SENSIBILITE A LA TAILLE DES AEROSOLS DE LA TELEDETECTION LIDAR (UV, VIS) RESOLUE EN POLARISATION

A. Miffre*, D. Cholleton et P. Rairoux

Institut Lumière Matière, CNRS UMR 5306, Université de Lyon,
10 rue Ada Byron, 69622, Villeurbanne, France
*alain.miffre@univ-lyon1.fr

TITLE

Size sensitivity of a polarization-resolved (UV, VIS) lidar remote sensor.

RESUME

La télédétection lidar est d'un intérêt majeur pour notre connaissance de l'aérosol atmosphérique car elle permet d'accéder à la distribution spatio-temporelle des aérosols, avec de nombreuses applications aussi bien dans le domaine de la qualité de l'air que de l'observation du climat terrestre. On se propose ici de présenter les résultats de deux publications récentes, parues en 2019 et en 2020 dans Remote Sensing et Optics Letters (Miffre et al., 2019, 2020) permettant d'évaluer quantitativement la sensibilité de la mesure lidar à la distribution de taille des aérosols. L'étude proposée, réalisée à partir d'un télédétecteur lidar (UV, VIS) résolu en polarisation, montre l'intérêt et la sensibilité de la Télédétection lidar, capable d'adresser des gammes de taille aussi faibles que 40 ± 10 nm, correspondant à la croissance par condensation qui suit le processus de nucléation dans l'atmosphère.

ABSTRACT

Lidar remote sensing is of major interest for our knowledge of atmospheric aerosol because it provides access to the spatio-temporal distribution of aerosols, with many applications both in the field of air quality and observation of the Earth's climate. We here propose to present the results of two recent publications, published in 2019 and 2020 in Remote Sensing and Optics Letters (Miffre et al., 2019, 2020) that allow to quantitatively evaluate the sensitivity of the lidar measurement to the size distribution of aerosols. The proposed study, based on a polarization resolved (UV VIS) lidar remote sensor, shows the interest and sensitivity of lidar remote sensing, capable of addressing size ranges as small as 40 ± 10 nm, corresponding to the condensation growth that follows the nucleation process in the atmosphere.

MOTS-CLÉS: aérosol atmosphérique, particules désertiques, polarisation, lidar / **KEYWORDS:** atmospheric aerosols, mineral dust, polarization, lidar.

1. INTRODUCTION

Les aérosols de l'environnement sont généralement présents dans l'atmosphère sous la forme de mélanges complexes à plusieurs composantes (Tesche, et al., 2009 ; Winker et al., 2010 ; Miffre et al., 2011 ; David et al., 2013, Mehri et al., 2017), qui résultent de leur processus de formation et des processus physico-chimiques mis en jeu lors du transport par advection depuis les régions sources jusqu'aux régions d'observation. A la suite à leur transport sur de longues distances, ces particules peuvent ainsi présenter des tailles et des formes très différentes de celles observées près des régions source, de sorte que leur distribution spatio-temporelle, généralement très complexe, reste à révéler, alors que la contribution de ces particules minérales au bilan radiatif terrestre reste à quantifier (Mishchenko et al., 2002 ; Dubovik et al., 2006 ; Balkanski et al., 2007 ; IPCC, 2013). La technique lidar permet d'évaluer la distribution spatio-temporelle d'un mélange d'aérosols atmosphériques, donnée essentielle pour comprendre le bilan radiatif sur Terre. Dans la littérature, la distribution spatio-temporelle de l'aérosol minéral désertique a ainsi été étudiée par lidar résolu en polarisation (Tesche, et al., 2009 ; David et al., 2013, Mehri et al., 2017), fondée sur l'analyse robuste de la polarisation de l'onde rétrodiffusée. En parallèle, l'exposant d'Ångström a souvent été utilisé comme instrument qualitatif permettant de donner une estimation qualitative de la taille des particules sondées (Veselovskii et al., 2016).

On se propose ici d'analyser la sensibilité en taille d'un télédétecteur lidar (UV, VIS) résolu en polarisation. On tire ici parti de la polarisation de la lumière pour séparer les contributions à la rétrodiffusion des particules sphériques de celle des particules non-sphériques contenues dans l'aérosol étudié. En associant cette évaluation, réalisée à deux longueurs d'onde, à des simulations numériques, nous avons pu proposer une évaluation quantitative de la taille des particules qui composent l'aérosol (Miffre et al., 2020). Afin de présenter concrètement la démarche suivie, une étude de cas est proposée, qui concerne un épisode de particules désertiques observé à Lyon: à la suite de leur transport sur de larges distances, ces particules s'avèrent mélangées à d'autres particules sphériques et la taille des particules composant ce mélange est dès lors analysée. De manière intéressante (Miffre et al., 2019), notre télédétecteur lidar possède une sensibilité suffisante pour révéler la croissance par condensation issue du processus de nucléation dans l'atmosphère qui se produit à la surface des particules minérales d'origine désertique (Dupart et al., 2012).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24813 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

2. LIDAR (UV, VIS) RESOLU EN POLARISATION DE L'ILM (LYON)

La figure 1 (à gauche) montre une photographie de l'expérience lidar résolue en polarisation construite à Lyon qui possède une sensibilité et une précision records (Miffre et al., Remote Sensing, 2019). Un soin particulier a été apporté à la caractérisation de la fonction d'appareil, ceci afin de minimiser les recouvrements éventuels entre voies de détection associés à chaque longueur d'onde (UV, VIS) et chaque polarisation. Comme le montre la figure 1 (à droite, tirée de Miffre et al. Remote Sensing, 2019), une calibration robuste et précise du télédétecteur lidar a été réalisée (précision meilleure que 2 %) permettant des mesures quantitatives des observables lidar. On se propose ici d'analyser les profils verticaux obtenus lors d'un épisode de particules désertiques observées à Lyon en juillet 2015 : à la suite de leur transport sur de larges distances, ces particules non-sphériques (ns) s'avèrent mélangées à d'autres particules sphériques (s). Nous avons pu montrer dans (Miffre et al., Remote Sensing, 2019) que les particules sphériques correspondent principalement à l'acide sulfurique, provenant de la croissance qui suit le processus de nucléation favorisé par la présence des particules minérales d'origine désertique de plus grande taille (Dupart et al., 2012). La figure 2 présente les profils obtenus pour les coefficients de rétrodiffusion ($\beta_p, \beta_s, \beta_{ns}$) associés au mélange de particules (p), ainsi qu'aux particules sphériques (s) et non-sphériques (ns) qui le composent. Sont également représentés les exposants d'Ångström correspondants (BAE_p, BAE_s, BAE_{ns}).

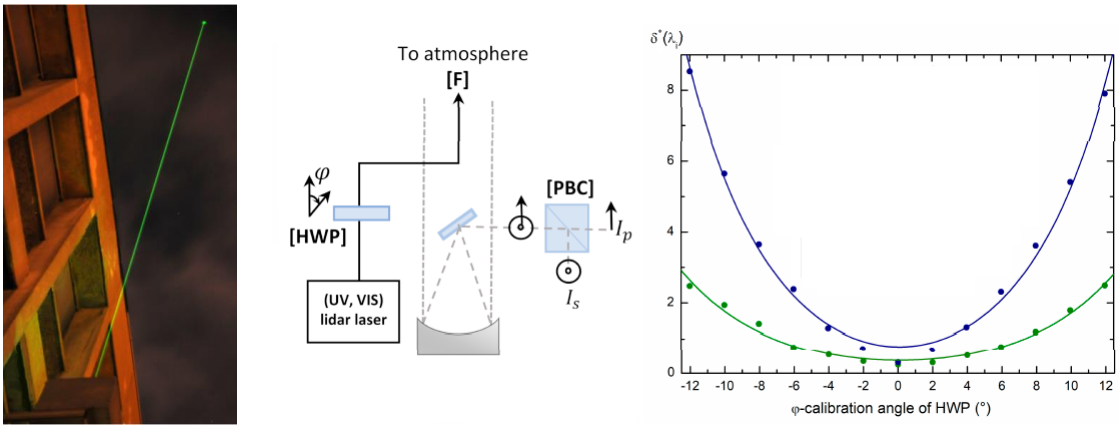

Figure 1. A gauche : photographie du télédétecteur (UV, VIS) résolu en polarisation, construit à Lyon. A droite : ce télédétecteur lidar possède une sensibilité et une précision records, grâce à une calibration robuste du détecteur reliant la dépolarisation mesurée δ* à la dépolarisation δ intrinsèque de l'atmosphère comme récemment publié dans (Miffre et al., 2019).

3. ANALYSE DES PROFILS VERTICAUX OBTENUS

En tirant parti de la polarisation de la lumière, qui permet de séparer optiquement la contribution à la diffusion des particules sphériques, de celle des particules non-sphérique, il est possible d'exprimer les coefficients de rétrodiffusion β_s et β_{ns} (Miffre et al., 2011 ; Mehri et al., 2017). En introduisant le rapport $X_{ns} = \beta_{ns}/\beta_p$ de la rétrodiffusion des particules non-sphériques à la rétrodiffusion de toutes les particules contenues dans le mélange, on a pu relier les exposants d'Ångström de rétrodiffusion BAE_p, BAE_s et BAE_{ns} : $e^{-\Lambda BAE_p} = e^{-\Lambda BAE_s} + X_{ns,1} \times (e^{-\Lambda BAE_{ns}} - e^{-\Lambda BAE_s})$ où $X_{ns,1}$ est la valeur de X_{ns} à la longueur d'onde λ_1 et $\Lambda = Ln(\lambda_2/\lambda_1) > 0$. Les exposants d'Ångström de rétrodiffusion BAE_s et BAE_{ns} peuvent être simulés numériquement en appliquant la théorie de Lorenz-Mie pour BAE_s et celle du modèle sphéroïdal pour BAE_{ns}. La figure 3 présente les variations calculées de BAE_s et de BAE_{ns} en fonction du rayon effectif des particules (sphériques, non-sphériques) pour de l'acide sulfurique, du sulfate d'ammonium et des particules de sel à 80 % d'humidité pour les particules sphériques. De la silice, de l'oxyde d'aluminium, de l'hématite et du sable naturel (correspondant à un mélange des oxydes ci-dessus) ont été considérés comme proxy pour les particules non-sphériques. A 2,7 km d'altitude sur la Figure 2, on a BAE_s = 2,7 ± 0,5, ce qui conduit à une gamme de rayons effectifs de 40 ± 10 nm ou 250 ± 80 nm pour l'acide sulfurique considéré. A cette altitude, on a BAE_{ns}= -1,4 ± 0,8, ce qui correspond à des rayons effectifs plus grands, dans la gamme de 1,1 ± 0,5 µm. De manière intéressante, la gamme des rayons effectifs reflète ainsi la microphysique mise en jeu dans le processus photo-catalytique de nucléation étudié (Dupart et al., 2012 ; Miffre et al., 2019).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24813 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

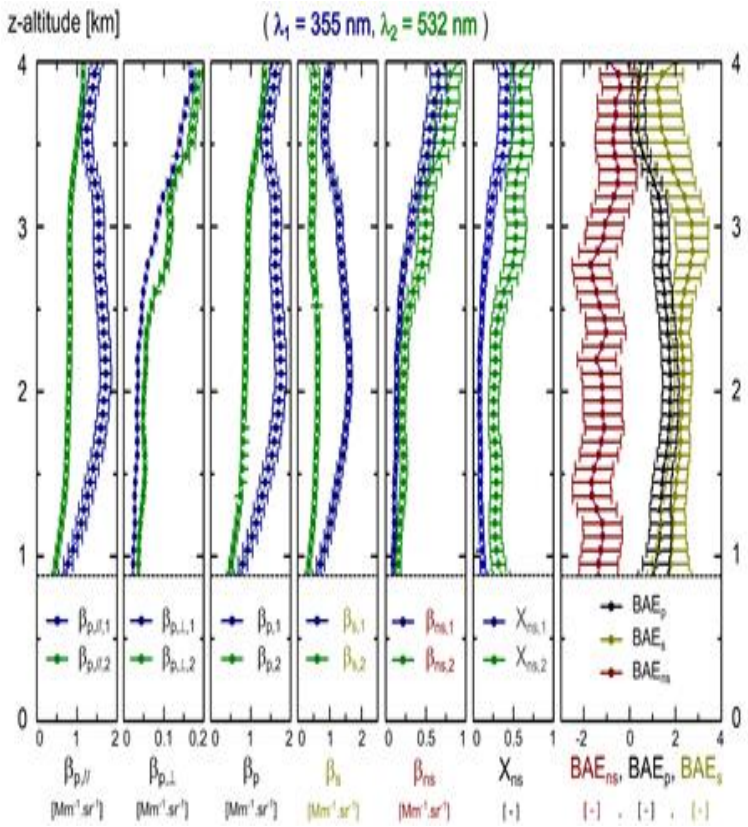

Figure 2. Profils lidar ($\beta_p, \beta_s, \beta_{ns}$) et exposants d'Ångström correspondants (BAE_p, BAE_s, BAE_{ns}) lors d'un épisode de nucléation induit par des particules minérales d'origine désertique à Lyon (2 juillet 2015, 14h UTC) observé dans l'UV (en bleu) et dans le visible (en vert). Tiré de Miffre et al. (2020).

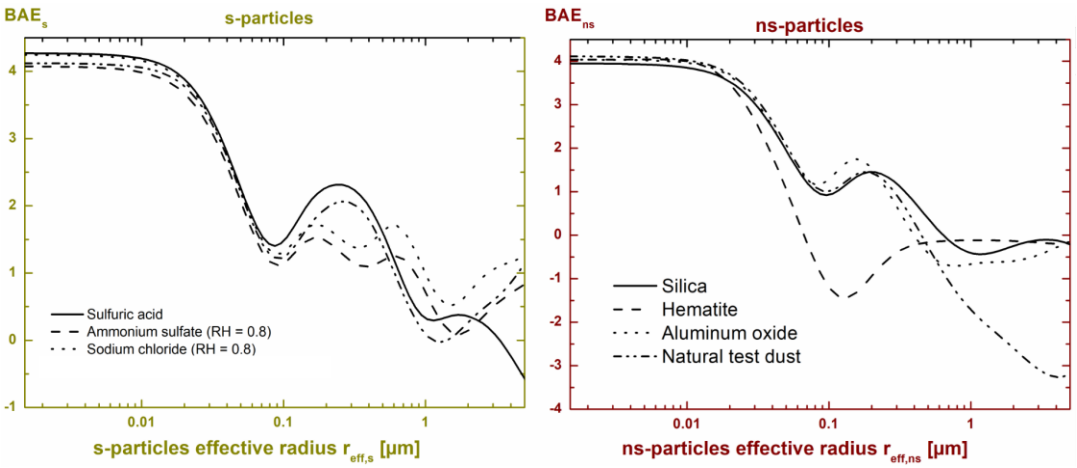

Figure 3. Simulation numérique de la variation de BAE_s (à gauche) et de BAE_{ns} (à droite) en fonction du rayon effectif des particules (s, ns) pour les cas concrets suivants : acide sulfurique, sulfate d'ammonium, sels à 80 % d'humidité pour les particules sphériques ; silice, hématite et oxydes d'aluminium, sable naturel pour les particules non-sphériques. Tiré de Miffre et al. (2020).

4. CONCLUSION

En conclusion, en quantifiant pour la première fois la sensibilité en taille de la mesure lidar, la présente contribution s'inscrit dans la continuité et la suite des deux présentations orales effectuées lors du congrès 2019 de l'ASFERA. La présentation orale proposée s'attachera dans un premier temps à rappeler l'intérêt de la mesure lidar pour l'étude des aérosols atmosphériques, en détaillant les enjeux pour l'étude de la qualité de l'air et le climat. Dans un second temps, on montrera l'intérêt de l'approche proposée qui permet d'avoir une première évaluation de la taille de l'aérosol, comme publié dans Remote Sensing et Optics Letters en 2019 et 2020 (Miffre et al., 2019, 2020).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24813 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

BIBLIOGRAPHIE

Balkanski, Y. and Schulz, M. and Claquin, T. and Guibert, S. (2007): Reevaluation of Mineral aerosol radiative forcings suggests a better agreement with satellite and AERONET data, Atm. Chem. Phys., 7, 1, 81-95.

David G., A. Miffre, B. Thomas and P. Rairoux: Sensitive and accurate dual-wavelength UV-VIS polarization detector for optical remote sensing of tropospheric aerosols, (2012), Appl. Phys. B, 108, 197–216.

David G., B. Thomas, E. Coillet, A. Miffre and P. Rairoux (2013): Polarization-resolved exact light backscattering by an ensemble of particles in air, Opt. Express, 21, 16, 18624-18639.

Nousiainen T.: Optical modeling of mineral dust particles: a review (2009) : J. Quant. Spec. Rad. Transf., 110, 1261-1279.

Dubovik O., A. Sinyuk, , T. Lapyonok, , B. N. Holben, , M. I. Mishchenko, P. Yang, , T. F. Eck, H. Volten, O. Muñoz, B. Veihelmann, W. J. van der Zande, J.-F. Leon, M. Sorokin, and I. Slutsker (2006): Application of spheroid models to account for aerosol particle nonsphericity in remote sensing of desert dust, J. Geophys. Res., 111, D11208.

Dupart Y., S.M. King, B. Nekat, A. Nowak, A. Wiedensohler, H. Herrmann, G. David, B. Thomas, A. Miffre, P. Rairoux, B. D'Anna, and C. George, (2012): Mineral dust photochemistry induces nucleation events in the presence of SO2,Proc.Natl.Acad.Sci. U.S.A., www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1212297109

IPCC: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Mehri T., Kemppinen O. , David G. , Li n dqvist H., Tyynelä J. , Nousiainen T. , Miffre A., Rairoux P. : Investigating the size, shape and surface roughness dependence of polarization lidars with light-scattering computations of real mineral dust particles : Application to dust particles external mixtures and dust mass concentration retrievals, (2018), J. Atm. Res., 203, 44-61.

Miffre A., G. David, B. Thomas and P. Rairoux (2011): Atmospheric non-spherical particles optical properties from UV-polarization lidar and scattering matrix, Geophys. Res. Lett., 38, L16804.

Miffre A, D Cholleton, T. Mehri and P Rairoux, Remote Sensing Observation of New Particle Formation Events with a (UV, VIS) Polarization Lidar, *Remote Sensing, 11*(15), 1761, (2019).

Miffre A, D Cholleton and P Rairoux, On the use of light polarization to investigate the size, the shape and refractive index of backscattering Angström exponents, *Optics Letters,* Vol. 45, 5, 1084-1087 (2020).

Mishchenko M.I., L.D. Travis and A.A. Lacis (2002): Scattering, absorption and emission of Light by small particles, 3rd edition, Cambridge University Press, UK.

Tesche M., A. Ansmann, D. Müller, D. Althausen, R. Engelmann, V. Freudenthaler and S. Groß (2009): Vertically resolved separation of dust and smoke over Cape Verde using multiwavelength Raman and polarization lidars during Saharan Mineral Dust Experiment 2008, J. Geophys. Res., 114, D13202.

Veselovskii, I., P. Goloub, T. Podvin, V. Bovchaliuk, Y. Derimian, P. Augustin, M. Fourmentin, D. Tanre, M. Korenskiy, D. N. Whiteman, A. Diallo, T. Ndiaye, A. Kolgotin, and O. Dubovik, "Retrieval of optical and physical properties of African dust from multiwavelength Raman lidar measurements during the SHADOW campaign in Senegal," Atmospheric Chem. Phys. 16(11), 7013–7028 (2016).

Winker, D.M., Pelon, J., Coakley, J.A., Ackerman, S.A., Charlson, R.J., Colarco, P.R., Flamant, P., Fu, Q., Hoff, R.M., Kittaka, C., Kubar, T.L., Le Treut, H., McCormick, M.P., Mégie, G., Poole, L., Powell, K., Trepte, C., Vaughan, M.A., Wielicki, B.A. (2010): The CALIPSO mission: a global 3D view of aerosols and clouds. Bull. Am. Meteorol. Soc. 91 (9), 1211–1229.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24813 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs