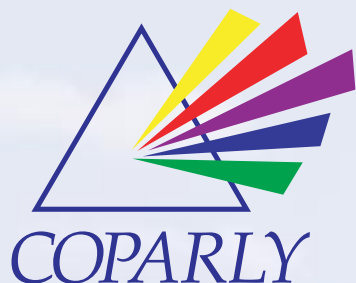


REFERENCES

- [1] Wolf J.P., "Optical techniques for air pollution monitoring" in ERCA book, vol.3, C.BOUTRON, Ed. de Physique (1998).
- [2] Boers R. and E.W.Elamenta, "LIDAR measurements of the atmospheric entrainment zone & potential temperature jump across the top of the mixed layer", Boundary-Layer Meteorol., **34**, pp.357-375 (1986).
- [3] Dobrinski et al., "Remote measurement of turbulent wind spectra by heterodyne DopplerLIDAR technique", J. Appl. Meteor., **39**, pp.2234-2451 (2000).
- [4] Flamant P.H., S.Elouragini and J.Pelon, "Mesure du contenu en eau nuageuse et du rayon effectif des gouttelettes par télédétection optique active (LIDAR)", C.R. Acad. Sc. Paris, **323**, (Série II a), pp.563-568 (1996).
- [5] Mondelain D., A.Thomasson, E.Frejafon, V.Boutou, B.Vezin and J.P.Wolf, «Haze measurements at 3,5 μm using an IR-Lidar based on a KNbO_3 OPO», ILRC, Vichy IPSL (2000).
- [6] Wolf J.P., "UV DIAL technics for air pollution monitoring" (chapter 4) , Wiley & Sons, New-York (2000).
- [7] Ménard T. et al., "Calibrage et évaluation de systèmes LIDAR", Poll. Atm., (oct-déc), pp.105-119 (1998).
- [8] Thomasson A., «Méthodes de validation et de calibration des mesures LIDAR-DIAL en air ambiant», thèse de Physique n°44-2001, UCBLyon1-INERIS-ADEME (2001).
- [9] Thomasson A., M.Nominé et T.Ménard, «Stratégie d'intégration de mesures LIDAR dans les réseaux de surveillance de la qualité de l'air», rapport INERIS - 99-106 (2000).
- [10] Thomasson A. et al., «Study of ozone smog episodes by LIDAR 3D measurements in Lyon and Paris during summer 1999», ILRC, proceeding - Vichy IPSL (2000).



(COmité pour le contrôle de la Pollution Atmosphérique
dans le Rhône et la région LYonnaise)
Rue des Frères Lumière - Parc d'Affaires Roosevelt
69120 Vaulx-en-Velin
Tél. : 04 72 14 54 20 - Fax : 04 72 14 54 21
Mail : coparly@atmo-rhonealpes.org
Site web : www.atmo-rhonealpes.org

Toute rediffusion partielle ou totale de ce document doit faire référence à COPARLY.



La télédétection : l'expérience LIDAR de COPARLY

INTRODUCTION

Parmi les techniques et les outils apparus lors de ces dernières décennies pour la mesure de la pollution atmosphérique, le LIDAR (Light Detection And Ranging) offre de nouvelles dimensions à la surveillance de la qualité de l'air. Cet instrument de télédétection, fonctionnant sur un principe optique, permet en effet de sonder l'atmosphère dans toutes les directions, et de visualiser ainsi en 2D ou 3D la dynamique des polluants.

Depuis 1999, le réseau COPARLY a fait l'acquisition d'un LIDAR mobile, commercialisé par la société allemande ELIGHT (*) : le LIDAR 510M, permettant de mesurer le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3), le benzène (C_6H_6), le toluène (C_7H_8), ou encore l'extinction due aux aérosols.

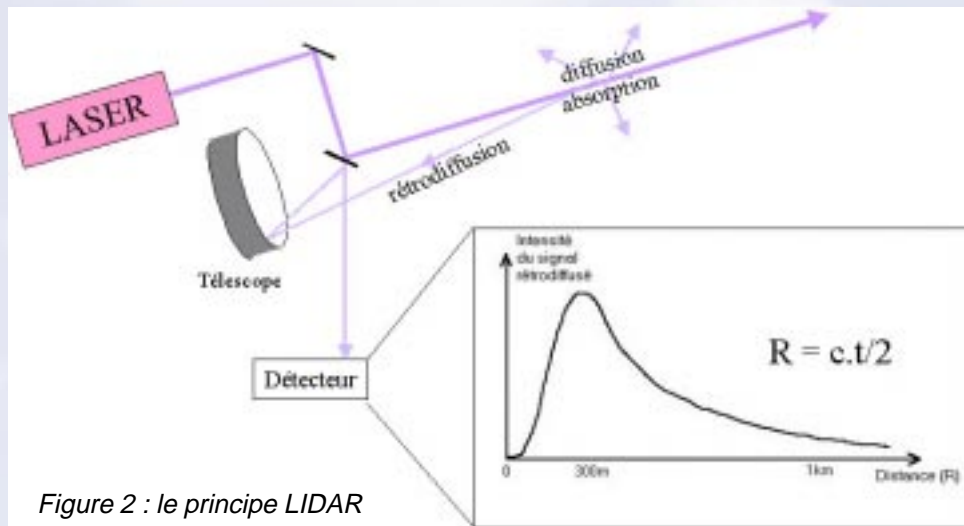
L'introduction d'un tel outil dans un réseau de surveillance demande réflexion et investissement, compte tenu des différentes possibilités d'utilisation du système et de sa spécificité technique. Coordonné par l'ADEME (**)
Rhône-Alpes, un comité de pilotage a été créé pendant deux ans, regroupant des spécialistes du LIDAR et de l'environnement, pour accompagner COPARLY dans la gestion et l'utilisation de ce nouvel outil. L'expérience de COPARLY s'est donc faite à travers différentes campagnes de mesure, dont certaines sont présentées dans cet article.



Figure 1 :
le camion
LIDAR de
COPARLY

LE PRINCIPE DU LIDAR

L'idée de réaliser un Radar ⁽¹⁾ basé sur de la « lumière » est née avant l'apparition du laser, mais la technique LIDAR a pu réellement voir le jour avec le développement des premiers lasers dans les années 60. Le principe repose sur la diffusion et l'absorption de la lumière par la matière : lorsqu'une impulsion laser est envoyée dans l'atmosphère, en plus d'être absorbée, elle est diffusée dans toutes les directions par les molécules (gaz) et particules présentes sur le trajet optique. Une faible partie de cette lumière est donc réémise vers l'arrière et l'atmosphère se comporte alors comme un miroir naturel. Un télescope permet de collecter le signal « rétrodiffusé » et de le focaliser vers une unité de détection pour l'analyser. La conversion en distance est obtenue à partir du temps mis par la lumière pour effectuer l'aller-retour jusqu'à la particule ou la molécule diffusante (cf. fig.2) [1].



La technique LIDAR a été initialement utilisée (et continue de l'être) pour mesurer des paramètres météorologiques tels que les profils de vent, de température ou d'humidité, la taille des gouttelettes d'eau dans les nuages ou encore la hauteur de la couche limite... [2-5]

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Au fur et à mesure des campagnes et des besoins du réseau, COPARLY a donc acquis une bonne expérience d'utilisation d'un LIDAR mobile. Les campagnes qui ont été réalisées ont notamment permis de progresser dans le domaine de la modélisation et de la prévision, tout en montrant la richesse des collaborations entre l'Etat, les Collectivités, les universitaires et les industriels.

Fort de cette expérience, COPARLY peut aujourd'hui se lancer dans de nouveaux projets d'utilisation du LIDAR, comme l'étude de la pollution induite par les tunnels en agglomération, ou bien encore la surveillance de la qualité de l'air sur les zones aéroportuaires, ...

Enfin, COPARLY se préoccupe également de l'évolution et du développement du LIDAR, en axant les recherches sur l'automatisation du fonctionnement et le contrôle du système à distance, afin de d'augmenter la fréquence d'utilisation de l'appareil, de jour comme de nuit, tout en allégeant les moyens humains mis en œuvre.

En outre, ceci permettra à COPARLY de progresser dans la rapidité du traitement des mesures, d'enrichir la base de données et de pouvoir obtenir des informations statistiques à l'échelle de l'année, comme cela est fait avec les mesures des analyseurs classiques, intégrant ainsi de plus en plus le LIDAR dans la stratégie de surveillance.

(1) Radio-wave Detection And Ranging.

(*) ELIGHT Laser System GmbH – Warthestrasse 21 – D-14513 Teltow/Berlin – Allemagne.

(**) ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) – siège social – 27, rue Louis Vicat – 75737 Paris Cedex 15.

(***) INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) – Parc technologique ALATA – B.Pn°2 – 60550 Verneuil-en-Halatte.

(****) LASIM (Laboratoire de Spectrométrie Ionique et Moléculaire) – Université C.Bernard Lyon1 – bât. A.KASLER – 43, bd du 11 Nov. 1918 – 69622 Villeurbanne Cedex

Ces types de campagnes ont permis de montrer l'importante complémentarité entre les mesures LIDAR et celles d'un réseau de capteurs fixes, offrant notamment de nouvelles perspectives pour la modélisation (tridimensionnelle), et donc à plus long terme, pour la prévision de la qualité de l'air (épisodes de pollution) [10].

Outre les campagnes où le LIDAR est intervenu sur quelques jours de mesures pour alimenter ou évaluer des modèles (demandant l'investissement d'un nombre important de partenaires), il est rapidement apparu utile d'intégrer le système dans le réseau avec des fréquences de mesures plus grandes.

Ainsi, depuis 2000, COPARLY a adopté une stratégie d'utilisation du LIDAR pour l'aider à la restructuration de son réseau de surveillance fixe : les mesures sont planifiées tout au long de l'année, sur différents sites, pour différents polluants.

Chacun des emplacements est choisi en altitude (plus ou moins élevée), avec un point de vue suffisamment dégagé, pour réaliser des tirs LIDAR horizontaux couvrant une surface importante de la canopée urbaine, et dont la projection recoupe la position de plusieurs capteurs.

Les cartographies obtenues permettent alors de visualiser la dynamique spatiale du polluant mesuré durant la journée, et d'apprécier l'emplacement des capteurs vis-à-vis de la zone plus large couverte par le LIDAR.

Avec des mesures répétées pour plusieurs polluants et des météorologies différentes, le LIDAR peut ainsi permettre de mieux qualifier la représentativité d'un site. Le système devient alors un outil d'aide à la décision pour le déplacement d'un site, l'ajout ou l'échange d'un capteur (mesure d'autres polluants), ou bien encore la suppression de sites redondants.

L'intérêt du LIDAR s'est également fait sentir pour des utilisations ponctuelles telle que la journée « en ville sans ma voiture ». Ainsi, depuis trois ans, COPARLY effectue chaque année des tirs LIDAR à Villeurbanne, au-dessus du périmètre fermé à la circulation, le jour de la manifestation, et un autre jour se rapprochant le plus possible des conditions météorologiques et de trafic.

Les mesures sont réalisées sur le NO_2 , représentatif de la pollution automobile. La comparaison des résultats LIDAR en 2D et des mesures des capteurs du réseau permet alors de visualiser de façon plus complète l'impact d'une telle journée.

Pour mesurer spécifiquement la concentration d'un polluant gazeux, on utilise la technique DIAL⁽²⁾ (cf. fig.3) [6,7] : chaque molécule possédant son propre spectre d'absorption en fonction de la longueur d'onde envoyée, il est souvent possible de choisir un couple de longueurs d'onde dont la différence d'absorption est très marquée pour le polluant mesuré, et très faible pour les autres polluants et le reste de l'atmosphère. L'analyse de la différence d'absorption entre les deux signaux rétrodiffusés permet donc de mesurer la concentration du polluant en fonction de la distance (typiquement sur 2-3 km).

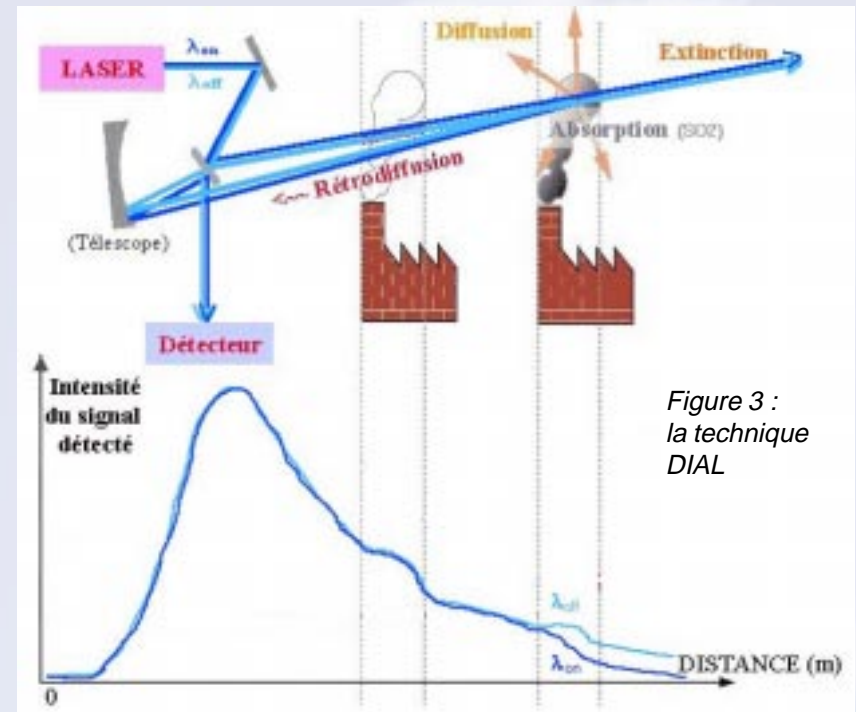


Figure 3 : la technique DIAL

Dans le LIDAR de COPARLY, le faisceau laser est envoyé via un périscope, permettant de balayer l'atmosphère dans plusieurs directions et d'obtenir ainsi des cartographies du polluant : en deux dimensions (2D), en fonction de la distance et de l'altitude, de l'altitude et du temps, ou bien même en 3 dimensions (3D-vidéo), accédant ainsi à la dynamique spatio-temporelle.

(2) Differential Absorption LIDAR.

EVALUATIONS DU LIDAR

Depuis 1996, dans le cadre du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), l'INERIS ^(***) s'intéresse à l'évaluation des systèmes de mesure optique tels que le LIDAR ou le DOAS ⁽³⁾. La méthodologie a dû être adaptée pour être conforme aux normes ⁽⁴⁾ AFNOR X20-300 (France) et VDI-DIN (Allemagne), en utilisant des cellules de calibration [7]. Entre 1999 et 2001, le LIDAR de COPARLY a participé à un travail de recherche sur les méthodes d'évaluation et de calibration du système, en collaboration avec l'INERIS, le LASIM ^(****) et l'ADEME.

Pour la première fois, les principales caractéristiques d'un LIDAR ont pu être évaluées selon des normes européennes [8] : courbe de linéarité, limite de détection, portée, reproductibilité, interférences, ... Les résultats sont globalement meilleurs que les données constructeur.

Durant l'été 1999, l'INERIS a également réalisé une campagne de mesure sur le site du champ de mars avec un autre LIDAR 510M. Cette étude avait pour but d'évaluer les mesures LIDAR en air ambiant, des concentrations d'ozone jusqu'à 300m de hauteur, par comparaison avec les analyseurs ponctuels situés sur la Tour Eiffel.

Les résultats de ce travail ont montré la viabilité des mesures effectuées avec un LIDAR, tout en présentant des limites de comparaison entre les capteurs conventionnels et un système optique de mesure à distance tel que le LIDAR [8,9].

CAMPAGNES DE MESURE LIDAR

Dès son arrivée dans le réseau de mesure de COPARLY en mars 1999, sous l'impulsion du comité de pilotage, le LIDAR fut impliqué dans une étude réalisée par l'ADEME, ayant pour but de visualiser un panache de cheminée en utilisant un traceur de pollution industrielle (SO_2), et de déterminer ses caractéristiques principales (hauteur, sur-hauteur, extension), afin d'optimiser et de valider le choix d'un modèle de dispersion. Les résultats ont été obtenus directement à partir des cartographies 2D, par balayages verticaux successifs, dans une direction perpendiculaire au vent.

(3) DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy.

(4) Normes définissant la manière dont les caractéristiques météorologiques d'un appareil de mesure doivent être évaluées.

Cet exercice n'a pas été renouvelé pour l'instant ; il demande des conditions météorologiques stables, et quelques réflexions sont encore en cours quant au choix du traceur ⁽⁵⁾. L'été de la même année, le LIDAR de COPARLY a participé à deux grandes campagnes de mesure, à Lyon et à Grenoble, ayant pour but d'étudier et de modéliser des épisodes de pollution photochimique («smog» d'été), à l'échelle du département. Le LIDAR fut utilisé conjointement aux capteurs classiques ponctuels des réseaux de surveillance, pour compléter le maillage au sol par des mesures en altitude. Pour cela, le LIDAR effectuait des balayages en demi-cercles à la verticale du camion (20 ou 30 minutes par balayage), durant 3 jours continus, sur une période anticyclonique, favorable à la production d'ozone. Les cartographies 2D obtenues permettent de mettre en évidence, de façon spatiale et temporelle, les processus du cycle de l'ozone au-dessus des grandes agglomérations. Deux couches peuvent être distinguées (cf. fig.4) : une première s'étendant du sol à quelques centaines de mètres de hauteur, où l'ozone se forme aux heures d'ensoleillement à partir des émissions de polluants primaires (NO_x et COV) ⁽⁶⁾, et où les phénomènes de consommation d'ozone sont majoritaires durant la nuit par recombinaison avec le monoxyde d'azote ; en altitude, des niveaux de concentrations plus homogènes sont observés, avec une différence diurne-nocturne moins marquée et plus soumise aux phénomènes de transport des masses d'air à moyenne et longue distance (ozone de fond).

Le LIDAR permet également de visualiser (en fin de matinée) le brassage vertical de l'atmosphère dû aux processus de convection et l'homogénéisation des concentrations entre les deux couches. Dans un premier temps, ces mesures ont été comparées aux valeurs obtenues à partir de la modélisation, afin de valider les résultats. Puis les mesures ont alimenté directement les entrées du modèle, améliorant ainsi les valeurs de sortie (assimilation de données).

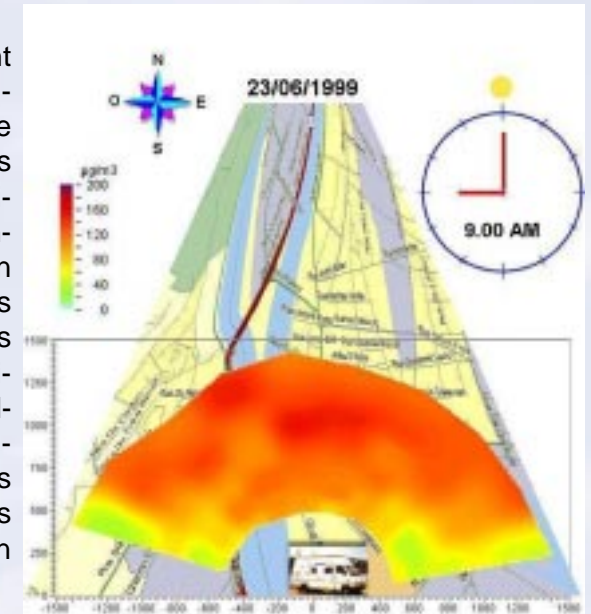


Figure 4 : exemple de mesures LIDAR à Lyon (visualisation en 2D - rayon de 1,5 km)

(5) Rapport ADEME en cours de publication.

(6) NO_x = oxydes d'azotes NO et NO_2 .

COV = Composés Organiques Volatiles.