

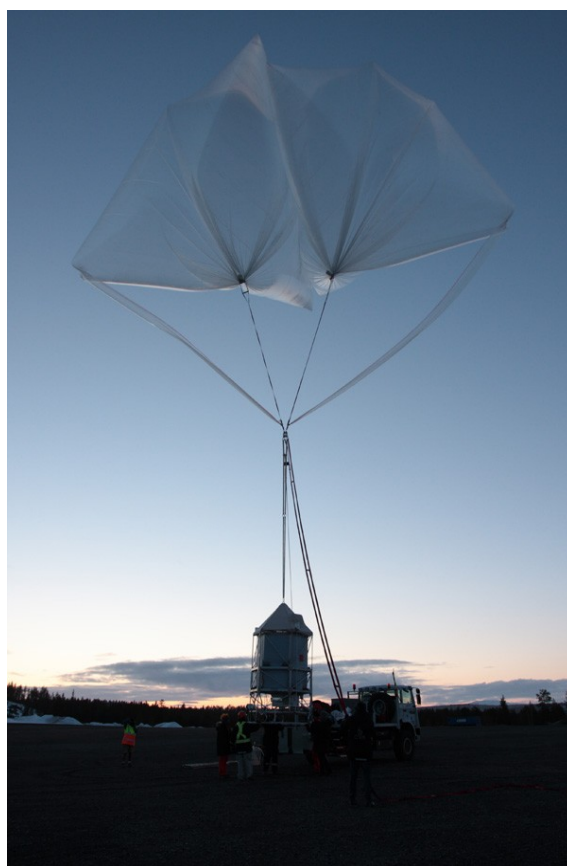
# Après SARA en avion, SARA en ballon !

J. Zaccaria, S. Kassi, D. Romanini\*

Laboratoire LIPhy, UMR5588 UJF/CNRS

(\*) Pour toute correspondance

Une nouvelle application s'ouvre pour le spectromètre optique à cavité haute finesse. Cet analyseur de traces de gaz<sup>1,2</sup>, développé par le LIPhy, a participé au projet ENRICHED (<http://lpc2e.cnrs-orleans.fr/~enriched/>) coordonné par l'équipe de Valéry Catoire du LPC2E à Orléans. Ce projet avait pour but de collecter des données concernant l'évolution de la stratosphère en région arctique de l'hiver jusqu'au printemps. L'objectif étant d'alimenter les bases de données du GIEC<sup>3</sup> qui, jusqu'à ce jour, ne prennent en compte que la basse couche de l'atmosphère dans les modèles de prévision du changement climatique.



La nacelle SPIRALE soutenue par deux ballons auxiliaires avant décollage.

Afin d'étudier plus en détail la stratosphère, couche de l'atmosphère située au-delà de 10 km d'altitude, il est nécessaire de développer une instrumentation et des moyens de transport spécifiques. Pour ce faire, une logistique importante est mise en œuvre par le

CNES<sup>4</sup>, qui gère les vols ballons pour les équipes de recherche. Ce sont des ballons stratosphériques gigantesques (jusqu'à 400 000 m<sup>3</sup> d'hélium), mesurant 70 m de long, commandés à distance et pouvant emporter jusqu'à 1 tonne d'équipement à 40 km d'altitude. Les laboratoires, quant à eux, sont en charge de construire des nacelles *ad hoc* qui emportent des instruments développés pour la mesure de différents paramètres physico-chimiques, en particulier la concentration de plusieurs molécules à l'état de traces, importantes pour leur réactivité ou leur rôle dans l'effet serre. Depuis de nombreuses années, la nacelle SPIRALE<sup>5</sup>, développée au LPC2E, permet de mesurer toute une panoplie d'espèces atmosphériques, à partir de 10 000 m d'altitude (méthane, monoxyde de carbone, dioxyde d'azote, chlorure d'hydrogène, ozone, acide nitrique). Notre instrument, basé sur la technique SARA (Spectroscopie par Amplification Résonante d'Absorption, ou *Optical-Feedback Cavity Enhanced Absorption Spectroscopy*), très compact, est venu pour la première fois s'intégrer dans leur nacelle. Lors du vol, il a complété depuis le sol les données de méthane et de monoxyde de carbone obtenues par instrumentation SPIRALE, qui enregistre à partir de 10km d'altitude. Dans le passé, ce type d'instrument a déjà volé, mais à bord d'avions, notamment sur l'avion stratosphérique Geophysica<sup>6</sup>, lors de la campagne AMMA au Burkina Faso en Afrique en 2006.



*Vue rapprochée d'un des étages de la nacelle SPIRALE, où l'on voit des optiques avec leurs supports et les deux boîtes de l'appareil SARA sur la droite (une partiellement cachée).*

Le projet, dirigé au LIPhy par Daniele Romanini, a consisté à adapter un instrument SARA pour la mesure simultanée de CO et de CH<sub>4</sub> (avec une seule diode laser) aux rudes conditions de la haute atmosphère. En effet, la pression diminue rapidement avec l'altitude (jusqu'à 6 mbar vers 35km) et les échanges thermiques avec l'air deviennent extrêmement réduits. Les problèmes, liés aux très basses températures régnant à ces altitudes (-50°C), étaient ici limités puisque la nacelle, très bien isolée, a conservé une température intérieure supérieure à +13°C. Le problème principal dans ces conditions était plutôt de garantir un refroidissement suffisant de l'électronique à cause de l'impossibilité d'une ventilation forcée à basse pression. Avec peu de soutien technique (au LIPhy, nous n'avons plus de support en électronique), Jonathan Zaccaria, ingénieur Floralis, a dû assurer une grande partie de la réalisation de l'instrument SARA sur la base d'un prototype industriel fourni par la société AP2E (vers laquelle l'équipe LAME du LIPhy a réalisé un transfert de cette technologie). En revanche, les contraintes mécaniques ont été assumées par le LPC2E, qui, fort de plus de dix ans d'expériences dans les vols ballons scientifiques, a déjà réalisé de nombreux vols avec succès. En particulier, la nacelle SPIRALE est conçue pour amortir l'impact au sol après la descente en parachute afin de préserver les délicats montages mécaniques et optiques présents à bord (en particulier une cellule multipassage déployable<sup>5</sup> jusqu'à une longueur de 4m).



*Remplissage du ballon principal. A droite au bout de la chaîne de vol la nacelle SPIRALE soutenue par deux ballons auxiliaires.*

SARA a volé à bord de SPIRALE, lancée le 24 avril 2011 à partir de la base d'Esrange<sup>7</sup>, à 200 km au delà du cercle polaire arctique, non loin de la capitale de la Laponie suédoise, Kiruna. Le vol a duré 5 heures environ. La nacelle est montée jusqu'à 33 km d'altitude et a parcouru 150 km.



Sounding Rocket and Balloon Department

Flight: CNES uRadibal  
Time (UT): 24 Apr 03:44  
ID: 1  
Lat: 66.7412  
Long: 17.4795  
Altitude: 14714 m  
Hor. speed: 70.4 km/h  
Heading: 128 Deg  
Payload XPDR: 2103  
Balloon XPDR: 2101  
Balloon size: 100 000 m<sup>3</sup>  
Payload weight: 211 kg  
Velocity vector: 30 min

Message:  
Equipment on ground  
2011-04-24  
@ 04:15 UTC

Predicted trajectory  
in dark red

Safety Officer tel  
+46 980 72049

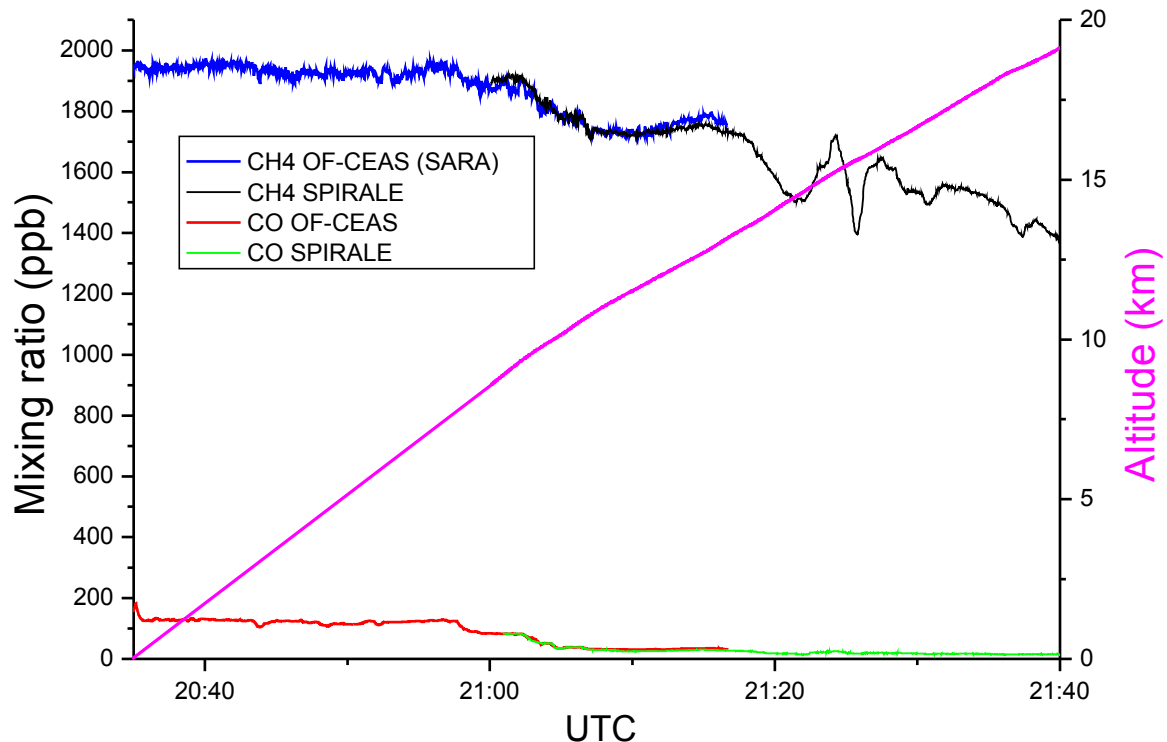


*Comparaison entre la trajectoire programmée grâce aux prévisions météorologiques (en rouge) et la trajectoire réelle (en rose).*

Suite à un problème de surchauffe de l'électronique embarquée (qui a déclenché l'interruption automatique du fonctionnement de l'appareil), l'enregistrement des données par SARA s'est interrompu à 14 km d'altitude. L'appareil a ensuite été récupéré après l'atterrissage en parfait état de marche, et a pu être utilisé pendant quelques jours pour des mesures sur place autour de tourbières (pour des comparaisons avec un autre analyseur de traces présent sur place). Dans la figure ci-dessous, on peut voir les traces des concentrations de CH<sub>4</sub> et CO enregistrées par SARA et par SPIRALE, et on peut remarquer l'excellent accord pendant la période de fonctionnement simultanée de ces deux instruments.

Après cette démonstration de faisabilité et la validation des mesures obtenues par SARA pendant le vol, la réalisation d'instrumentation compacte de ce type devra permettre

l'utilisation de ballons de taille plus modeste, exploitable de façon plus routinière. L'intégration dans des avions drones (sans pilote), capables d'atteindre des altitudes respectables pendant des temps de vol étendus, est aussi une perspective intéressante.



*Comparaison des mesures obtenues par SARA et par SPIRALE pour les concentrations de monoxyde de carbone et de méthane pendant l'ascension du ballon (altitude à droite).*

## REFERENCES

1. *Fast, low-noise, mode-by-mode, cavity-enhanced absorption spectroscopy by diode-laser self-locking*, Appl. Phys. B, 2005, vol.8, p.1027
2. *Optical-feedback cavity-enhanced absorption: a compact spectrometer for real-time measurement of atmospheric methane*, Appl. Phys. B, 2006, vol.83, p.659
3. Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat <http://www.ipcc.ch/>
4. <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/8427-gp-ballons-stratospheriques-debut-de-la-campagne-a-kiruna-le-1er-avril.php>
5. *SPIRALE: a multispecies in situ balloonborne instrument with six tunable diode laser spectrometers*, APPLIED OPTICS, 2005, vol.44, p.5972

6. *Development and airborne operation of a compact water isotope ratio infrared spectrometer*,  
Isotopes in Environmental and Health Studies, 2009, vol.45, p.303
  
7. Base d'Estrange <http://www.ssc.se/products-services/rocket-balloon-services/balloon-missions>