CAMPAGNES DE L'ENSEMBLE DU PROJET STRATEOLE-2

Trois campagnes de vol sont prévues pour Strateole-2 :

- **Pré-Strateole-2 : réalisée en 2019-2020**

Il s'agissait d'une campagne de validation des systèmes nouveaux :

- 8 vols ont eu lieu au cours de cette campagne, voir trajectoires en **annexe 3**

Les lâchers ont été réalisés entre le 6 novembre et le 8 décembre 2019. Nous avons mis fin au vol le plus long après 107 jours de vol. La flottille a cumulé 680 jours de vol, soit en moyenne, 85 jours par ballon.

- **Strateole-2 campagne scientifique n°1 : réalisée en 2021-2022**

- 17 vols ont eu lieu au cours de cette campagne, voir trajectoires en **annexe 3**

Les lâchers ont été réalisés entre le 20 octobre et le 26 novembre 2021. Le vol le plus long a duré 71 jours. La flottille a cumulé 632 jours de vol, soit en moyenne, 37 jours par ballon.

- **Strateole-2 campagne scientifique n°2 (l'objet de cette demande)**

- Jusqu'à environ 25 vols sont prévus au cours de cette campagne,
- La campagne de lâchers est prévue à partir d'octobre 2025, chaque vol peut atteindre une durée de 4 mois. La période de survol potentiel s'étend d'octobre 2025 à août 2026.

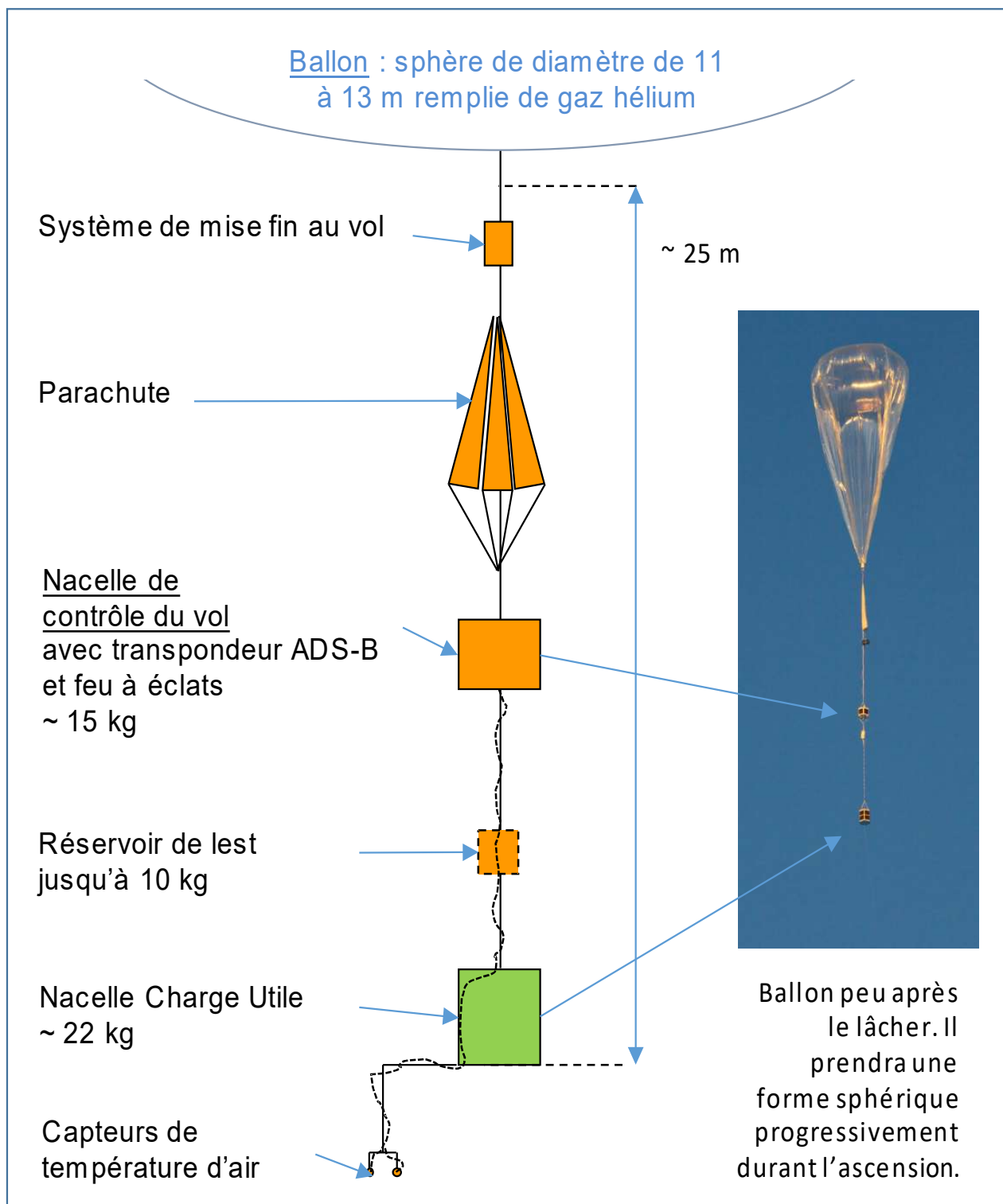
L'exploitation des résultats scientifiques obtenus lors des deux campagnes réalisées est toujours en cours mais a déjà fait l'objet de plusieurs articles scientifiques dans des revues spécialisées (voir liste en **annexe 3**).

ANNEXE 1 : DESCRIPTIF SUCCINCT DES MESURES SCIENTIFIQUES

Les instruments scientifiques assurent un ensemble de mesures utiles pour atteindre les objectifs décrits plus haut, relatifs au climat et à la météorologie. La liste des instruments de la campagne scientifique Strateole-2 n°2 est la suivante :

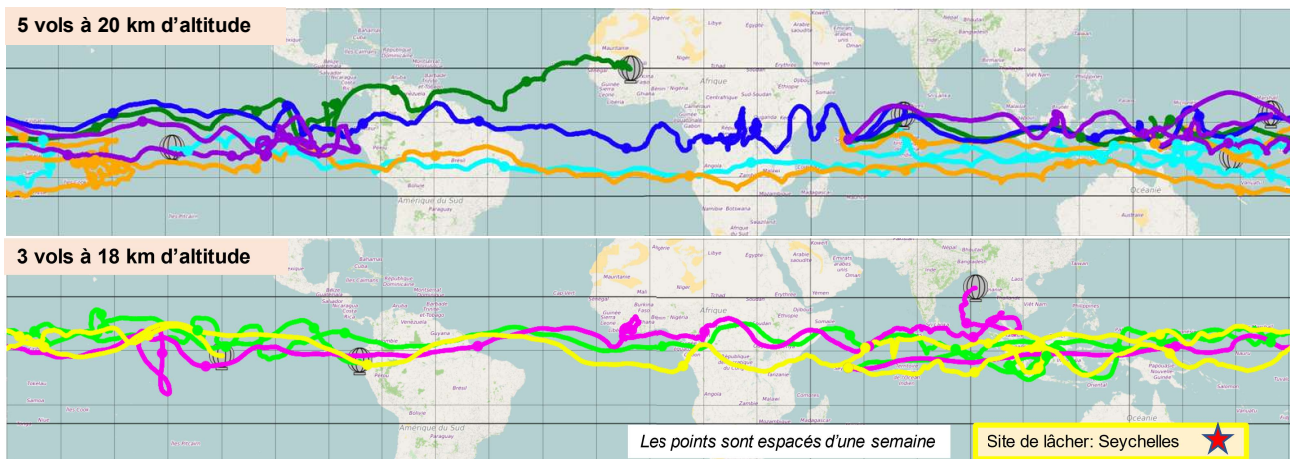
Instrumen t	Mesure
GPS	Vent au niveau de vol du ballon
TSEN	Pression et Température de l'air au niveau de vol du ballon
RACHuTS	Profils verticaux de la température de l'air, de la vapeur d'eau et détection de nuages, jusqu'à 2000 m sous le ballon
FLOATS	Profils verticaux de la température de l'air, jusqu'à 2000 m sous le ballon
BOL-DAIR	Flux infrarouge montant
SAWfPHY	Vapeur d'eau, technique "point de givre", au niveau de vol du ballon
pico-SDLA	Vapeur d'eau et dioxyde de carbone, par absorption laser, au niveau de vol du ballon
B-Bop	Concentration d'ozone au niveau de vol du ballon
LOPC	Compteur d'aérosols (nuages) au niveau de vol du ballon
LOAC	Compteur d'aérosols (nuages) au niveau de vol du ballon
BeCOOL	détection de nuages par Lidar, jusque quelques kilomètres sous le ballon
ROC	Sondage atmosphérique par Radio-Occultation GPS
VATA	Vitesse du vent
BIS	Infrasons
X-STORM	Particules haute énergie
RIP	Champ électrique

ANNEXE 2 : CONFIGURATION TYPE D'UN AÉROSTAT

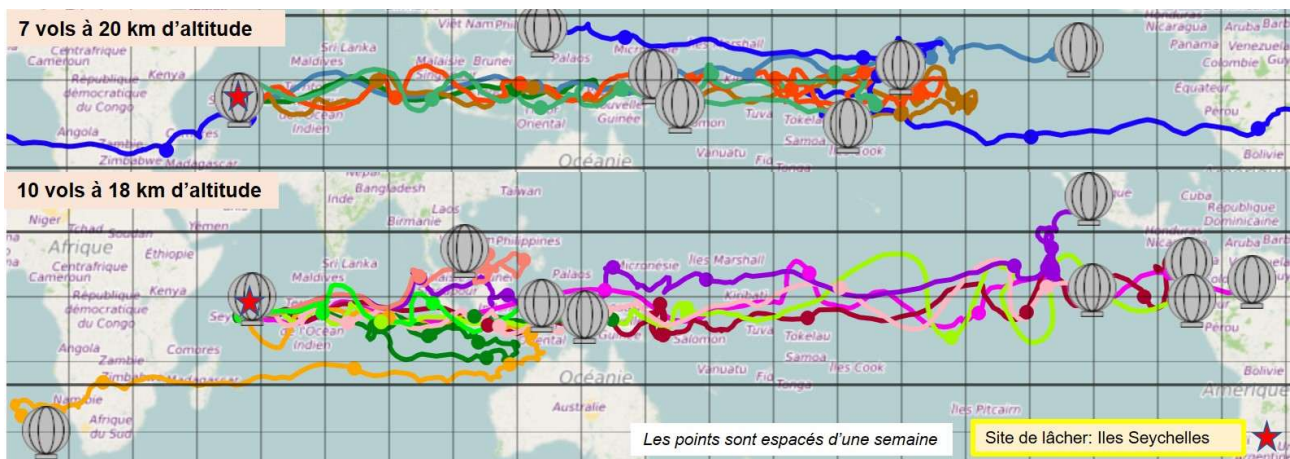


ANNEXE 3 : RÉSULTATS DES DEUX CAMPAGNES STRATEOLE-2 RÉALISÉES

Campagne de 2019-2020, trajectoires entre le 11 novembre 2019 et le 29 février 2020 :



Campagne scientifique n°1, trajectoires entre le 20 octobre 2021 et le 25 janvier 2022 :



Premiers articles scientifiques parus :

- Haase, J., et al. Around the world in 84 days, Eos, 2018
- Hertzog A. How can we improve the driving of the Quasi-Biennial Oscillation in climate models?, J. Geophys. Res.-Atmos. 2020
- Kalnajs, L. E., et al. A reel-down instrument system for profile measurements of water vapor, temperature, clouds, and aerosol beneath constant-altitude scientific balloons, Atmos. Meas. Tech., 2021
- Corcos, M., et al. Observation of gravity waves at the tropical tropopause using superpressure balloons. J. Geophys. Res.: Atmos., 2021
- Alexander, M. J., et al. Observational validation of parameterized gravity waves from tropical convection in the Whole Atmosphere Community Climate Model. J. Geophys. Res.: Atmos, 2021
- Bramberger, M., et al. First Super-Pressure Balloon-Borne Fine-Vertical-Scale Profiles in the Upper TTL: Impacts of Atmospheric Waves on Cirrus Clouds and the QBO. Geophys. Res. Lett., 2022
- Garcia, R. F., et al. Infrasound from large earthquakes recorded on a network of balloons in the stratosphere, Geophys. Res. Lett., 2022
- Podglajen, A., et al. Stratospheric Balloon Observations of Infrasound Waves From the 15 January 2022 Hunga Eruption, Tonga, Geophys. Res. Lett., 2022
- Cao, B., et al. Equatorial waves resolved by balloon-borne Global Navigation Satellite System Radio Occultation in the Strateole-2 Campaign, Atmos. Chem. Phys., in press.

ANNEXE 4 : STRATEOLE-2, PAYS POTENTIELLEMENT SURVOLÉS

Afrique	Amériques	Asie-Océanie
Angola	Bolivia	Australie
Benin	Brésil	Birmanie
Botswana	Chili	Brunei
Burkina-Faso	Colombie	Cambodge
Burundi	Costa Rica (Dont ILES Del Coco)	Etat Fed. De Micronésie-Iles Carolines
Cameroun	El Salvador	Fidji
Centrafrique	EQUATEUR Dont Iles Galapagos	ILES De Nouvelle Zélande : Tokelau , Iles Cook, Niue Is
Comores	Grenade, Grenadines, Ste Lucie	Iles Des Etats-Unis (Jarvis, Baker, Howland, Kingman Reef, Palmyra, Guam, Marianne Isl)
Congo	Guatemala	Iles Marshall
Côte D'ivoire	Guyana	Iles Maurice (Agalega)
Djibouti	Honduras	Iles Salomon
Erythrée	Mexique	INDE (Dont ILES Nicobar)
Ethiopie	Nicaragua	Indonesie
Gabon	Panama	Kiribati- Iles Phoenix, Iles De La Ligne
Gambie	Paraguay	Laos
Ghana	Perou	Malaisie
Guinée-Bissau	Suriname	Maldives
Guinée Conakry	Venezuela	Nauru
Guinée Equatoriale	Barbade	Palaos
Iles Du Cap Vert		Papouasie-Nvelle Guinee
Iles UK St H, Asc, Di G, ...		Philippines
Kenya		Samoa
Liberia		Seychelles
Madagascar		Singapour
Malawi		Sri Lanka
Mali		Thaïlande
Mauritanie		Timor Oriental
Mozambique		Tonga
Namibie		Tuvalu
Niger		Vanuatu
Nigeria		Vietnam
Ouganda		Yemen
Rd. Congo		
Rwanda		
Sao Tomé Principe		
Sénégal		
Sierra Leone		
Somalie		
Soudan		
Soudan Du Sud		
Tanzanie		
Tchad		
Togo		
Zambie		
Zimbabwe		