



Dossier de presse
Jeudi 31 mai 2018 - 10h – Toulouse

MAGIC : une campagne de mesures inédite pour traquer les gaz à effet de serre



© Aurélien Bourdon/Cyril Crevoisier 2018

Safire
Aéroport de Toulouse Franczal
135 avenue du Comminges
31270 Cugnaux

Contacts

Presse CNRS | Clément Blondel | 05 61 33 60 14 | 06 32 51 81 98 | clement.blondel@dr14.cnrs.fr
Presse CNES | Claire Dramas | 05 61 28 28 36 | 06 78 10 91 78 | claire.dramas@cnes.fr

Sommaire

| | |
|--|----|
| 1. LA CAMPAGNE MAGIC..... | 3 |
| 2. LES INTERVENANT.E.S | 4 |
| 3. INSTRUMENTS DEPLOYES..... | 5 |
| 4. PLAN DE VOL DE LA CAMPAGNE MAGIC..... | 9 |
| 5. SAFIRE : DES LABORATOIRES VOLANTS AU SERVICE DE LA RECHERCHE..... | 10 |
| 6. LES LABORATOIRES IMPLIQUES | 10 |
| 7. MISSIONS SPATIALES..... | 11 |
| 8. RESSOURCES | 12 |

1. LA CAMPAGNE MAGIC

Le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄) sont les deux principaux gaz à effet de serre émis par les activités humaines. Afin de mieux connaître leur concentration et leur répartition entre les régions toulousaine et orléanaise, une quarantaine de scientifiques français.e.s, principalement du CNRS et du CNES, mais aussi du CEA, de l'École polytechnique, de Météo-France et des universités de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, Lille et Reims, participent depuis le 23 mai à une vaste campagne de mesures atmosphériques inédite : la campagne MAGIC (Monitoring of Atmospheric composition and Greenhouse gases through multi-Instruments Campaigns). Cette campagne s'appuie sur l'infrastructure nationale Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement (Safire – Météo-France/CNRS/CNES) qui met à disposition des scientifiques un Falcon 20. Véritable laboratoire volant pour la mesure in-situ de concentration de gaz, de température/humidité/vent et de particules entre 0 et 11 km d'altitude, cet avion de recherche officie, dans ce cadre, entre Toulouse et Orléans. MAGIC repose également sur l'expertise du CNES et du CNRS dans le déploiement de ballons météorologiques depuis les Landes et le Loiret. Au total, deux avions de recherche, 14 lâchers de sondes atmosphériques sous ballons, 4 sites instrumentés du réseau ICOS et une dizaine d'instruments de mesure de la concentration des gaz sont déployés pour cette campagne inédite.

La campagne MAGIC a un double objectif :

1. Comprendre les échanges verticaux des gaz à effet de serre le long de la colonne atmosphérique, en lien avec le transport atmosphérique, les sources et les puits de gaz à la surface et dans l'atmosphère. En effet, l'une des principales inconnues du cycle du carbone concerne la **méconnaissance actuelle de la distribution verticale des gaz à effet de serre**, en particulier dans la haute troposphère et la stratosphère, la plupart des réseaux de mesure existant ne réalisant que des mesures à la surface.
2. **Préparer les futures missions spatiales françaises pour le suivi des gaz à effet de serre** annoncées lors de la COP21 à Paris : Merlin (mission franco-allemande pour la mesure du méthane), MicroCarb (mission française pour la mesure du dioxyde de carbone) et IASI-NG (mission européenne pour la mesure de la composition atmosphérique et du climat). Ces missions donnent accès à des mesures moyennes des concentrations de gaz sur la colonne atmosphérique.

Seule une utilisation couplée de mesures ballons, avions et sol permet d'atteindre ces objectifs. Les ballons apportent une mesure unique de la répartition verticale de la concentration des gaz jusqu'à 30km, mais ne permettent des mesures qu'à des points précis et limités. Les avions de recherche instrumentés volant jusqu'à une dizaine de km permettent d'envisager des mesures dans un large champ d'action et de suivre les satellites sous leurs traces.

En coopération avec le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique (DLR), agence spatiale allemande, un vol conjoint entre le Falcon 20 et le HALO du DLR (impliquant l'équipe du lidar CHARM-F, démonstrateur de la mission Merlin) est effectué afin de réaliser des mesures simultanées entre les deux avions. Ce vol est opéré en concomitance avec des lâchers de sondes atmosphériques et des mesures de télédétection depuis le sol.

2. LES INTERVENANT.E.S



Cyril Crevoisier est chargé de recherche au CNRS au sein du Laboratoire de météorologie dynamique (CNRS/ENS/École Polytechnique/Sorbonne Université), où il dirige l'équipe ABC(t) en charge de l'observation spatiale pour les sciences de la Terre. Ses activités de recherche portent sur l'étude de la variabilité et de l'évolution des gaz à effet de serre anthropiques (CO₂, CH₄, N₂O) à l'aide de l'observation spatiale et in-situ. Il coordonne le développement de la mission IASI-NG du CNES et participe à la préparation des futures missions spatiales dédiées au CH₄ (Merlin) et au CO₂ (MicroCarb). Depuis 2014, il est président du groupe scientifique pour les sciences atmosphériques du CNES. Il est le **responsable scientifique de la campagne de mesure MAGIC**.



Caroline Bès est ingénieure en sondage atmosphérique au CNES. Ingénieure de l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (ISAE-SUPAERO), elle a obtenu sa thèse de doctorat à l'Institut national polytechnique de Toulouse (Toulouse INP) en 2006. Après 10 ans en charge de projets de R&D pour les télécommunications spatiales, elle a rejoint le projet Merlin, mission spatiale franco-allemande de mesure du méthane, en tant que responsable pour le CNES de la validation des mesures scientifiques générées par la mission. Elle est co-organisatrice de la campagne MAGIC.



Aurélien Bourdon est ingénieur de recherche au CNRS. Il est le directeur du Service des avions français instrumentés pour le recherche en environnement (Safire) depuis 2014. Safire est une unité mixte de service de Météo-France, du CNRS et du CNES, qui dispose de trois avions de recherche. Ces derniers constituent des outils d'observation pour une meilleure compréhension de notre environnement et du climat, la validation satellitaire et le développement aéronautique. Aurélien Bourdon est également un spécialiste de l'intégration et de la certification d'instruments à bord des avions.

3. INSTRUMENTS DEPLOYES

1. AirCore



L'AirCore est un échantillonneur atmosphérique développé par le Laboratoire de météorologie dynamique (LMD, CNRS / Ecole polytechnique / ENS Paris / Sorbonne Université)¹, volant sous ballon météorologique. Il permet la mesure des profils verticaux (de la surface à 30 km d'altitude) de concentration atmosphérique de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et CO). Son concept, basé sur une idée proposée par la NOAA américaine, est extrêmement simple : il consiste en un long tube

d'acier inoxydable mis sous ballon qui, en phase ascendante, se vide de son air par son extrémité ouverte, pour se remplir d'air lors de sa phase descendante. La colonne d'air ainsi capturée est ensuite interprétée en termes de profil vertical de concentration de gaz à l'aide d'un analyseur à diode laser de type Picarro. Ce système permet notamment d'accéder à des altitudes non atteignables par des vols avions et d'obtenir une très bonne résolution verticale. Depuis 2013, le LMD a développé plusieurs versions de cet instrument et les a déployées, en partenariat avec le CNES et le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, CNRS/CEA/Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines)¹, en divers endroits du globe.

Durant la campagne MAGIC, 11 lâchers d'AirCore sont réalisés par les équipes du CNES sur le site d'Aire sur l'Adour (Landes) et par une équipe commune LSCE-LMD sur le site de Trainou (Loiret) notamment au passage des avions de recherche Falcon20 et HALO. La préparation de l'instrument et l'analyse des résultats sont effectuées par le LMD.

2. EM27/sun



L'EM27 est un spectromètre à transformée de Fourier portable. Il est équipé d'un héliostat piloté par une caméra qui renvoie le rayonnement solaire dans le spectromètre avec une direction constante. La haute résolution (de 0,5 cm⁻¹) permet de résoudre les raies des composés minoritaires de l'atmosphère. Le spectromètre enregistre des spectres dans l'infrarouge entre 2,5 et 0,8 micromètre avec deux détecteurs. Un logiciel de transfert radiatif

est ensuite utilisé pour déterminer la colonne totale des différents constituants minoritaires de l'atmosphère terrestre à partir des spectres enregistrés.

Durant la campagne MAGIC, deux EM27/sun sont déployés : l'un est opéré par le LSCE sur le site de Trainou, l'autre par le CNES sur le site d'Aire sur l'Adour.

¹ Le LMD et le LSCE font partie de l'Institut Pierre-Simon Laplace.

3. Falcon 20



Le Dassault Falcon 20 f-GBTM de l'unité Safire est disponible pour les opérations scientifiques depuis 2006. Cet avion est principalement utilisé pour la recherche pluridisciplinaire en haute troposphère et basse stratosphère : télédétection, chimie, microphysique... Il a été grandement modifié afin de pouvoir embarquer

une grande variété d'instruments de mesures atmosphérique et environnementale. Sa perche de nez, ses larges hublots sous et au-dessus du fuselage, ses points d'emports sous les ailes, ses aménagements intérieurs incluant un réseau électrique et informatique spécifiques en font un véritable laboratoire volant.

Durant la campagne MAGIC, le Falcon 20 embarque particulièrement deux analyseurs à diode laser G2401-m développés par la société Picarro et permettant la mesure très précise de la concentration de CO₂, CH₄ et CO. Situés sous les ailes, des instruments de type CDP (Cloud Droplet Probe) permettent la mesure de la taille des particules atmosphériques (gouttelettes d'eau, aérosols). L'équipe à bord durant un vol est composée de sept personnes : 2 pilotes, 1 technicien, 3 ingénieurs et 1 scientifique.

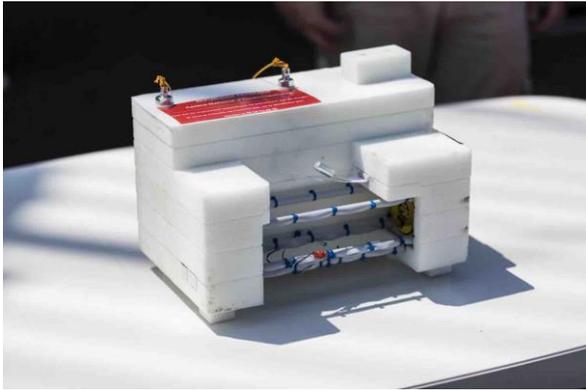
4. HALO Gulfstream G 550



L'avion de recherche HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) du Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique (DLR) a subi un certain nombre de modifications qui en font une véritable plate-forme de recherche.

Dans la campagne MAGIC, un vol conjoint entre le Falcon 20 et le HALO est effectué afin de réaliser des mesures simultanées.

5. AMULSE (Atmospheric Measurements by Ultra Light SpEtrometer)



Le spectromètre diode laser léger AMULSE développé par le Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique (GSMA, CNRS/Université de Reims Champagne-Ardenne) depuis 2014 permet la mesure de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 et H_2O) sous différents types de plateformes notamment les ballons météorologiques, les ballons captifs et les drones. Le principe de cet instrument repose sur la spectrométrie laser d'absorption

directe couplé à la spectrométrie WMS (Wavelength Modulation Spectroscopy – $2f/1f$) qui permet d'avoir une mesure précise ($< 1\%$) et rapide ($< 1\text{s}$). Au cours de ces dernières années, l'instrument toujours inférieur à 3 kg (limite pour la législation sous ballon léger dilatable) a suivi plusieurs évolutions en termes du nombre de gaz détectable et de meilleures limites de sensibilité. Actuellement les performances de l'instrument permettent d'avoir une grande résolution spatiale ($< 10\text{ m}$) avec des mesures @ 10 Hz et une précision inférieure à 0.2% au sol et 3% à 30 km d'altitude.

Durant la campagne MAGIC, 3 lâchers d'AMULSE sont réalisés par les équipes du CNES sur le site d'Aire sur l'Adour en concomitance avec les lâchers d'AirCore. La préparation de l'instrument, sa récupération et l'analyse des résultats sont effectués par le GSMA.

6. CHRIS (Compact High spectral Resolution Infrared Spectrometer)



Le spectromètre infrarouge CHRIS est un prototype instrumental développé pour le Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA, CNRS/Université de Lille) par la société Bruker. Ses caractéristiques générales (masse, volume) ainsi que son fonctionnement sur batterie, lui permettent d'effectuer des mesures de terrain avec une autonomie d'une douzaine d'heures. Ses caractéristiques optiques

permettent d'enregistrer des spectres en transmission solaire avec une résolution spectrale de $0,135\text{ cm}^{-1}$ sur un large domaine spectral ($680\text{--}5200\text{ cm}^{-1}$). Elles ont été optimisées afin d'être parfaitement adaptées à la mesure des gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , H_2O), des gaz traces (SO_2 , HCl , NO_x , etc), mais également des nuages et des aérosols qui présentent des signatures spectrales spécifiques dans la partie thermique.

Durant la campagne MAGIC, CHRIS est déployé à Aire sur l'Adour par une équipe du LOA.

7. Trainou-Orléans : super-site européen de mesure des gaz à effet de serre



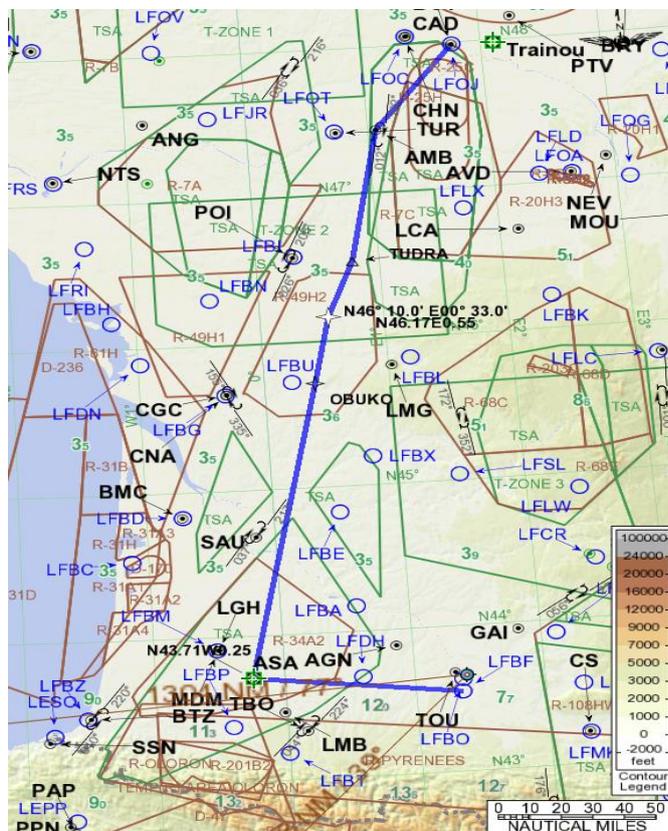
L'observatoire du Trainou en forêt d'Orléans est dédié à la mesure des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O). Depuis son installation en 2006 dans le cadre d'un projet de recherche européen, il a permis de suivre très précisément, heure par heure, l'évolution des teneurs atmosphériques de ces gaz. Il est à l'heure actuelle le seul observatoire en Europe combinant des mesures de gaz à effet de serre au niveau de la surface (de 5 à 180 m), dans la basse atmosphère (de 100 à 3000 m) par avion, dans la haute atmosphère (de 0 à 30 km) par ballon, et sur la colonne atmosphérique totale par télédétection depuis le sol. A ce titre l'observatoire est une station de référence pour la mesure des profils verticaux de gaz à effet de serre, et fait partie de plusieurs projets de recherche européens :

infrastructure de recherche européenne ICOS (www.icos-ri.eu), réseau international TCCON (www.tcon.caltech.edu), projet européen H2020 RINGO (www.icos-ri.eu/ringo).

Le réseau de mesure des gaz à effet de serre en France est coordonné au LSCE/ Observatoire des sciences de l'univers de l'UVSQ (OVSQ, CNRS//Universités de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines), par le Service national d'observation ICOS-France-Atmosphère, soutenu par le CNRS, le CEA, l'UVSQ, l'ANDRA, l'IPEV. Il comprend 16 stations, dont 9 en France métropolitaine. Dans ce réseau la station du Trainou joue un rôle important pour faire le lien entre les mesures de surface du réseau ICOS, et les mesures satellitaires, par l'intermédiaire des moyens aéroportés, ballons et de télédétection permettant de caractériser les profils verticaux. L'ensemble de ces observations des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre vise à mieux comprendre les distributions régionales des émissions de ces gaz par les activités humaines, et leurs absorptions par les écosystèmes terrestres et/ou océaniques. Pour ce faire des modèles mathématiques sont développés en particulier par différents laboratoires de l'Institut Pierre-Simon Laplace, pour reproduire les échanges de ces gaz entre l'atmosphère, les océans et les écosystèmes continentaux.

Durant la campagne MAGIC, plusieurs instruments ont mesuré conjointement la distribution atmosphérique des gaz à effet de serre autour du site de Trainou : spirales du Falcon 20 et du HALO du DLR, 6 lâchers d'AirCore sous ballons météorologiques, mesures du spectromètre EM27/sun. Une quinzaine de scientifiques étaient déployés sur place.

4. PLAN DE VOL DE LA CAMPAGNE MAGIC



La campagne MAGIC se déroule majoritairement entre les sites instrumentés d'Aire-sur-l'Adour (ASA) et de Trainou-Orléans (TRN).

Partant de l'aéroport de Toulouse-Francazal, le Falcon 20 de Safire relie les stations ASA et TRN avec un aller-retour en une journée. Le long du parcours, 5 chandelles sont réalisées entre 50 m (passage bas) et 11 km. Le HALO du DLR, qui part de sa base de Munich, rejoint le Falcon au-dessus d'ASA et effectue un vol coordonné avec le Falcon 20. Pas moins de sept zones de contrôle aérien, à la fois civiles et militaires, sont concernées. La coordination générale est réalisée par Safire, l'avion du DLR volant sous plastron français.

Sur les deux sites ASA et TRN, des lâchers de ballons légers dilatables sont réalisés à chaque passage de l'avion. Les ballons emportent l'échantillonneur atmosphérique AirCore et l'instrument Amulse afin de réaliser des mesures de profils de 0 à 30 km.

Enfin, des mesures de colonnes intégrées de gaz réalisées depuis le sol à l'aide de spectromètres infrarouges EM27/sun et CHRIS viennent compléter le dispositif

En particulier, au-dessus de TRN et ASA, l'avion HALO se maintient à 15 km d'altitude afin de réaliser des mesures de colonnes totales de CH₄ avec le lidar CHARM-F pendant que le Falcon 20 effectue sa chandelle. Le but : connaître les concentrations de méthane à l'endroit où la colonne est mesurée pour faciliter la comparaison et étudier la différence avec les profils mesurés par les instruments sous-ballons à une centaine de km.

5. SAFIRE : DES LABORATOIRES VOLANTS AU SERVICE DE LA RECHERCHE

Basé à l'aéroport de Toulouse-Francazal, Safire (Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement) est un outil d'investigation unique en France pour la recherche climatique et environnementale, la validation satellitaire et le développement aéronautique. Créée en 2005, cette structure publique commune au CNRS, à Météo-France et au CNES a pour mission de mettre en œuvre ces avions au profit de la recherche dans le cadre des campagnes expérimentales. Elle dispose de trois avions instrumentés pour la mesure en vol, véritables laboratoires volants : l'ATR 42, le Falcon 20 et le Piper-Aztec sont des appareils de série lourdement modifiés qui couvrent une vaste palette de capacités d'emport, d'altitude de mesure et de projection. Pilotes, ingénieur.e.s, technicien.ne.s, gestionnaires et personnels de support administratif travaillent en étroite collaboration avec les communautés scientifiques internationales pour une meilleure compréhension du système Terre, la préparation, la calibration et la validation de systèmes spatiaux, la recherche et le développement.

Avec plus de 3 000 heures de données en vol, 500 scientifiques embarqués et 50 laboratoires utilisateurs, Safire conjugue l'excellence technologique de moyens embarqués à l'expertise de ses personnels afin de réaliser des vols spécifiques en support à la recherche et à l'industrie.

6. LES LABORATOIRES IMPLIQUES

Laboratoire de météorologie dynamique (LMD – IPSL, CNRS/ENS/Ecole polytechnique/Sorbonne Université)

<http://www.lmd.jussieu.fr/>

Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE - IPSL, CEA/CNRS/UVSQ)

<https://www.lsce.ipsl.fr/>

Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique (GSMA, CNRS/Université de Reims Champagne-Ardenne)

<http://www.univ-reims.fr/gsma>

Laboratoire d'optique appliquée (LOA, CNRS/Université de Lille)

<http://www-loa.univ-lille1.fr/>

Laboratoire d'études du rayonnement et de la matière en astrophysique et atmosphères (LERMA, Observatoire de Paris/CNRS/Sorbonne Université/ENS/Université de Cergy-Pontoise)

<https://lerma.obspm.fr/>

Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement (Safire, Météo-France/CNRS/CNES)

<http://www.safire.fr/fr/>

7. MISSIONS SPATIALES

Merlin (Methane Remote Sensing Lidar Mission)



La mission Merlin est née de la volonté commune franco-allemande de développer un système spatial innovant et pré-opérationnel relatif au climat et à la surveillance des gaz à effet de serre. Elle a pour objectif la mesure des concentrations atmosphériques de méthane (CH_4) afin de permettre l'estimation des flux de ce gaz contenu dans l'atmosphère, à l'échelle planétaire. En France, le CNES est responsable de la qualité des mesures scientifiques produites par la mission.

MicroCarb



L'objectif de MicroCarb est de cartographier, à l'échelle planétaire, les sources et puits du principal gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO_2). Cette mission, en cours de développement, prévoit le lancement d'un micro-satellite en 2021. Cet instrument, dont la maîtrise d'œuvre est réalisée à Toulouse, sera embarqué sur une plateforme issue de la filière Myriade du CNES. La réalisation de la mission implique la communauté scientifique française engagée dans la recherche sur la climatologie et l'étude du cycle du carbone.

IASI-NG (Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge – Nouvelle Génération)



Depuis 2006, l'instrument IASI équipe les satellites européens Metop. Sa force : outre la température et l'humidité, il mesure plus de 25 composants atmosphériques avec une très grande précision. L'instrument IASI-nouvelle génération permettra de déterminer les profils de température et de vapeur d'eau dans l'atmosphère, la température de surface des océans et des continents, de suivre une gamme très vaste de composés chimiques et de variables essentielles pour l'étude du climat : gaz à effet de serre, poussières désertiques, nuages...

8. RESSOURCES



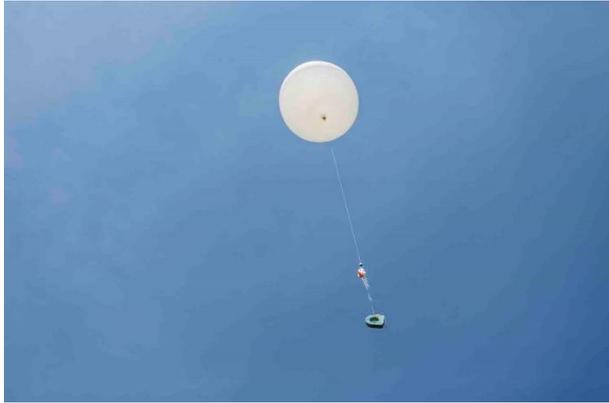
Falcon 20 de l'unité Safire en vol basse altitude (50m) sur la station d'Aire sur l'Adour, le 24 mai 2018 © CNES/Alexandre Ollier 2018



Compteurs à particule sous les ailes du Falcon 20 de Safire © Cyril Crevoisier 2018



Analyseur d'air atmosphérique Picarro pour la mesure de concentration de CO_2 , CH_4 et CO , volant à bord du Falcon 20 de Safire, ici en calibration en laboratoire © CNES/Nicolas TRONQUART, 2018



Echantillonneur atmosphérique AirCore du LMD sous ballon léger dilatable, lâché par la division ballon du CNES depuis Aire sur l'Adour le 24 mai 2018 © CNES/Alexandre Ollier 2018



Préparation de 3 ballons légers dilatables pour lâchers simultanés par les équipes du CNES sur le site d'Aire sur l'Adour le 25 mai 2018 © Cyril Crevoisier 2018



Préparation d'un lacher AirCore sur le site de Trainou, le 25 mai 2018 © Céline Lett 2018