

# Caractérisation des Propriétés des Aérosols de la Région de Tizi-Ouzou à Partir des Mesures Photométriques

Fariza Meziani<sup>#1</sup>, Zohra Ameer<sup>#2</sup>, Philippe Goloub<sup>\*3</sup>, Soltane Ameer<sup>#4</sup>

<sup>#</sup>Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Phénomènes Aléatoires (LAMP), Département d'Electronique, Faculté de Génie Electrique et d'Informatique,

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie

<sup>1</sup>f.meziani@lampa-ummto.dz/fari\_me12@yahoo.fr

<sup>2</sup>z.ameur@lampa-ummto.dz/ameurzohra@yahoo.com

<sup>4</sup>ameursoltane@yahoo.com

<sup>\*</sup>Laboratoire d'Optique Atmosphérique

Université des Sciences et Technologies de Lille, France

<sup>3</sup>philippe.goloub@univ-lille1.fr

**Abstract**— Pour fournir des résultats préliminaires sur la caractérisation des propriétés des aérosols de la région de Tizi-Ouzou, nous avons utilisé des moyennes journalières des données AERONET enregistrées entre Avril 2012 et Juillet 2014. Ces mesures sont effectuées par un photomètre solaire installé sur la terrasse de notre laboratoire de l'université de Tizi-Ouzou. Notre site est une ville urbaine située au nord de l'Algérie (lat 36,69N, lon 4.05E). Il est montré que les valeurs de l'épaisseur optique des aérosols (AOD) les plus élevées dépassent 0.6 et elles sont observées durant la saison d'été. L'analyse du coefficient d'Angstrom ( $\alpha$ ) montre la présence de fines particules ( $\alpha > 1$ ) caractérisant l'aérosol urbain et de grosses particules ( $\alpha < 1$ ). Ces deux modes sont confirmés par l'analyse de la distribution en taille qui montre la dominance du mode grossier en été. Les grosses particules sont transportées par des masses d'air depuis d'autres sources dont la plus importante est le Sahara Algérien. Les origines de ces particules introduites dans notre région sont illustrées par des rétro-trajectoires.

**Keywords**— Propriétés des aérosols, photomètre solaire, aérosol, épaisseur optique, coefficient d'Angstrom.

## I. INTRODUCTION

Les aérosols atmosphériques d'origine naturelle ou anthropique émis dans l'atmosphère ont un impact très important sur le climat et la qualité de l'air. Ces effets dépendent principalement des propriétés optiques et microphysiques des aérosols intégrés sur la colonne atmosphérique ([1], [2]). Ces propriétés sont déterminées par des photomètres solaires du réseau AERONET [3], qui est un réseau de fédérations internationales fondé en 1993 par les laboratoires Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA. Il est dédié à la surveillance et la caractérisation des aérosols. Le site de Tizi-Ouzou est équipé d'un photomètre solaire qui lui a permis d'intégrer le réseau AERONET depuis Avril 2012. Il est installé sur la terrasse de notre laboratoire LAMP de l'université de Tizi-Ouzou qui est une ville urbaine située au nord de l'Algérie (lat 36,69N, lon 4.05E). Elle

est soumise à de fortes concentrations en aérosols d'origines variées comme les poussières désertiques, les sels marins et les aérosols de pollution émis en particulier par le trafic routier. Le photomètre solaire est un instrument automatique de télédétection passive qui effectue des mesures directes de l'éclairement solaire arrivant à la surface terrestre. Plusieurs paramètres sont restitués à partir de cet instrument : l'épaisseur optique qui est une mesure directe et le coefficient d'Angstrom. La distribution en taille, l'albédo de diffusion simple et l'indice de réfraction (partie réelle et imaginaire) sont déterminés par l'algorithme d'inversion des données AERONET développé par Dubovik et King [4].

Les mesures utilisées dans ce travail sont collectées entre le 11 Avril 2012 et le 23 Juillet 2014 dans le but de caractériser les propriétés des aérosols de l'agglomération de Tizi-Ouzou, par l'analyse des moyennes journalières de l'épaisseur optique (AOD), le coefficient d'Angstrom ( $\alpha$ ), la distribution en taille, l'albédo de diffusion simple (SSA), la partie réelle ( $n$ ) et imaginaire ( $k$ ) de l'indice de réfraction.

L'objectif de ce travail est de caractériser les propriétés optiques et microphysique des aérosols de l'agglomération de Tizi-Ouzou en se basant sur des mesures photométriques et des rétro-trajectoires. Ces mesures sont effectuées dans un milieu urbain.

## II. INSTRUMENT ET DONNÉES UTILISÉES

Nous avons utilisé dans cette étude un photomètre solaire CE-318 (CIMEL Electronique) installé sur la terrasse de notre laboratoire LAMP de l'Université de Tizi-Ouzou (Lat 36.69N, Long 4.05 E) depuis Avril 2012. Le photomètre solaire mesure la radiance solaire directe dans 8 canaux entre 340 et 1020 nm et radiance diffuse par le ciel dans l'Almucantar. Les données AERONET disponibles utilisées dans ce travail sont des moyennes journalières de niveau 2 mesurées à la longueur d'onde 440 nm pendant la période

allant du 11 Avril à Octobre 2012, de Mai à Décembre 2013 et de Janvier à Juillet 2014.

### III. ANALYSE DES PROPRIETES DES AEROSOLS

#### A. Analyse de l'épaisseur optique des aérosols (AOD)

L'épaisseur optique de l'aérosol (Aerosol Optical Depth) désigne l'extinction du rayonnement solaire incident due à la présence des particules dans cette couche. Elle dépend de la longueur d'onde  $\lambda$  et la somme de l'épaisseur optique d'absorption et de diffusion. Elle est donnée par l'équation suivante :

$$\tau_{ext} = \int_{z_{min}}^{z_{max}} \sigma_{ext}(z, \lambda) dz \quad (1)$$

Où  $z$  est l'épaisseur de la couche atmosphérique et  $\sigma_{ext}$  est le coefficient d'extinction. Il s'écrit comme suit :

$$\sigma_{ext}(z, \lambda) = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q_{ext}(\eta, r, z, \lambda) n(r, z) dr \quad (m^{-1}) \quad (2)$$

$Q_{ext}$  est l'efficacité d'extinction, elle est dépendante de l'indice de réfraction( $\eta$ ).

$r$  est la taille de la particule et  $n(r, z)$  est la distribution en taille.

La figure ci-dessous illustre l'évolution temporelle des moyennes journalières de l'AOD.

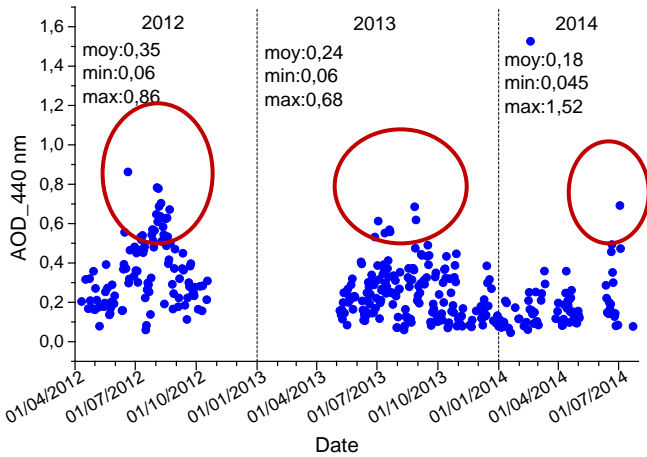


Fig. 1 L'évolution temporelle des moyennes journalières de l'AOD à 440 nm, les données encerclées en rouge correspondent à la saison d'été.

Les variations de la moyenne journalière des AODs illustrées par la fig.1 montrent que l'AOD varie de 0.05 à 0.86. Les valeurs maximales sont 0.86, 0.68 et 1.52 observées respectivement le 20 Juin 2012, 27 Août 2013 et 18 Février 2014. Les faibles valeurs d'AOD ( $AOD < 0.3$ ) sont observées en automne-hiver (de Novembre 2013 à Mars 2014), alors que les plus élevées ( $AOD > 0.4$ ) sont enregistrées pendant la saison du printemps-été. Les valeurs élevées d'AOD correspondent à de fortes concentrations en aérosols. Cette concentration devient plus importante en été suite à l'intrusion des masses d'air chargées en particules venant du Sahara, de l'Europe ou bien de la mer méditerranée, en l'absence de pluie qui lessive l'atmosphère. Elle est due aussi au fort

ensoleillement qui favorise les réactions photochimiques qui affectent les propriétés optiques et microphysiques des particules [5].

#### B. Analyse du coefficient d'Angstrom ( $\alpha$ )

Le coefficient d'Angstrom est calculé à partir des valeurs d'AOD mesurées dans les longueurs d'ondes 440 nm et 870 nm. Il fournit des informations sur la taille des aérosols :  $\alpha \approx 0$  correspond à de grosses particules,  $\alpha \approx 2$  correspond à des fines particules [6].

La fig.2 montre la présence de fines et de grosses particules au cours de l'année, elles sont montrées par un coefficient d'Angstrom qui varie de 0.2 à 1.70. Il est clairement observé que les particules dominantes sont les grosses avec un  $\alpha < 1$ . Ces grosses particules sont observées toute l'année mais elles deviennent plus importantes en été (Juillet et Aout). Ces particules peuvent être des poussières sahariennes caractérisées par un  $\alpha < 0.7$  [7] ou des sels marins dont le coefficient d'Angstrom varie de 0 à 1 [8]. Les grosses particules sont introduites dans notre zone d'études par des masses d'air transportées depuis d'autres sources comme le Sahara et la mer méditerranée (voir fig.6). Les particules caractérisées par un  $\alpha > 1$  sont observées au cours de toute l'année, elles sont des fines particules qui représentent des aérosols urbains. Selon Hess et al. [9], les valeurs de coefficient d'Angstrom situées entre 0.35 et 0.41 indiquent des masses d'air polluées.

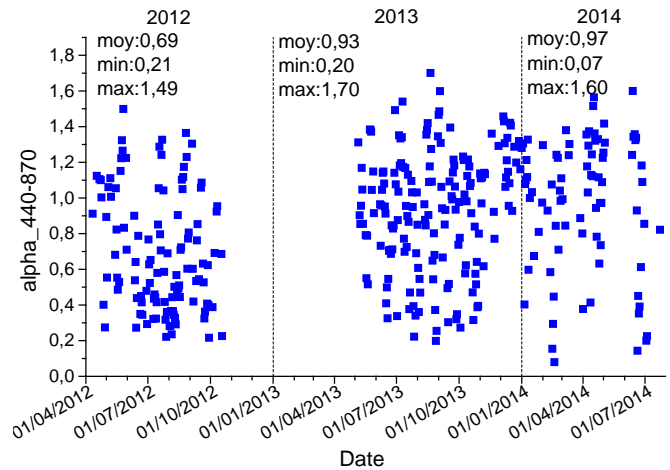


Fig. 2 Les variations temporelles des moyennes journalières du coefficient d'Angstrom (440-870)

La fig.3 montre la relation entre l'épaisseur optique des aérosols à 440 nm et le coefficient d'Angstrom. Les valeurs de  $\alpha$  sont inversement proportionnelles à l'AOD. On remarque que pour des AODs élevés ( $AOD > 0.3$ ), correspond des valeurs du coefficient d'Angstrom  $\alpha$  allant de 0.2 à 1.7. Cela signifie que notre région est chargée de fine et de grosses particules.

Ces deux types de particules sont clairement illustrés par la distribution en taille donnée par la fig.4. On voit clairement que la distribution en taille est bimodale pour toute la période d'étude. Le mode grossier centré à  $3\mu m$  est largement

dominant en 2012 avec de fortes concentrations de particules atteignant 0.23 pour une AOD > 0.65. Le mode fin centré à 0.1 avec un pic de 0.07 pour la même valeur d'AOD. En 2013, il est remarqué que les deux modes sont proches. Le mode fin et grossier sont centrés à 0.11  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$  pour des pics de 0.06 et 0.08 respectivement pour des AODs allant de 0.45 à 0.52. Pour 2014, le mode grossier est légèrement dominant avec un pic de 0.08. On déduit alors que la région de Tizi-Ouzou est chargée par de fines et de grosses particules avec la dominance de ces dernières pratiquement pendant toutes les saisons.

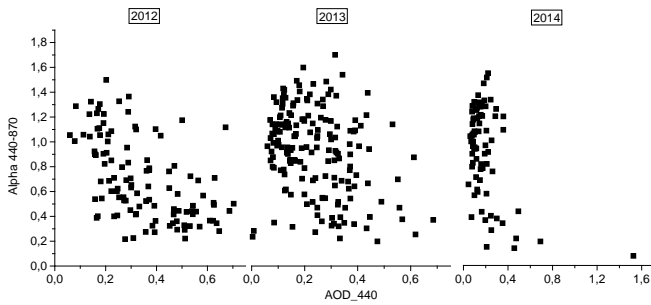


Fig. 3 Les variations des moyennes journalières du coefficient d'Angstrom en fonction de l'AOD à 440 nm,

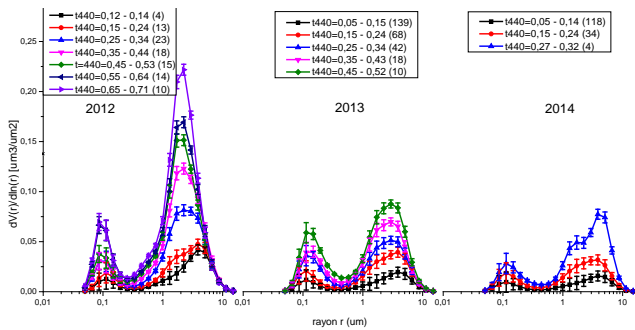


Fig. 4 Les variations des moyennes journalières de la distribution en taille pour des classes d'AOD de 0.1. Minimum, maximum et le nombre de mesures pour chaque classe. L'erreur bars représente l'écart type.

### C. Analyse de l'albédo de diffusion simple (SSA)

La fig.5 illustre que le SSA varie de 0.75 à 0.99 dans la longueur d'onde 440 nm, mais on voit clairement que les valeurs de SSA dominantes se trouvent entre 0.85 et 0.99 ce qui signifie que les particules sont moins absorbantes. On remarque également que certaines valeurs se trouvent dans la gamme 0.65-0.75 comme celle de la journée de 28 Février 2013. Ces faibles valeurs de SSA correspondent à des faibles valeurs d'AOD et elles représentent des journées claires.

Les aérosols urbains, maritimes et les poussières désertiques se caractérisent par un SSA variant de 0.942 à 0.984, 0.957-0.993 [10], 0.93-0.99 [11] respectivement. Les aérosols urbains sont donc dominants en hiver alors que les poussières désertiques dominent en été.

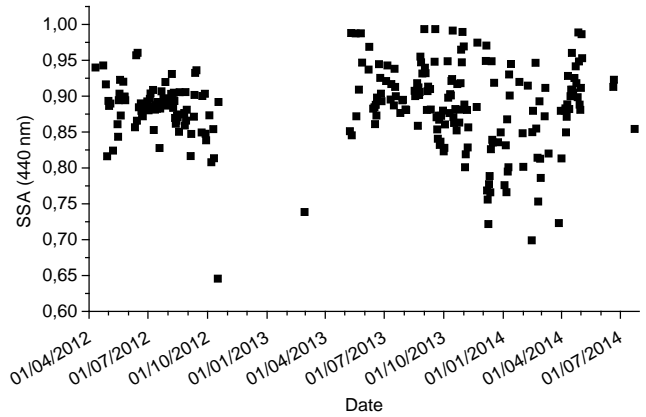


Fig. 5 Les variations temporelles des moyennes journalières de l'albédo de diffusion simple à 440 nm

### D. Analyse de la partie réelle (n) et la partie imaginaire (k) de l'indice de réfraction

Les fig.6-7 représentent les variations des moyennes journalières de niveau 1.5 de la partie réelle et imaginaire de l'indice de réfraction respectivement. Les valeurs  $n$  et  $k$  varient de 1.33 à 1.60 et de 0.0005 à 0.05 respectivement. Les faibles valeurs de  $k$  et les fortes valeurs de  $n$  sont observées pendant l'été. Les valeurs élevées de  $n$  correspondent à un coefficient de diffusion important, alors que les fortes valeurs de  $k$  correspondent à un coefficient d'absorption [5]. Les fig.4-5 montrent clairement que les valeurs dominantes de  $n$  se trouvent dans la gamme 1.40-1.52, et celles de  $k$  varient dans la gamme 0.0005-0.01 et elles sont observées en été.

D'après [12], les particules dont le  $n$  varie de 1.35-1.53 et que  $k$  varie de 0.0003-0.005 représentent les particules solubles dans l'eau qui sont les principales composantes de l'aérosol urbain/industriel et maritime. Pour  $n$  allant de 1.54-1.60, représente des particules minérales et suie. On déduit alors que la région de Tizi-Ouzou est chargée de particules urbaines et maritimes observées en été, et minérales observées en hiver.

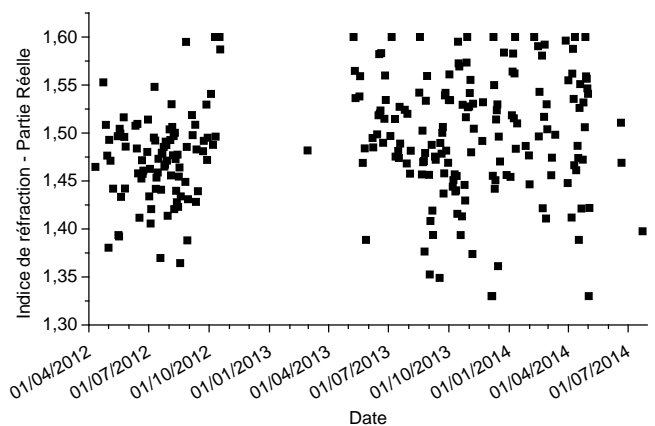


Fig. 6 Les variations temporelles des moyennes journalières de la partie réelle de l'indice de réfraction à 440 nm

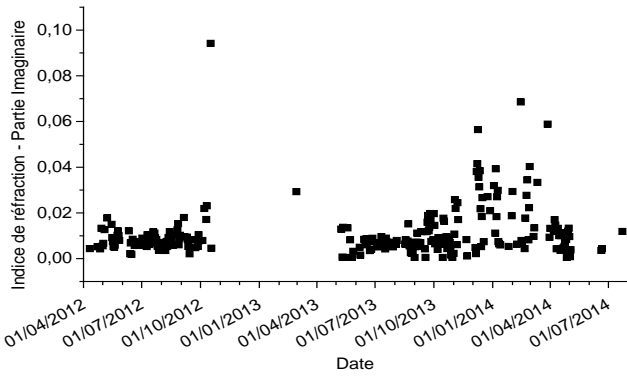


Fig. 7 Les variations temporelles des moyennes journalières de la partie imaginaire de l'indice de réfraction

#### IV. ANALYSE DES DIFFERENTS PARAMETRES AEROSOLS DURANT 5 JOURS

Pour mieux voir les différents types d'aérosols de notre zone d'étude, nous avons choisi cinq jours caractérisés par des AODs élevées à 440 nm. Les valeurs moyennes de l'AOD,  $\alpha$ , SSA,  $n$  et  $k$  sont résumées dans la table.1. Les moyennes journalières de la distribution en taille, l'albédo de diffusion simple et l'indice de réfraction sont illustrées par la fig.8. Le mode fin et grossier sont clairement observés durant ces cinq jours par la distribution en taille (fig.8a). On observe une forte concentration des grosses particules ( $\alpha=0.34$ ) le 20 Juin, et une concentration de l'ordre de  $0.15 \mu\text{m}^2/\mu\text{m}^3$  le 18 Août pour les deux modes avec un  $\alpha=0.70$ . Ces valeurs correspondent à des particules désertiques venant vers notre région depuis le SAHARA Algérien (l'Afrique de Nord). Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans d'autres sites AERONET influencés par la poussière désertique ([5], [13], [7]). Pour ces deux jours, il correspond un faible SSA (0.88 et 0.84 le 20/06 et 18/08 respectivement). Ceci est expliqué par la contribution des particules absorbantes ( $k=0.005$  et  $0.01$ ) [5] venant de la mer méditerranée et de l'Atlantique le 20/06 et le 18/08 respectivement. Une concentration moins importante ( $\approx 0.05$ ) est observée pendant les trois autres jours. Les paramètres ( $\alpha=0.76-1.12$ ,  $k=0.007-0.13$ ,  $\text{SSA}=0.88-0.91$ ) donnés dans la table.1 et la fig.8 montrent que les petites particules sont dominantes pendant ces trois jours. Ces fines particules sont émises dans notre région par des masses d'air qui traversent de grandes villes urbaines et des régions industrielles Européennes (voir fig.9c-e) et par conséquent, ces masses peuvent être affectées par des aérosols urbains-industriels.

TABLE I

LES MOYENNES JOURNALIÈRES DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES AÉROSOLS A 440 NM DES QUATRE JOURS CHOISIS

	AOD	$\alpha$	SSA	$n$	$k$
<b>20/06/2012</b>	0.86	0.34	0.88	1.45	0.005
<b>18/08/2012</b>	0.62	0.71	0.84	1.36	0.011
<b>11/09/2012</b>	0.45	0.76	0.90	1.42	0.008
<b>12/10/2013</b>	0.37	0.98	0.91	1.37	0.007
<b>13/04/2014</b>	0.35	1.12	0.88	1.46	0.013

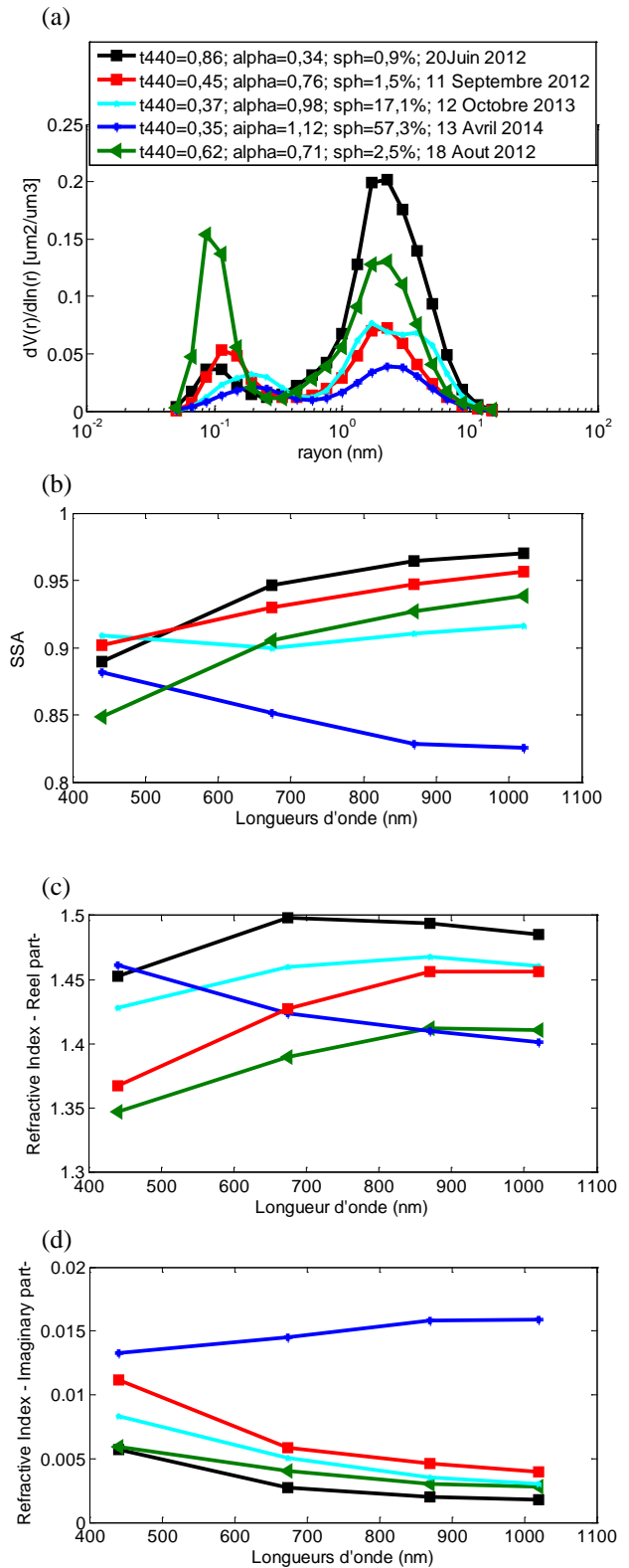


Fig. 8 Les différents paramètres aérosols mesurés à 440 nm des jours choisis : (a) la distribution en taille, (b) l'albédo de simple diffusion, (c) la partie réelle de l'indice de réfraction, (d) la partie imaginaire de l'indice de réfraction

### 1. Analyse des rétro-trajectoires des jours choisis pour l'analyse

Les rétro-trajectoires représentées dans la fig.9a-e sont calculées par le model Hysplit [14] pour les cinq jours à analyser. Pour chaque cas, une rétro-trajectoire de 168 heures et qui se termine à 16h est calculée pour des hauteurs de 500m, 1000 m et 2000 m. Pour le 20 Juin et le 18 Août 2012, la rétro-trajectoire (fig.9a-b) montre des poussières désertiques venant du Sahara Algérien. Elle montre aussi des masses d'air arrivant depuis la mer méditerranéenne et de l'Atlantique respectivement. L'Europe est la source de toutes les masses d'air arrivant à Tizi-Ouzou le 11 Septembre 2012. Les rétro-trajectoires (fig.9.d-e) montrent des particules urbaines transportées par des masses d'air depuis l'Europe le 12 Octobre 2013 et le 13 Avril 2014. L'Afrique de l'Ouest et l'Atlantique sont d'autres sources qui introduisent un autre type d'aérosols dans notre région d'étude pour le 12/10/2013 et le 13/04/2014 respectivement.

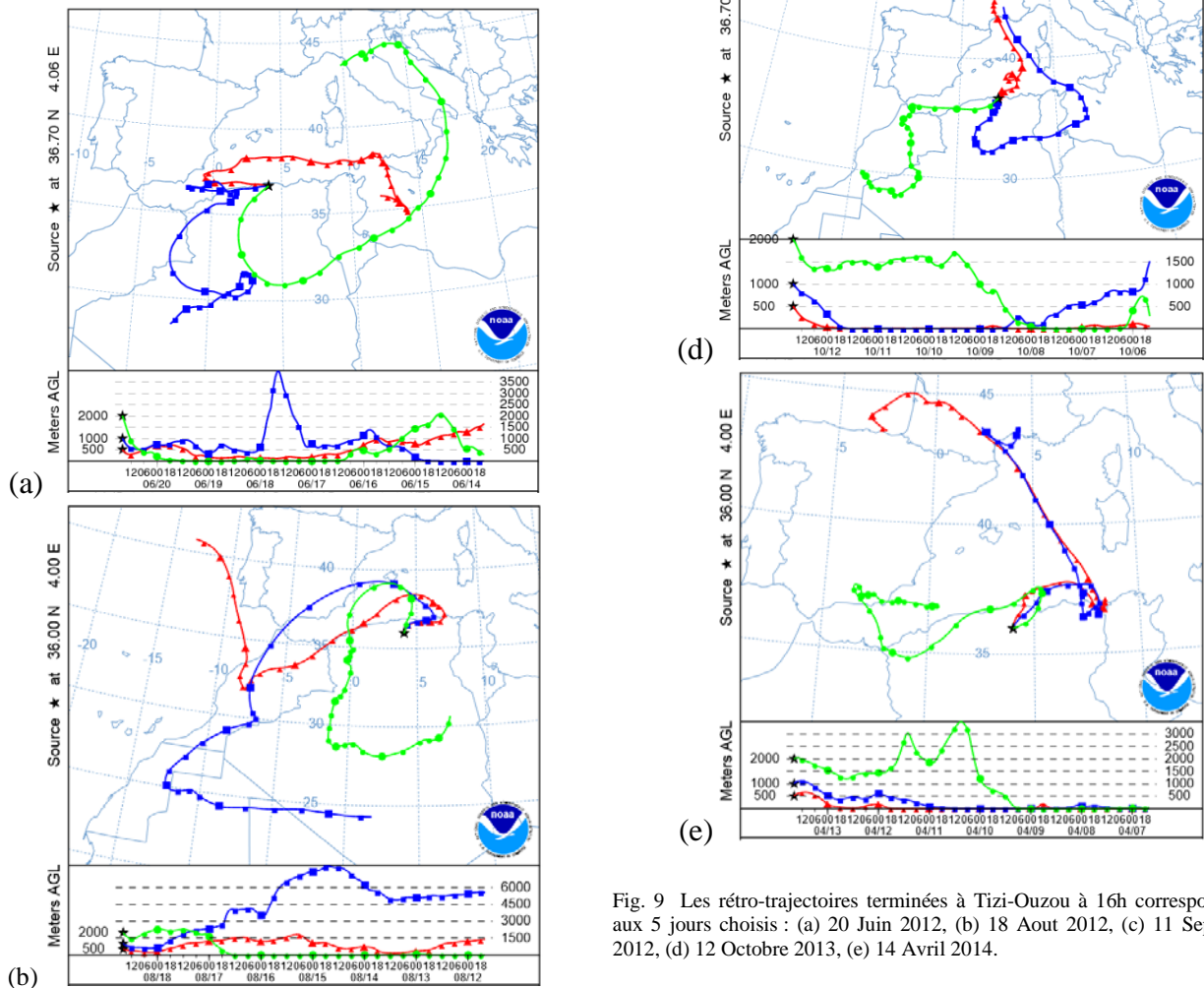


Fig. 9 Les rétro-trajectoires terminées à Tizi-Ouzou à 16h correspondantes aux 5 jours choisis : (a) 20 Juin 2012, (b) 18 Août 2012, (c) 11 Septembre 2012, (d) 12 Octobre 2013, (e) 14 Avril 2014.

### V. CONCLUSION

La caractérisation des aérosols de la région de Tizi-Ouzou est basée dans ce travail sur l'analyse des données AERONET de niveau.2 mesurées par un photomètre solaire pour une période allant de 11 Avril 2012 à 23 Juillet 2014. L'évolution

temporelle de l'épaisseur optique montre des journées avec de fortes concentrations en particules (AOD>0.4). L'analyse des moyennes journalières de la distribution en taille, le coefficient d'Angstrom et les autres paramètres à 440 nm (SSA,  $n$ ,  $k$  et  $\alpha$ ) montre que notre région est chargée par de fines et de grosses particules. Cette analyse nous a permis de classer les aérosols en particules urbaines locales émises par le trafic routier et celles transportées depuis l'Europe traversant de grandes surfaces urbaines et industrielles. Des poussières désertiques arrivant du Sahara et des sels marins venant de la mer méditerranée et de l'Atlantique observés surtout en Juillet et Août. Ceci est dû au transport de particules de sable vers le Nord et l'évaporation des eaux des océans et des mers qui injectent le sel marin dans l'atmosphère en présence du vent. Les sources des aérosols sont données par l'analyse des rétro-trajectoires de cinq jours à des AODs élevées. Il est montré que l'aérosol urbain est caractérisé par un coefficient d'Angstrom supérieur à 0.7, alors que celui des particules minérales est inférieur à 0.7.

Les résultats de l'analyse des données photométriques sur une période d'environ trois ans ont pu contribuer à une caractérisation préliminaire de l'aérosol dans la région de Tizi-Ouzou. Ces résultats peuvent être aussi utilisés dans l'étude de la qualité de l'air de cette région.

#### REFERENCES

- [1] Y.J. Kaufman, D. Tanre, O. Boucher, "A satellite view of aerosols in the climate system", *Nature*, vol. 419, pp.215-224, 2002.
- [2] R. J. Charlson, S. E. Shwartz, J. M. Hales, R. D. Cess, J. A. Coakley Jr., J.E. Hansen, D. J. Hofmann, "Climate forcing by anthropogenic aerosol". *Science*, vol. 255,pp.423-430, 1992.
- [3] The IAERONET website. [Online]. Available: <http://aeronet.gsfc.nasa.org/>
- [4] O. Dubovik, M. D. King, "A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements", *Journal of Geophysical Research*, vol. 105,pp. 20673-20696, 2000.
- [5] M.R. Perrone, M. Santese, A.M. Tafuro, B. Holben, A. Smirnov, "Aerosol load characterization over South-East Italy for one year of AERONET sun-photometer measurements", *Atmospheric research*, vol. 75,pp. 111-133, 2005.
- [6] O. Dubovik, B.N. Holben, T.F. Eck, A. Smirnov, Y.J. Kaufman, M. D. King, D. Tanre, I. Slutsker, "Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations", *Journal of Atmospheric Science*, vol. 59,pp. 590-608, 2002a.
- [7] H. Abderrahim, A. Mortier, A. Hamou, "Caractérisation et modélisation des aérosols sahariens", *Communication Science and Technologie N°12*, Janvier 2013.
- [8] S. Mukai, I. Sano, M. Satoh, B.N. Holben, "Aerosol properties and air pollutants over an urban area", *Atmospheric research*, vol. 82,pp. 643-651, 2006.
- [9] M. Hess, P. Koepke, I. Schult, "Optical properties of aerosols and clouds: the software package OPAC", *Bulletin of the American Meteorological society*, vol. 79,pp.831-884, 1998.
- [10] G.A. d'Almeida, P. Koepke, E.P. Shettle, "Atmospheric aerosol-global climatology and radiative characteristics", *A. Deepak, Hampton, V. 561 pp.*
- [11] I.N. Sokolik, O.B. Toon, "Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from UV to IR wavelength", *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, pp. 9423-9444, 1999.
- [12] J. Ackermann, "The extinction to backscatter ratio of tropospheric aerosol: a numerical study", *Journal of Atmospheric and Oceanic technology*, vol. 15, pp. 1044-1050, 1998.
- [13] H. Lyamani, F.J. Olmo, L. Alados-Arboledas, "Saharan dust outbreak over southeastern Spain as detected by sun photometer", *Atmospheric Environment*, vol.39, pp.7276-7284, 2005.
- [14] R.R. Draxler, G.D. Hess, "description of the HYSPLIT-4 modelling system, NOAA Technical Memorandum, ERL ARL-224, December 1997, p.24.