



# LIDAR : La vapeur d'eau dans la troisième dimension

Pour des prévisions du temps précises, les météorologues s'intéressent à la troisième dimension, car la météo « se passe » en hauteur. Grâce au système de mesure Lidar développé par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), l'humidité de l'air dans l'atmosphère peut être observée en continu et de façon automatique jusqu'à une altitude de 10-15 kilomètres.

## Son principe de fonctionnement

Lidar est l'acronyme de « Light Detection And Ranging » que l'on peut traduire par « détection et télémétrie par ondes lumineuses ». Il fonctionne sur le même principe qu'un radar mais utilise des ondes électromagnétiques normalement entre l'ultraviolet et l'infrarouge proche.

**Le Laser :** Depuis la Station Aérologique de Payerne, la source laser du Lidar génère chaque seconde 30 « tirs » laser d'une durée de quelques nanosecondes et d'une longueur d'onde de 355 nm. A la sortie du laser un jeu de prismes et de lentilles permet de diriger le faisceau sur la verticale et de l'agrandir jusqu'à un diamètre de 15 cm : ce faisceau respecte alors les normes de sécurité oculaire et son parallélisme est optimisé. A une altitude de 1 km la taille du faisceau atteint environ 25 cm.

Lors de son parcours dans l'atmosphère le faisceau lumineux interagit de plusieurs manières avec la matière et les gaz en suspension dans l'air. Pour les molécules d'eau présentes sur le chemin optique du faisceau, chacune va rétrodiffuser une partie de la lumière laser incidente tout en modifiant sa longueur d'onde. Cette modification (effet Raman) est spécifique à chaque molécule, et pour l'eau la rétrodiffusion Raman est mesurée à 408 nm (à partir d'une source laser à 355 nm).

**Les Télescopes :** Dans le laboratoire Lidar un jeu de 5 télescopes, dont chacun des axes optiques est respectivement aligné parallèlement au faisceau laser, capte le rayonnement rétrodiffusé. La lumière collectée par ces télescopes est focalisée à l'entrée de fibres optiques qui permettent de « transporter » cette lumière des télescopes vers la boîte de séparation des longueurs d'onde : chaque télescope concentre la lumière, y compris la lumière du soleil, il s'agit alors de séparer cette composante du soleil qui est une source de bruit très forte vis-à-vis de la lumière Raman. A la sortie de cette boîte de séparation des longueurs d'onde, là où le signal Raman eau à 408 nm se trouve, est placé un détecteur de lumière appelé

photomultiplicateur. Celui-ci transforme la lumière incidente en un signal électrique qui est ensuite numérisé et analysé.

**Le signal Lidar :** En fonction de l'intensité  $P(R)$  du signal électrique la quantité de molécules de l'eau peut être calculée à chaque pas de temps du système d'acquisition. La vitesse de la lumière étant connue, le temps de vol passé entre le moment du tir laser depuis la source de lumière jusqu'au moment de réception de l'impulsion lumineuse sur le photomultiplicateur permet de calculer précisément l'altitude  $R$  à laquelle une concentration donnée de molécules d'eau a été observée. Afin de tenir compte de la pression effective de la masse d'air analysée, un deuxième signal Raman rétrodiffusé à la longueur d'onde de 387 nm est utilisé. Ce signal correspond à la « signature » de la molécule d'azote : le rapport des signaux Lidar eau / azote permet de retrouver la concentration de vapeur d'eau dans l'air.

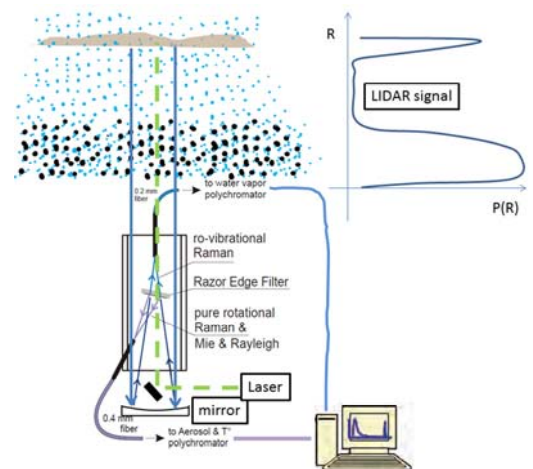


Figure 1  
Schéma de principe du système Lidar (voir explication dans le texte)

**La performance du Lidar :** Le Lidar mesure à chaque tir laser un nouveau profil de vapeur d'eau en fonction de l'altitude. L'intensité des signaux mesurés est faible, il s'agit d'accumuler ces signaux afin d'obtenir un résultat dont la précision est suffisante pour les applications en météorologie : en mode standard un profil de vapeur d'eau est obtenu toutes les 30 minutes en continu dans le temps. La série temporelle qui en résulte est une observation dont les service



météorologiques n'ont encore jamais disposé jusqu'à ce jour. A titre de comparaison les profils de vapeur d'eau mesurés par radiosonde depuis des décennies à la Station Aérologique de Payerne sont effectués deux fois par jour. Pour le Lidar, la mesure est effectuée en continu, mais dépend des conditions météorologiques : en cas de pluie, de neige, de couverture nuageuse à basse altitude la mesure Lidar n'est pas possible. Dans ce cas l'installation est mise en mode d'attente. En tenant compte de la climatologie du site de Payerne le système Lidar est en mode mesure environ deux tiers du temps sur l'année.

### Un complément idéal aux systèmes de mesure de MétéoSuisse

A la Station Aérologique de Payerne, les mesures de vapeur d'eau par Lidar sont un élément essentiel du suivi climatique dans la dimension verticale. Ce développement et cette évolution perpétuent les compétences instrumentales qui font l'histoire même du site de Payerne, y associant les mesures locales (le réseau de mesure au sol SwissMetNet, le bilan radiatif au sol – Baseline Surface Radiation Network) aux mesures en atmosphère libre par ballon sonde et télédétection (mesure radar, mesure par micro-onde, GPS).

Pour les nouveaux modèles de prévision de la météorologie à haute résolution de MétéoSuisse, la mesure en continu de la vapeur d'eau en atmosphère libre est une donnée d'entrée qui n'a jamais été disponible jusqu'à ce jour : le Lidar ouvre de nouvelles perspectives dans l'amélioration constante des prévisions météorologiques par modèle numérique.

Sur la scène internationale, cette installation est un démonstrateur attendu par l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) et sa Commission pour les Méthodes d'Observations de l'Atmosphère (CIMO) : il représente une alternative moderne aux méthodes de radiosondages, une méthode unique de validation des observations satellites: cet instrument complète les mesures de référence de la Station Aérologique, avec comme objectif d'inscrire le site de Payerne comme un des rares observatoires au monde sur mandat de l'OMM du suivi des changements climatiques en atmosphère libre.

Après plus de 15 ans de développement dans les laboratoires de l'EPFL, après 4 ans (2004 - 2008) de réalisation du prototype Lidar unique installé à MétéoSuisse Payerne, le Lidar a commencé les mesures opérationnelles au début 2008. La bonne performance du Lidar en terme de qualité et disponibilité des données depuis ce moment est assurée par un accord de partenariat qui perpétue leur engagement commun.

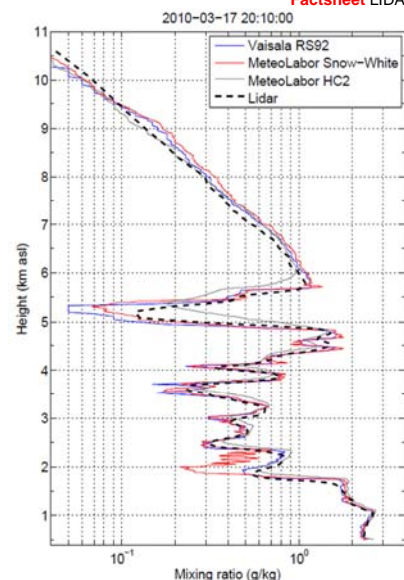


Figure 2

La concentration de vapeur d'eau en g/kg (grammes de vapeur d'eau par kg d'air sec) sur une portée de mesure du sol à 10 km d'altitude, est comparée avec 3 systèmes d'observations indépendants : SnowWhite et Vaisala RS92 sont des mesures par radiosondage dont les capteurs observent respectivement la température du point de rosée (SnowWhite) et une variation de l'effet capacitif en fonction de l'absorption d'eau sur le substrat (Vaisala RS92). Ce résultat illustre la qualité de la calibration des mesures Lidar.

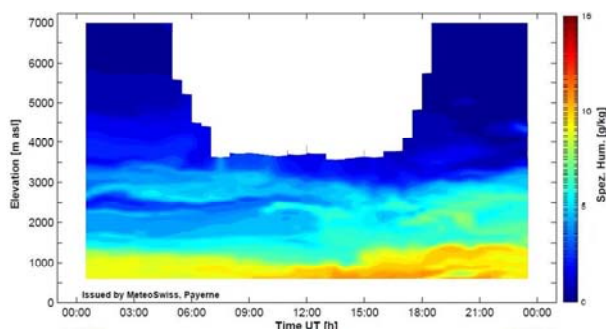


Figure 3

Exemple de série temporelle, sur 24 heures, de la concentration de vapeur d'eau mesurée en continu par le système Lidar à la verticale du site de Payerne.

Informations supplémentaires  
[www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)

