

Essais d'évaluation du LIDAR 510 M

Tamara Menard, Yves Godet, Michel Nomine, Derk Weidauer, Jean-Pierre
Wolf

► **To cite this version:**

Tamara Menard, Yves Godet, Michel Nomine, Derk Weidauer, Jean-Pierre Wolf. Essais d'évaluation du LIDAR 510 M. 11. Congrès mondial sur l'air pur et l'environnement, Sep 1998, Durban, Afrique du Sud. ineris-00972140

HAL Id: ineris-00972140

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972140>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ESSAIS D'EVALUATION DU LIDAR 510 M

T MENARD*, Y GODET*, M NOMINE*,
D WEIDAUER**, J P WOLF***

* INERIS Parc Technologique Alata - B.P. n° 2 -F-60550 VERNEUIL-EN-HALATTE

** ELIGHT Laser Systems Warthestrasse 21-D-14513 TELTOW

*** LASIM (UMR 5579) Université Claude Bernard Lyon 01,
43 boulevard du 11 novembre 1918 -F-69622 VILEURBANNE Cedex

1 PROBLEMATIQUE

Les développements technologiques récents dans les domaines optiques, électroniques et informatiques ont conduit à l'apparition sur le marché de nouvelles générations d'instruments de surveillance de la qualité de l'air. Ces instruments, tels le FTIR¹, le DOAS² et le LIDAR³, permettent la mesure, par télédétection, de plusieurs polluants sur de longues distances.

Ils ouvrent de nouvelles perspectives dans la détermination des caractéristiques atmosphériques et ont de nombreuses applications telles que la surveillance de la qualité de l'air en zone urbaine, dans les aéroports, dans les tunnels, en zones industrielles (panaches de fumées, stockages, stations d'épuration,...). L'instrument LIDAR permet en outre, grâce à sa résolution spatiale, la validation des modèles de dispersion des gaz dans l'atmosphère.

L'intégration de ces instruments sur site d'étude ou en réseau de surveillance de la qualité de l'air nécessite d'évaluer leur potentialité et de déterminer leurs performances métrologiques à l'aide, si possible, de procédures normalisées.

Le calibrage et l'évaluation technique des instruments peuvent être réalisés soit par comparaison avec des analyseurs de référence (ayant déjà été évalués), comme le permet par exemple la norme allemande DIN, soit en mettant en oeuvre une méthodologie adaptée fondée sur les principes des normes existantes comme la norme française NFX 20-300.

Cette dernière procédure (également préconisée à quelques nuances près par US EPA et par VDI/DIN) a été appliquée par l'INERIS, laboratoire français d'évaluation des instruments de mesure de la qualité de l'air, à l'appareil LIDAR 510 M développé et commercialisé par la Société allemande ELIGHT Laser Systems.

¹ Spectroscopie d'absorption infrarouge à transformée de Fourier

² Spectroscopie d'absorption optique différentielle

³ Light detection and ranging

2 PRINCIPE DE LA TECHNIQUE LIDAR-DIAL

La technique LIDAR consiste à émettre des impulsions laser dans l'atmosphère et à analyser le rayonnement rétrodiffusé (à la même longueur d'onde), en utilisant les propriétés d'absorption et de diffusion de la lumière par les particules (diffusion de Mie) et par les molécules (diffusion de Rayleigh).

Un télescope coaxial à la source collecte la fraction du rayonnement rétrodiffusée dans l'angle solide sous lequel il voit le point émetteur de l'espace et la transmet à un photodétecteur qui convertit les photons reçus en photoélectrons. Le signal électrique correspondant est en relation directe avec l'absorption du rayonnement par les molécules à analyser, en application de la loi de Beer-Lambert. En utilisant un laser pulsé, le signal est détecté en fonction du temps, donc de la distance et permet ainsi d'accéder par le calcul à la répartition des concentrations le long de l'axe de tir jusqu'à une limite définie comme la portée du LIDAR.

Dans la pratique, on utilise l'absorption différentielle DIAL⁴. La source laser émet simultanément dans l'atmosphère à deux longueurs d'onde, l'une désignée par λ_{on} qui est fortement absorbée par le gaz considéré et l'autre par λ_{off} qui est faiblement absorbée et on détermine par différence la concentration du polluant recherché en fonction de la distance.

En balayant l'espace en azimut et en élévation, on obtient ainsi des profils de concentration en 3 dimensions.

L'instrument testé : LIDAR 510 M / ELIGHT est présenté ci-dessous. Il est équipé d'un laser Saphir-Titane pompé par lampes de haute énergie, doublé et triplé en fréquence. Un double oscillateur permet d'émettre les deux longueurs d'onde. A ce jour, il permet la mesure de 6 polluants : SO₂, O₃, NO, NO₂, toluène et benzène.

Une première évaluation dont l'objectif était d'examiner la sensibilité de l'appareil et son caractère opérationnel a été menée. Elle a porté sur un seul gaz, le SO₂.



⁴ Differential absorption Lidar

3 METHODE D'EVALUATION

La méthode d'évaluation de l'instrument LIDAR, s'appuie sur la norme française X 20-300 dont le principe des différents essais est basé sur la mise en oeuvre de séquences répétées d'un cycle comportant :

- la mesure du gaz de "zéro" pendant $\frac{1}{2}$ période du cycle,
- la mesure de la concentration C_i pendant la deuxième $\frac{1}{2}$ période.

Pour ce faire, on a développé un dispositif composé de deux cellules en quartz de 453 mm, se déplaçant alternativement à l'intérieur de l'appareil dans le trajet du faisceau entre la source laser et le premier miroir du télescope. La première cellule est alimentée en dynamique par un mélange de gaz (SO_2) dans l'air de concentration connue et reproductible et, la seconde en air de "zéro".

Le faisceau, ayant traversé l'une puis l'autre cellule, est émis à l'atmosphère, et le rayonnement rétrodiffusé est traité comme indiqué ci-dessus (paragraphe 2). La différence fournit la concentration de référence du gaz (SO_2) de la cellule.

La simulation des concentrations de polluants, en cellule de longueur réduite par rapport au trajet optique est réalisée en augmentant la concentration du gaz dans la cellule d'un facteur tel que le produit "concentration x longueur = constante" (loi de Beer Lambert). La concentration en SO_2 dans la cuve a ainsi varié au cours des essais de 0,5 à 215 ppm (ce qui correspond à 0,22 à 98 ppb.km).

Cette méthode a permis de déterminer les principales caractéristiques du LIDAR, à savoir :

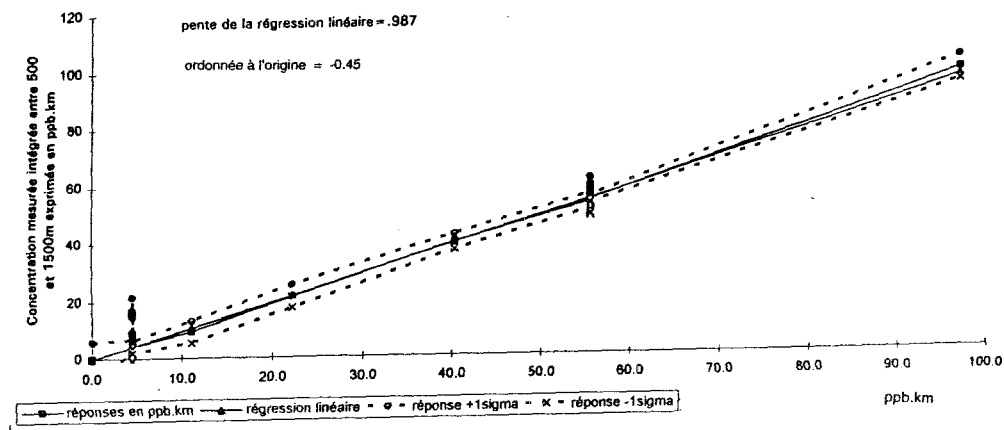
- la linéarité,
- les seuils de détection,
- la dérive (ou reproductibilité),
- l'influence des interférents chimiques.

4 RESULTATS DES ESSAIS

Les principaux essais et les résultats correspondants sont les suivants :

- *L'étude de la linéarité et du calibrage* a été réalisée conformément à la norme NFX 20-300 en générant plusieurs niveaux de concentrations C_i . Pour chaque concentration C_i , on effectue j mesures X_{ij} . Parmi celles-ci figurent les deux concentrations (une faible et l'autre élevée) servant à l'établissement de la droite de calibrage.

Les résultats, présentés sur la figure ci-dessous sont très satisfaisants. Ils donnent le courbe de réponse du LIDAR avec $\pm 1\sigma$ ainsi que la droite de régression.



Etude de la linéarité avec les cellules de 453 mm
pour le SO₂ sur l'ensemble des points d'essai

- Les limites de détection (fonction de l'écart-type σ) ont été déterminées de trois façons différentes :

- selon la norme française à une concentration faible répétée 9 fois (limite = $2 t\sigma$ avec t coefficient de Student),
- en se calant deux fois sur la même longueur d'onde λ_{off} ,
- avec les deux cellules remplies de gaz de zéro (1 essai).

Les résultats montrent que la limite de quantification (par beau temps) est inférieure à 5 ppb.km, voire 3 ppb.km pour les deux premières méthodes (la troisième n'ayant fait l'objet que d'un essai).

- Les essais d'interférences ont consisté à introduire une concentration connue de SO₂ dans la cellule de référence (de l'ordre de 115 ppm soit 52 ppb.km) et à mesurer le NO₂, l'ozone, le toluène et le benzène en se calant sur les longueurs d'onde respectives de ces polluants. Les résultats obtenus ont été satisfaisants sauf pour le NO₂.

- *L'essai de dérive* n'a pas pu être mené conformément à la norme française pour des raisons de sécurité, l'instrument devant être arrêté la nuit. Aussi l'a-t-on remplacé par des essais de reproductibilité. Chaque jour, des mesures étaient réalisées avec l'une des cellules alimentée par du SO₂ à la concentration constante de 122,9 ppm (soit 55,7 ppb.km). Sept essais ont été effectués pour lesquels nous avons déterminé la pente de la droite de régression ainsi que son intervalle de confiance à 95 % de probabilité, soit :

$$\text{dérive} = -0,08 \% / \text{jour} \pm 0,13 \% / \text{jour}.$$

La dérive n'est pas significative. La reproductibilité des résultats est bonne.

5 DISCUSSION

Les tests effectués sur le LIDAR 510 M se sont limités à un seul gaz : le SO₂. On a cependant pu vérifier que l'appareil était conforme aux caractéristiques annoncées pour les limites, la linéarité, la stabilité au cours du temps. Les résultats de ces premiers essais sont donc prometteurs.

Des essais d'évaluation doivent se poursuivre sur d'autres polluants.

En outre, un programme de validation des mesures par LIDAR est envisagé tant en galerie souterraine de grande longueur que sur site urbain, en collaboration avec un réseau de mesure de la qualité de l'air.

REFERENCES

- G ANCELLET et al. (1987)
LIDAR measurements of sulfur dioxide and ozone in the boundary layer during the 1983 FOS BERRE campaign
Atmospheric environment, 1987, volume 21, n° 10, pp. 2215-2226
- A APITULEY et al (1996)
RIVM Tropospheric ozone LIDAR routine measurements, validation and analysis
Congrès Berlin 1996 (5), p. 375
- R A BAUMGARTNER et al (1979)
A comparison of LIDAR and air quality station NO₂ measurement
JAPCA, 1979, volume 29, n° 11, p. 1162-1165

S E BISSON et al (1996)

An advanced UV Dial system for environmental monitoring
Congrès Dallas (7), p. 137-143

L CARR et al (1994)

Frequency agile CO₂ DIAL for environmental monitoring
Congrès Atlanta 1993 (2), p. 282

M DOUARD

Méthodes LIDAR pour la détection des aérosols stratosphériques et des composés organiques volatils

Thèse soutenue en février 1996 à l'Université Claude Bernard Lyon 1

E FREJAFON et al (1997)

Mesure 3 D de la pollution par LIDAR (1997)
A paraître.

INERIS

Préévaluation du LIDAR 510M commercialisé par Elight GmbH
Rapport INERIS, décembre 1996

H KÖLSCH et al (1992)

Remote sensing of air pollution over large European cities by LIDAR
Applied Physics B 54, 1992, p. 89-94

MJT MILTON et al (1995)

Calibration of DIAL and open path systems using external gas cells
SPIE symposium series, 1995, volume 2506, p. 680-688

M ULBRICHT et al (1994)

Calibration of LIDAR systems
Congrès Atlanta, 1993 (2), p. 194

VDI Draft Guideline 4210 (1997)

Remote sensing gaseous air pollution measurement with LIDAR by differential absorption and scattering DOAS-LIDAR

D WEIDAUER et al (1996)

Ozone, VOC, NO₂ and aerosol monitoring in urban and industrial areas using a mobile DIAL System
Congrès Berlin, 1996 (5), p. 423

C WEITKAMP et al (1996)

Laser remote sensing of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, toluene, ozone and dust in the industrial area of Cubatao (Brésil)
Congrès Berlin, 1996 (5), p. 411

J P WOLF et al (1994)

3D monitoring of air pollution using "all solid state" LIDAR systems
Congrès Atlanta, 1993 (2), p. 147

T. MENARD