

Le nouveau lidar de l'EPFL, des mesures au laser plus performantes

Autor(en): **Froidevaux, Martin / Ristori, Pablo / Serikov, Ilya**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **132 (2006)**

Heft 09: **Interactions climatiques**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99466>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le **nouveau lidar** de l'EPFL, des mesures au laser plus performantes

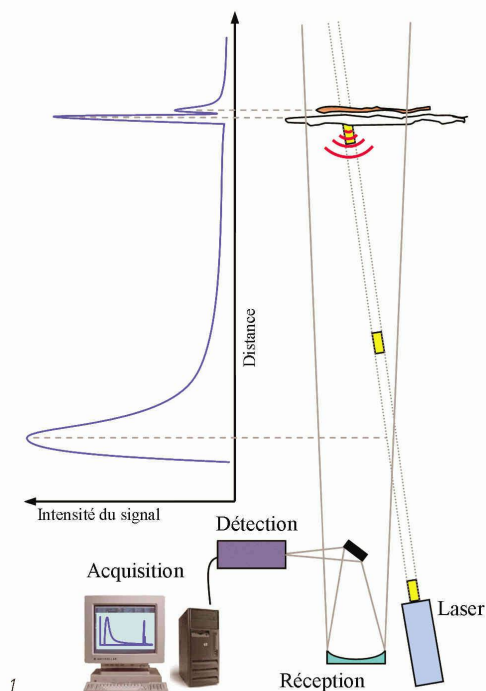
ENVIRONNEMENT

Une équipe de l'EPFL vient de développer un nouveau type de lidar, un appareil qui émet un faisceau laser et en reçoit l'écho afin de mesurer entre autres des profils de température et de vapeur d'eau. La conception originale de ce lidar inclut plusieurs avancées technologiques importantes et fait émerger une nouvelle génération d'instruments de mesure des interactions surface-atmosphère, qui atteint une résolution spatiale et temporelle particulièrement élevée.

Actuellement, la plupart des instruments de mesure de température et d'humidité de l'air effectuent des relevés ponctuels proches de la surface, à quelques mètres du sol. Ils fournissent habituellement des données moyennes sur une période allant de quinze minutes à une heure. Cette

résolution temporelle et spatiale ne suffit plus. En marchant à l'extérieur, chacun d'entre nous a déjà remarqué à quel point la température et l'humidité de l'air peuvent varier vite, lorsqu'on se trouve dans un environnement hétérogène durant la journée, en fonction de la position du soleil ou de passages nuageux. Les modèles de prévisions météorologiques ont besoin de données sur les échanges et variations de température et de vapeur d'eau dans la basse atmosphère turbulente, à quelques dizaines de mètres du sol. Il est donc essentiel de pouvoir mesurer la distribution spatio-temporelle de la température et de la vapeur d'eau dans la basse atmosphère à des échelles de l'ordre de la seconde et du mètre.

Une équipe de l'EPFL a récemment développé un nouveau lidar (acronyme de «Light Detection And Ranging»), un instrument de mesure basé sur l'émission d'un faisceau laser, puis sur la réception et l'analyse de son écho¹. Cet instrument est capable de mesurer chaque seconde les profils de température, de vapeur d'eau, d'ozone et d'aérosols sur une distance de 10 à 500 m (pour d'autres instruments, la première mesure se situe à environ 100 m seulement), avec une résolution spatiale de 1,5 m. Nous pouvons ainsi disposer d'une vision précise de l'atmosphère dans laquelle nous vivons, avec une résolution jamais atteinte auparavant. Ce système, dont le développement a nécessité environ une année de travail, est le premier à mesurer la température dans le domaine UV. Sa configuration multi-télescope (voir p. 20) permet une intensité de signal presque constante pour la totalité du domaine observé. Il sera utilisé prochainement lors de campagnes de mesures relatives aux problèmes de pollution de l'air, d'hydrométéorologie et de prévisions météorologiques. Nous présentons ici pour la première fois ce nouvel instrument.



¹ Il existe différents types de lidar selon le processus physique utilisé pour la création du faisceau de retour : résonance, fluorescence, diffusion élastique avec absorption différentielle, réflexion, effet Raman. Bien qu'elle ait été utilisée pour la première fois vers 1965, la technique du lidar n'est apparue comme une méthode de sondage optique à distance susceptible de fournir des résultats importants en physique atmosphérique qu'à la fin des années 70, au moment où l'on a développé des lasers à colorants particulièrement adaptés à cette application.

Fig. 1 : Principe général d'un lidar

Fig. 2 : Le système du lidar de l'EPFL

Fig. 3 : Le spectre Raman utilisé par le lidar avec la fonction de transmission du filtre

Fonctionnement d'un lidar

Les lidars, comme les radars, les sonars ou encore les sodars, sont des techniques de télédétection. Elles sont toutes basées sur le même principe: pour les trois derniers, une courte impulsion électromagnétique ou acoustique est dirigée dans le fluide concerné, la réponse de celui-ci est détectée puis analysée. Les lidars, eux, envoient une impulsion de lumière de courte durée dans l'atmosphère (fig. 1). Durant sa propagation, cette lumière est diffusée et atténuée par différentes interactions lumière-matière. La radiation réémise dans la direction du système contient donc des informations sur les propriétés de l'atmosphère: elle est collectée par un dispositif de réception puis analysée. Comme l'impulsion laser est très courte, seul un certain volume renvoie une réponse à un temps donné. La résolution spatiale des mesures est ainsi définie par la durée de l'impulsion émise. La distance entre le volume d'air sondé et le lidar est fonction du temps de parcours aller-retour du signal de lumière.

Le lidar « Raman » de l'EPFL

Les techniques de mesure à distance telles que les lidars sont idéales, car elles permettent d'obtenir les valeurs de différentes variables atmosphériques sans déranger le volume d'air sondé. Nos recherches se focalisent sur l'étude des processus atmosphériques à l'aide de notre lidar « Raman » (fig. 2). Cet instrument mesure les profils de température et de vapeur d'eau à haute résolution spatiale et temporelle durant le jour comme la nuit.

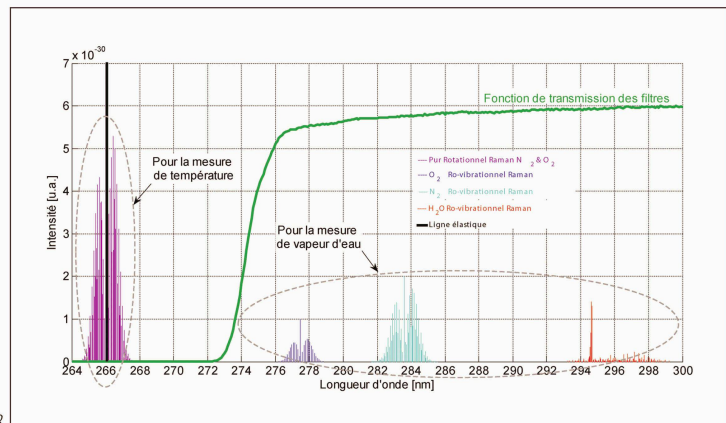
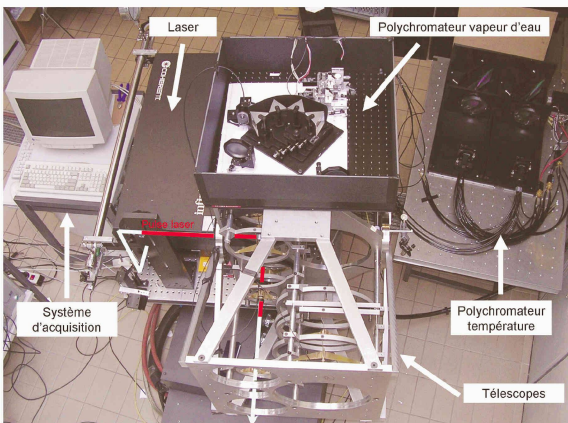
En effet, le nouveau lidar de l'EPFL tire profit d'une interaction particulière entre la lumière et la matière, appelée effet Raman. Ce phénomène quantique a été suggéré pour la première fois par le physicien russe L.I. Mandelstam

(1879-1944), puis démontré en 1928 par le physicien indien C.V. Raman (1888-1970, Prix Nobel de physique en 1930). L'effet Raman explique que des photons qui interagissent avec une molécule peuvent voir se modifier leur longueur d'onde, à la hausse ou à la baisse. Cette modification dépend de la molécule concernée. L'intensité de la diffusion de la lumière suite à l'impact avec la matière est proportionnelle, d'une part, à la quantité de molécules présentes dans le volume d'air impliqué (H_2O , O_2 et N_2 , en l'occurrence), et d'autre part à la température de ce dernier. La figure 3 montre les détails du spectre Raman utilisé par le lidar, de même que la séparation spectrale préliminaire réalisée à l'aide de filtres.

Détecter ce très faible effet Raman durant la journée implique qu'une grande quantité de lumière de fond atteigne le système de réception. C'est pourquoi notre lidar fonctionne dans l'ultraviolet (longueurs d'onde inférieures à 300 nm), région spectrale où la radiation solaire qui atteint la surface est très faible (elle est absorbée par la couche d'ozone stratosphérique située à quelque 20 kilomètres d'altitude).

Paramètres techniques

Les paramètres techniques du système sont synthétisés dans le tableau A. La figure 4 schématise les principaux composants optiques du lidar et son principe de fonctionnement. La puissante source laser envoie coaxialement à l'axe d'un télescope une courte impulsion de lumière monochromatique de forte énergie dans l'atmosphère (1). Une partie de cette lumière devient polychromatique et est diffusée par les molécules, c'est l'effet Raman (2). Cette lumière est partiellement collectée par un ensemble de télescopes (3). Proche du point focal de ces derniers (4), un filtre sépare la lumière pour qu'elle soit analysée indépendamment par les polychromateurs « vapeur d'eau » (5a) et « température » (5b). Elle est



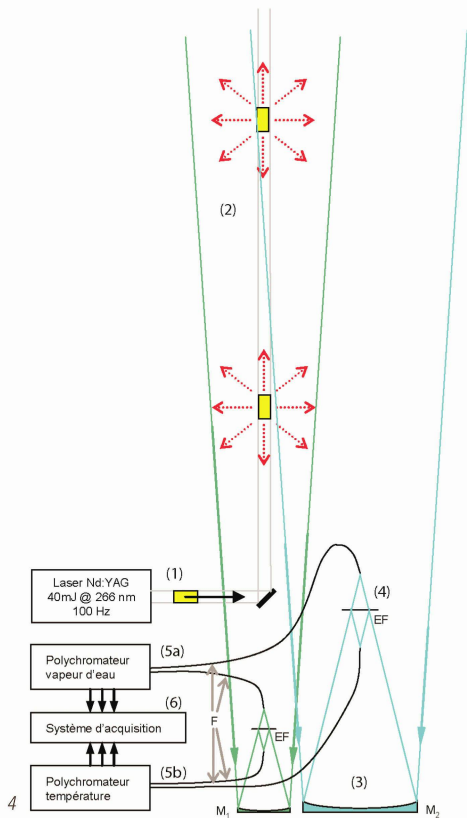
Tabl. A : Caractéristiques techniques du lidar

Fig. 4 : Schéma optique du lidar. EF = filtres (edge filters); M1, M2 = miroirs paraboliques des télescopes respectivement co-axial et off-axial; F = fibres optiques

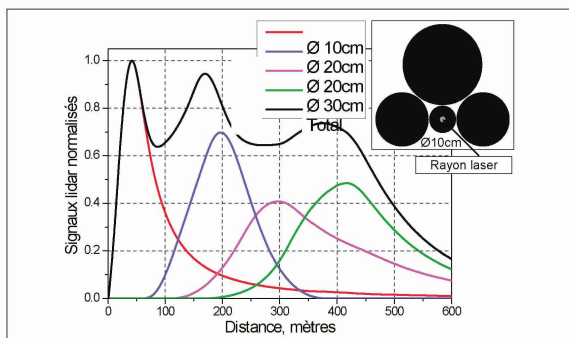
Fig. 5 : Signaux lidar normalisés et les télescopes correspondants

Caractéristiques principales du lidar	
Quantités mesurées	Vapeur d'eau, Température, Ozone, Aérosols.
Domaine spatial	de 10 à 500 m
Résolutions	spatiale: 1.5 m temporelle: 1 s
Domaine spectral (UV)	[260 - 300] nm (solar blind region)
Laser (YAG:Nd)	266 nm 40 mJ/pulse Taux de répétition: 100 Hz Durée du pulse : < 3 ns
Télescopes (F#3)	1 x 10 Ø cm, [10 - 100] m 1 x 20 Ø cm, [100 - 300] m 1 x 20 Ø cm, [200 - 500] m 1 x 30 Ø cm, [300 - 500] m

A



4



5

transmise à l'aide de fibres optiques jusqu'à ces derniers, où a lieu la dernière séparation spectrale. Des photomultiplicateurs et un système d'acquisition rapide de données sont utilisés pour détecter et enregistrer les signaux dans un ordinateur (6).

L'intensité de la lumière reçue dépend fortement de la distance entre le lidar et le volume d'air sondé, mais aussi de la surface de réception. Il est possible de compenser partiellement ces deux effets en utilisant quatre télescopes de tailles différentes, dédiés à des hauteurs de mesure complémentaires. Avec cette configuration (fig. 5), nous obtenons une qualité de mesure relativement homogène sur tout le profil allant de 10 à 500 mètres d'altitude. Par conséquent, pour la première fois, des profils de l'atmosphère seront mesurés avec une précision et une résolution spatiale constantes sur tout le domaine d'observation.

Séparer température et vapeur d'eau

La séparation initiale des signaux de « température » et de « vapeur d'eau » est effectuée par un filtre placé à proximité du point focal de chaque télescope (fig. 4). D'un côté de ces filtres, quatre fibres optiques transmettent la lumière au polychromateur « vapeur d'eau » (fig. 6). Ce dernier sépare, à l'aide de prismes, les signatures spectrales de l'oxygène, de l'azote et de la vapeur d'eau. Le rapport du signal de vapeur d'eau sur celui de l'azote est proportionnel au rapport de mélange de vapeur d'eau dans l'air, exprimé en [g/kg]. Le signal d'oxygène permet une correction relative à l'absorption de l'ozone troposphérique.

De l'autre côté des filtres, quatre autres fibres optiques sont combinées pour transmettre la lumière dans un polychromateur à double réseau de diffraction. Ce dernier permet d'obtenir les profils de température. Il est basé sur la différence de dépendance de la température de deux portions du spectre Raman dit « pur rotationnel » (fig. 3). Un canal additionnel mesure l'intensité de la lumière diffusée à la même longueur d'onde que celle du rayon laser émis. Ce canal supplémentaire nous fournit des informations relatives aux propriétés optiques des aérosols.

Premiers pas du lidar de l'EPFL

Les premières mesures-tests de jour ont été effectuées sur le campus de l'EPFL le 6 avril 2006, à 10 heures UTC. Depuis le dernier étage du bâtiment de chimie, nous avons envoyé un rayon laser horizontalement par-dessus un bâtiment voisin (fig. 7). Sur le toit de celui-ci, une torche à propane a été allumée sous le rayon laser, à environ 130 m du système de réception du lidar. Les figures 8 et 9 représentent les

Fig. 6 : Le polychromateur « vapeur d'eau »

Fig. 7 : Plan de situation pour les mesures tests

Fig. 8 : Profil de variation de température

Fig. 9 : Profil de concentration de vapeur d'eau

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)

variations de température ainsi que la concentration relative de vapeur d'eau mesurées par le lidar le long du faisceau à cet instant. L'effet de la torche est bien visible sur les deux profils, exprimés sous la forme de moyennes (pendant 27 s et sur une distance respectivement de 4,5 m et 1,5 m).

Sonder la basse atmosphère

La conception originale du lidar de EPFL inclut plusieurs avancées technologiques importantes. Les solutions complémentaires choisies – lumière UV, multi-télescopes, polychromateurs à haute transmission et cartes d'acquisition très rapides – font émerger une nouvelle génération d'instruments de mesure des interactions surface-atmosphère, atteignant une résolution spatiale et temporelle particulièrement élevée. Dans les années à venir, nous utiliserons ce lidar pour étudier en détail la vapeur d'eau et la température de l'air au-dessus de terrains complexes, afin de tester et améliorer les modèles atmosphériques et hydrologiques. Les applications immédiates concernent les mesures de l'évaporation au-dessus de cultures, de forêts, de la neige ou encore de zones urbaines. Nous voulons également étudier la structure de la basse atmosphère, là où le paysage présente un changement brutal de propriétés, par exemple aux interfaces entre le plateau suisse et les montagnes, entre le lac et la terre. L'étude de la transition entre l'atmosphère nocturne stable et l'atmosphère diurne, où prévalent de forts mélanges, nous intéresse également : la modélisation de cette transition reste un défi pour les météorologues.

Martin Froidevaux, doctorant, ing. environ. EPFL

Pablo Ristori, doctorant, ing. en électro., M.Sc. en ing. biomédicale

Ilya Serikov, dr sc. tech., ing. phys.

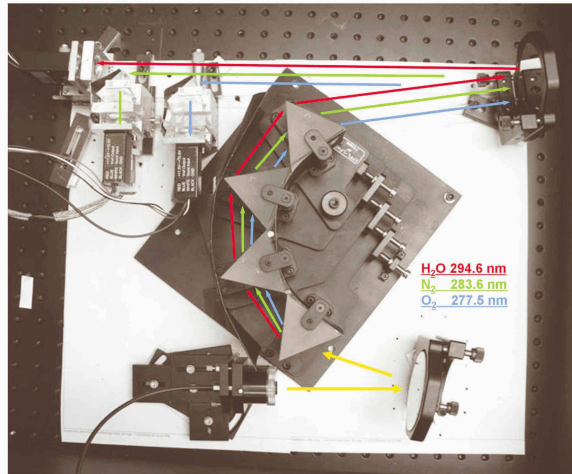
Valentin Simeonov, dr sc. tech., ing. phys.

Laboratoire de mécanique des fluides de l'environnement

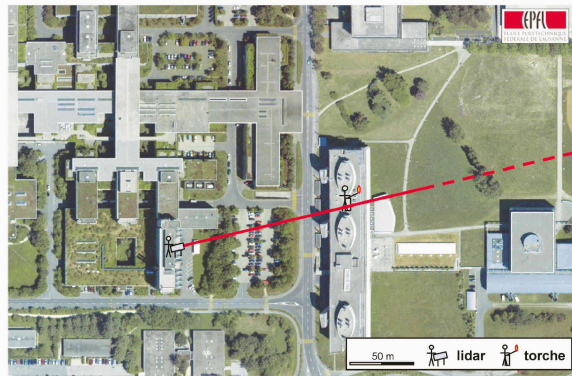
et d'hydrologie, EPFL-ENAC-EFLUM

Bâtiment GR, Station 2, CH – 1015 Lausanne

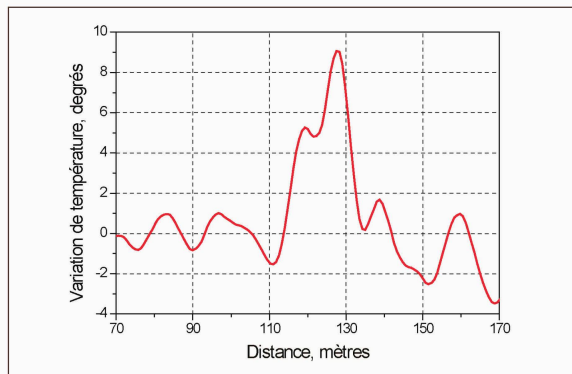
Ont également collaboré à ce projet: Marcelo Chamecki (Johns Hopkins University), Todor Dinoev et Hubert van den Bergh (EPFL-LPAS), Marc Parlange (EPFL-EFLUM)



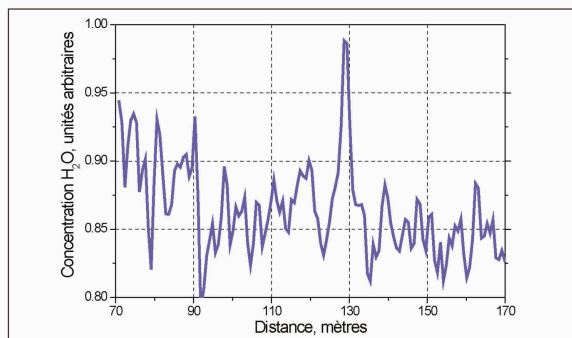
6



7



8



9