

Téledétection Appliquée à l'Observation de l'Atmosphère : région tropicale de l'hémisphère sud

HASSAN Bencherif, BARAY Jean-Luc, et COURCOUX Yann,
Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones, Université de La Réunion

Introduction

Le Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (LACy) de l'Université de La Réunion est une unité mixte de recherche CNRS / Université / Météo-France (UMR 8105). Depuis sa création en 1993, le LACy a bénéficié d'un développement instrumental continu et structurant pour l'observation et l'analyse des paramètres atmosphériques. En effet, compte tenu de sa position géographique (21.8°S, 55.5°E) dans le sud-ouest de l'Océan Indien, le site de La Réunion offre une situation géophysique exceptionnelle :

- pour l'étude de la composition de l'atmosphère tropicale/subtropicale,
- pour la surveillance des anomalies et des changements atmosphériques, et
- pour une meilleure compréhension des processus physico-chimiques et dynamiques ayant un impact sur le bilan des composés traces, dont l'ozone troposphérique et stratosphérique.

La Réunion se trouve ainsi idéalement placée entre les régions tropicales et les latitudes moyennes. L'articulation entre ces deux régions joue un rôle important dans la dynamique atmosphérique à grande échelle et dans la répartition des composés traces.

Cette zone clé est particulièrement vulnérable vis-à-vis des sollicitations dynamiques d'origine tropicale et extratropicale. Elle est, par ailleurs, située sous le vent de l'Afrique et de Madagascar et permet de suivre l'influence de ces régions en grande mutation sur la composition de l'atmosphère.

Téledétection active par LiDAR

Parmi les instruments d'observation utilisés à La Réunion, on trouve le LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Le LiDAR est un instrument de téledétection active dont le principe est identique à celui du Radar. On envoie dans l'atmosphère des impulsions monochromatiques provenant d'une source laser. L'analyse temporelle du signal réémis par l'atmosphère permet d'obtenir des informations sur sa structure et sa composition en fonction de l'altitude. La longueur d'onde d'émission est choisie en fonction du paramètre ou du composé à observer. Les impulsions laser émises interagissent avec l'atmosphère soit par diffusion (élastique ou inélastique) soit par absorption. Parmi les processus d'interaction pouvant donner lieu à la rétro diffusion du faisceau laser, les plus utilisés par les LiDARs sont la diffusion Rayleigh par l'ensemble des molécules, la diffusion Mie par les particules (aérosols, nuages, poussières), et la diffusion Raman permettant d'isoler des molécules spécifiques.

Après interaction avec l'atmosphère, les photons rétro diffusés par les couches atmosphériques sont collectés par le récepteur (un télescope). La lumière reçue est ensuite séparée suivant sa longueur d'onde ou sa polarisation et est transformée en signaux électriques par des photomultiplicateurs. L'analyse temporelle du signal reçu restitue la répartition spatiale du paramètre mesuré (**Figure 1**).

La technique LiDAR est apparue peu après les premiers lasers. Elle a connu un grand développement au cours des dernières décennies. La possibilité de sonder à distance, de façon résolue, et sans perturbation du milieu les paramètres physiques tels que la densité, la température, le vent, les aérosols, la turbulence, ainsi que les concentrations d'un certain nombre de constituants de l'atmosphère (dont les composés traces comme l'ozone) a ouvert un large domaine d'application des LiDARs à l'étude de l'environnement.

Mesures des profils de température

En l'absence de la diffusion Mie, la rétrodiffusion moléculaire (diffusion Rayleigh) permet d'accéder à la densité relative de l'atmosphère. Aussi, la méthode d'inversion Rayleigh du signal LiDAR s'applique dans la partie de l'atmosphère où les concentrations d'aérosols sont négligeables, entre 30 et 80-90 km (**Figure 2**). Cette limite supérieure dépend de la puissance du LiDAR et du temps d'intégration.

Ainsi, la température est calculée à partir de la densité relative en supposant que l'atmosphère se comporte comme un gaz parfait en équilibre hydrostatique. Cette hypothèse est satisfaite compte tenu des échelles temporelles et spatiales des phénomènes atmosphériques étudiés. Mis à part les 10-15 km en haut du profil, où la température dépend de du modèle utilisé pour initier le calcul, la mesure de température par LiDAR Rayleigh est absolue (Hauchecorne et Chanin, 1980).

Le premier LiDAR installé à La Réunion est du type Rayleigh. Son installation remonte à 1993 (Bencherif et al., 1996). C'est un instrument qui fonctionne en routine dans le cadre du réseau international NDACC (*Network for Detection of Atmospheric and Composition Change*).

Observation de l'ozone

Le LiDAR Raman permet d'isoler spectralement tout constituant de l'atmosphère. Cette méthode est utilisée pour la détection à courte portée de polluants ou des composés de fortes concentrations (c'est le cas de la vapeur d'eau dans la troposphère, par exemple). Cependant, le processus Raman est peu efficace. On lui préfère souvent la méthode DIAL (*Differential Absorption LiDAR*).

Des mesures d'ozone par LiDAR basées sur la méthode DIAL sont effectuées à La Réunion. Ce principe d'absorption différentielle consiste à émettre simultanément deux faisceaux laser à deux longueurs d'onde distinctes et inégalement absorbés par le constituant mesuré, ici l'ozone. L'épaisseur optique locale du constituant, et donc sa concentration moyenne, est déterminée à partir de la différence des pentes des signaux rétrodiffusés (Measures, 1984). Deux systèmes de ce type sont opérationnels à La Réunion, un dédié à l'ozone troposphérique, en opération depuis 1998, et un dédié à l'ozone stratosphérique depuis 2000 (Baray et al., 2006). Ces observations ont permis des avancées scientifiques significatives dans le domaine des échanges stratosphère-troposphère (Baray et al., 1999), de l'observation des contaminations des feux de brousse africains (Randriambelo et al., 2000) et des échanges méridiens stratosphériques (Portafaix et al., 2003).

Exemples d'application

Dans cette communication, nous exposons les différents techniques de télédétection LiDAR utilisée à La Réunion : principe, caractéristiques techniques, inversion des signaux géophysiques, traitement des séries temporelles, etc.

Cette présentation est complétée par des exemples d'exploitation scientifique des données d'observation LiDAR en association :

avec le dispositif instrumental de l'OPAR (Observatoire de Physique de l'Atmosphère de La Réunion) (voir **table**), et

avec les observations globales collectées par différents capteurs (TOMS, ENVISAT, SAGE II, ..., etc).

Nous présentons, pour ce dernier point, un exemple de suivi de l'ozone stratosphérique dans l'hémisphère sud, combinant des observations au sol et la télédétection spatiale.

Bibliographie

- BARAY J.L., LEVEAU J., BALDY S., JOUZEL J., KECKHUT P., BERGAMETTI G., ANCELLET G., BENCHERIF H., CADET B., CARLEER M., DAVID C., DE MAZIERE M., FADUILHE D., GODIN S., BEEKMANN,P., GOLOUB, F., GOUTAIL, J. METZGER M., MOREL B., POMMEREAU J. P., PORTENEUVE J., PORTAFAIX T., POSNY F., ROBERT L. and VAN ROOZENDAEL M., 2006, An instrumented station for the survey of ozone and climate change in the southern tropics, *J. Environ. Monit.*, **8**, 1020–1028,
- BARAY, J-L, ANCELLET G., RANDRIAMBELO T. and BALDY S., 1999, Tropical cyclone Marlene and stratosphere-troposphere exchange, *J. Geophys. Res.*, **104**, 13953-13970
- BENCHERIF H., LEVEAU J., PORTENEUVE J., KECKHUT P., HAUCHECORNE A., MÉGIE G. and BESSAFI M., 1996, Lidar developments and observations over Reunion Island (20.8°S, 55.5°E), *Advances in Atmospheric Remote sensing with lidar*, Springer-Verlag, Eds. : A. Ansmann, R. Neuber,
- HAUCHECORNE A. and M.-L. CHANIN, 1980, Density and temperature profiles obtained by lidar between 35 and 70 km, *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 565-568
- MEASURES R.M., 1984, Laser Remote Sensing Fundamentals and Applications, Wiley-Interscience, New York,
- RANDRIAMBELO T., J.L. BARAY, S. BALDY, 2000, Effect of biomass burning, convective venting, and transport on tropospheric ozone over the Indian Ocean: Reunion Island field observations, *J. Geophys. Res.*, **105**, D9, p. 11813-11832
- PORTAFAIX, T., B MOREL, H. BENCHERIF, S. GODIN-BEEKMANN, S. BALDY and A. HAUCHECORNE, 2003, Fine scale study of a thick stratospheric ozone lamina at the edge of the southern subtropical barrier, *J. Geophys. Res.*, **108**, 4196-4205

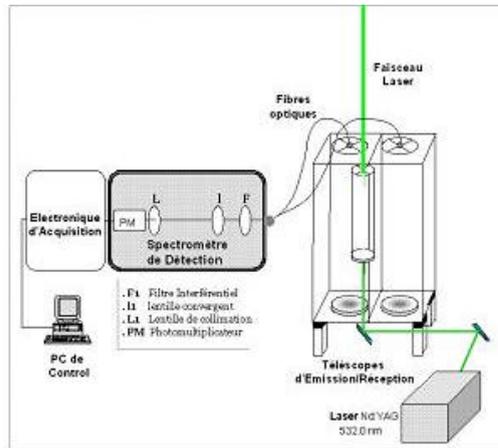


Figure 1 : Schéma type du LiDAR Rayleigh avec une longueur d'onde d'émission/réception $\lambda = 532.0$ nm.

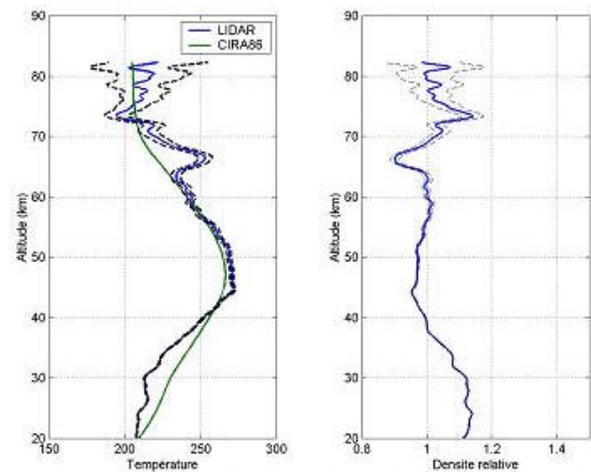


Figure 2 : Exemple de profils de température et de densité relative observés au-dessus de La Réunion par LiDAR Rayleigh (Bencherif, 1996).

Instruments		Réseau associé	date	paramètres
Spectromètres	SOAZ UV-visible	SOAZ-NDACC	1993	O ₃ , NO ₂ colonnes
	FTIR		campagnes 2002-2004-2007	CO, NO, OCS, HF, HCl, HNO ₃ , HCHO ...
	MAXDOAS uv-vis		campagnes 2004-2005	NO ₂ , BrO, HCHO, O ₃ , SO ₂ , O ₄ ...
Radiosondes Sondages vent	Par GPS	SHADOZ-NDACC	1992 2007	P, T, Rh, O ₃ Vents
Sun photometer	CIMEL CE 318	AERONET	2004	Aérosols
Radiomètre μ -onde			campagnes 2007-2008	H ₂ O Stratosphère
Radiomètre IR	CIMEL CE 312		2006	Cirrus
LiDARs	DIAL Troposphère		1998	O ₃ Troposphère
	DIAL Stratosphère	NDACC	2000	O ₃ Stratosphère
	Rayleigh-Mie	NDACC	1994	Température, Aérosols/cirrus
	Raman N ₂	NDACC	1999	Température
	Raman H ₂ O		2001-2005	H ₂ O
	Doppler		2008	Vent Tropo. et Starto.

Table

Ensemble instrumental d'observations atmosphériques opérationnel à l'île de La Réunion (20.8°S, 55.5°E), Observatoire de Physique de l'Atmosphère de la Réunion (OPAR, <http://opar.univ-reunion.fr/>).