

Comparaison des paramètres radiatifs de l'aérosol atmosphérique déterminés à Oujda et Ouarzazate par les mesures photométriques

A. TAHIRI, M. DIOURI

Département de physique, Faculté des sciences, Université Mohammed premier, Oujda, Maroc

Résumé

Cette étude porte sur l'analyse des paramètres radiatifs des aérosols atmosphériques à l'échelle locale de deux stations photométriques solaires, Oujda et Ouarzazate, du réseau mondial AERONET. Les résultats indiquent que les valeurs des moyennes mensuelles des épaisseurs optiques de l'aérosol à $0,5\mu\text{m}$, sont relativement élevées en été et de moindre degré au printemps. Ces valeurs confirment la présence de poussières désertiques qui proviennent principalement du sud-est du Maroc en été. Les valeurs des moyennes mensuelles du forçage radiatif de l'aérosol à la surface pour les deux sites enregistrées en 2014 varient entre -120 W/m^2 et -05 W/m^2 avec des pics enregistrés en été, caractérisés régionalement par une importante charge en aérosol désertique. Celles enregistrées au sommet montrent une variation de -48 W/m^2 à $+12,5\text{ W/m}^2$. Au sommet de l'atmosphère, on observe des passages des valeurs négatives à des valeurs positives pour les deux sites qui peuvent s'expliquer pour le printemps et l'été par l'influence de la fraction importante du mode grosses particules, caractéristique de l'aérosol des tempêtes désertiques régionales observées à cette période de l'année, ces grosses particules diffusent de façon significative le rayonnement vers la surface terrestre. En automne et hiver c'est l'influence des nuages passagers qui peut être à l'origine de ces inversions.

Mots clefs: *Aérosols Atmosphériques, AERONET, Epaisseur Optique de l'Aérosol, Forçage Radiatif de l'Aérosol.*

1. Introduction

Les aérosols atmosphériques représentent l'ensemble des particules solides et liquides en suspension dans l'atmosphère, dont la taille varie de $0,01\ \mu\text{m}$ à $100\ \mu\text{m}$. Les aérosols peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Ils peuvent influencer sur le climat de diverses façons : directement par diffusion ou par absorption du rayonnement et indirectement en agissant comme noyaux de condensation pour la formation des nuages ou en modifiant les propriétés optiques et la durée de vie des nuages. Les particules d'aérosol présentent une large variété de taille et de composition chimique. Leur concentration dépend fortement de la situation

géographique, des conditions météorologiques et environnementales. La connaissance des caractéristiques des aérosols à l'échelle globale, l'évolution de leurs interactions avec d'autres paramètres atmosphériques et avec les radiations solaires et terrestres sont très importantes pour les recherches atmosphériques. L'interaction des aérosols avec le rayonnement solaire contribue à perturber l'équilibre énergétique du système terre-atmosphère. Cette perturbation est quantifiée par le forçage radiatif direct.

L'Épaisseur Optique de l'Aérosol (EOA) est une grandeur importante dans l'étude de l'impact radiatif de ce dernier, car elle renseigne sur la charge en aérosols et elle quantifie l'extinction du rayonnement incident dans une colonne d'atmosphère à la fois par absorption et par diffusion. Les épaisseurs optiques d'aérosols peuvent atteindre des valeurs très élevées, pour les tempêtes de sable, il est courant d'observer des épaisseurs optiques d'aérosols à $0,5\ \mu\text{m}$ dépassant 1,5 - 2 pouvant aller au-delà même de 4 au dessus du continent Africain (Campagne de mesures expérimentales SAMUM entreprise à Ouarzazate et Zagora au Maroc en 2006) [1] [2] [3] [4]. Le forçage radiatif dû à l'aérosol atmosphérique est aussi peu connu. Il demeure au voisinage de 0 au sommet de l'atmosphère et négatif à la surface terrestre.

Une observation continue de l'aérosol atmosphérique à l'échelle globale de la terre est nécessaire pour préciser son impact. Ceci est réalisé par les satellites (Envisat, Modis, Terra, Aqua, Calipso, Parasol, Cloudsat) qui sont équipés de modules et photomètres appropriés. Le réseau AERONET qui effectue des enregistrements au sol est un outil très important pour étudier d'une part les propriétés optiques de l'aérosol atmosphérique et d'autre part permettre la validation des mesures effectuées par satellite [4] et [5]. La détermination des épaisseurs optiques d'aérosols et du forçage radiatif est nécessaire pour l'amélioration des modèles d'évolution climatique et des bilans énergétiques à l'échelle régionale puis à l'échelle globale.

1. Epaisseur optique de l'aérosol (EOA)

L'épaisseur optique de l'aérosol représente l'atténuation optique totale induite par ce dernier pour une longueur d'onde donnée. L'étude de l'évolution annuelle des EOA nous permet d'analyser les changements dans le type

d'aérosol ainsi que sa concentration entre les différentes saisons.

La technique permettant la mesure directe de l'épaisseur optique de l'aérosol est la mesure de l'atténuation par l'atmosphère du rayonnement solaire direct. La diminution du flux solaire s'exprime par la loi de Bouguer :

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) e^{-m_{Air} \tau(\lambda)}$$

Avec $\tau(\lambda)$ épaisseur optique totale qui rend compte de la contribution à l'atténuation des aérosols, de la diffusion de Rayleigh et des gaz atmosphériques.

$$\tau_{aér}(\lambda) = \frac{1}{m_{air}} \ln \left(\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} \right) - \tau_{Ray}(\lambda) - \tau_{gaz}(\lambda)$$

$I(\lambda)$: flux solaire mesuré par le photomètre solaire (W/m^2).

$I_0(\lambda)$: flux solaire extra-terrestre (W/m^2).

$\tau_{aér}(\lambda)$: épaisseur optique de l'aérosol (sans unité).

$\tau_{gaz}(\lambda)$: épaisseur optique due à l'absorption des gaz (O_3 , NO_2 , CH_4 et H_2O).

$\tau_{Ray}(\lambda)$: épaisseur optique due à la diffusion de Rayleigh.

m_{air} : masse d'air.

La figure 1, montre les variations des moyennes mensuelles des épaisseurs optiques de l'aérosol : minimum, moyenne, maximum à $0,5 \mu m$ obtenues pour les deux sites en 2014.

A Oujda, le cycle annuel de l'épaisseur optique de l'aérosol présente un pic maximum ($\sim 0,95$) en Août, qui coïncide avec un pic d'activité de la production de poussière du Sud-Est du Maroc. La valeur minimale ($\sim 0,01$) est enregistré en Décembre.

Pour Ouarzazate, le pic ($\sim 1,15$) est enregistré au mois d'août. Le type d'aérosols change alternativement sur la région d'Ouarzazate à cause de la faible influence associée aux masses d'air atlantiques qui modèrent la charge de poussière des masses d'air d'origine Est et Saharienne (été). La valeur minimale ($\sim 0,01$) est enregistré en automne et en hiver. Au cours de la campagne de mesure expérimentale SAMUM réalisée en Mai-Juin 2006 à Ouarzazate, la moyenne journalière des EOA en Mai-Juin 2006 pour la longueur d'onde $0,5 \mu m$ est $0,28$ [6], en accord avec les données AERONET enregistrées en 2014 (Figure 1).

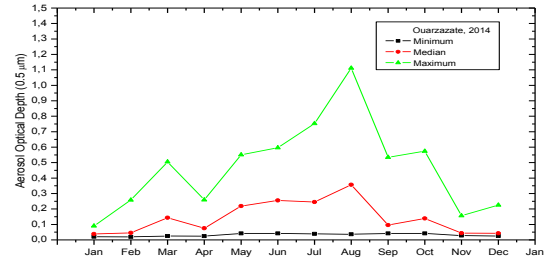
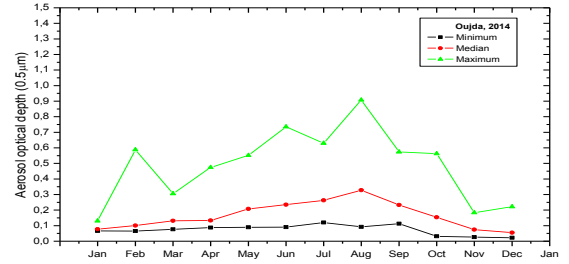


Figure 1. Moyennes mensuelles des EOA ($0,5 \mu m$) pour Oujda et Ouarzazate obtenue en 2014.

2. Forçage radiatif de l'aérosol (FRA)

On définit le forçage radiatif de l'aérosol (exprimé en W/m^2) comme toute modification du flux radiatif net (généralement au sommet de l'atmosphère) due à l'aérosol atmosphérique. Un forçage radiatif positif exprime une tendance à réchauffer le système terrestre, alors qu'un forçage négatif exprime l'inverse. On peut le quantifier au sommet de l'atmosphère (z au sommet de l'atmosphère) ou encore au sol (z à la surface) suivant l'équation :

$$\Delta F_z = (F^\downarrow - F^\uparrow) - (F^{\downarrow 0} - F^{\uparrow 0})$$

En distinguant le flux F^\uparrow (visible + infrarouge) montant et le flux F^\downarrow (visible + infrarouge) descendant. Les indices (0) et ($^{\downarrow 0}$) correspondent aux flux calculés sans aérosol, cas du ciel très clair. Une atmosphère propre sans aérosol est caractérisée par un maximum d'irradiance globale, un minimum d'irradiance diffuse et des épaisseurs optiques très faibles au voisinage de 0.

Globalement les aérosols (effet direct et indirect) exercent un effet de refroidissement. Les forçages radiatifs des aérosols dépendent des propriétés intrinsèques de l'aérosol mais aussi de l'humidité relative de l'air ainsi que de l'albédo de surface du sol.

Les figures 2 et 3, représentent les moyennes mensuelles des forçages radiatifs de l'aérosol (FRA), minimum, moyenne, maximum en surface terrestre et au sommet de l'atmosphère pour les deux sites. Ces valeurs sont calculées pour l'année 2014 à l'aide du modèle de transfert radiatif à partir des mesures des épaisseurs optiques d'aérosol effectuées par les photomètres solaires installés dans ces sites.

En surface terrestre (Figure 2), les valeurs sont variables entre $-125 W/m^2$ et $-5 W/m^2$ avec deux valeurs minimales

enregistrées aux mois d'Août (-125W/m^2 , Oujda) et en Septembre (-90W/m^2 , Ouarzazate), caractérisés régionalement par une importante charge en aérosol désertique. Au sommet de l'atmosphère (Figure 3), les valeurs ont enregistré une variation de -48W/m^2 à $+12,5\text{W/m}^2$ qui correspond à une faible contribution dans le sens du refroidissement.

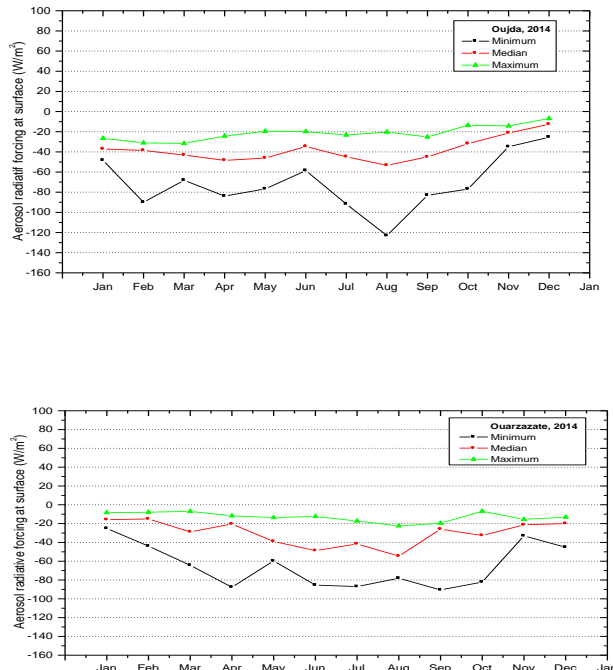


Figure 2. Moyennes mensuelles des FRA à la surface terrestre pour Oujda et Ouarzazate obtenue en 2014.

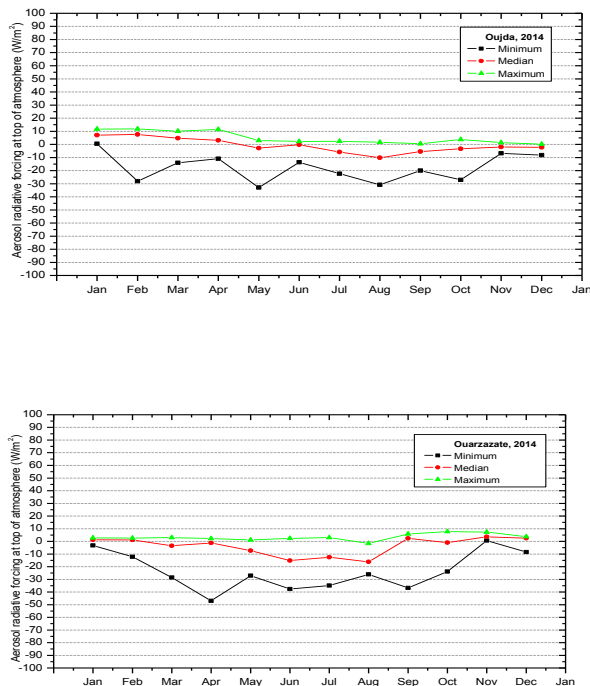


Figure 3. Moyennes mensuelles des FRA au sommet de l'atmosphère pour Oujda et Ouarzazate obtenue en 2014.

3. Conclusion

L'aérosol atmosphérique observé à Oujda et Ouarzazate au cours de l'année 2014 confirme l'importance de l'influence de l'aérosol désertique en été et, à un degré moindre, au printemps. Les résultats des EOA et des forçages radiatifs de l'aérosol enregistrés sont en accord avec ceux obtenus antérieurement (campagne de mesures à Oujda en 1998 [2], [3], [7], [8]). L'aérosol atmosphérique est constitué principalement de quatre types : désertique, continentale, anthropique et maritime (Oujda). La trace de présence de l'aérosol désertique émis régulièrement à partir du Sud et Sud-Est du Maroc se trouve confirmée au niveau des paramètres optiques de l'aérosol observés au niveau de deux sites étudiés avec une occurrence plus marquée au printemps et surtout en été.

L'impact de l'aérosol désertique sur le forçage radiatif montre une tendance générale vers le refroidissement régional avec des valeurs des forçages qui peuvent être inférieures à -125W/m^2 à la surface terrestre et inférieures à -48W/m^2 au sommet de l'atmosphère en été.

Références

- [1] W von Hoyningene-Huene and M. Wendisch. Variability of aerosol optical parameters by advective processes. *Atmospheric Environment*. 28 (1994), 923-933.
- [2] L. El Amraoui, M. Diouri, M. El Hitmy, R. Jaenicke, L. Schütz and W.von Hoyningen-Huene. Aerosol optical parameters over North Eastern Morocco. *J. Aerosol Sci.* Vol 31 Supp1 pp S277- S278 (2000).
- [3] L. El Amraoui and M. Diouri (2001). Characterisation of different air mass influences in terms of aerosol optical parameters. *J. Aerosol Sci.* Vol 32 Supp1 pp S 643-S 644.
- [4] W.Von.Hoyningen-Huene, T.Dinter, A.Kokhanovsky, J.P.Burrows, M.Wendisch, E. Bierwirth, D. Muller and M. Diouri. Measurements of desert dust optical characteristics at porte au sahara during SAMUM. *Tellus 61B* (2009), 206-215. Doi: 10.1111/ j.1600-0889. 2008. 00405.x
- [5] T. Dinter, W.Von Hoyningen-Huene, J. P. Burrows, A. Kokhanovsky, E. Bierwirth, M. Wendisch, D. Muller, R. Kahn and M. Diouri. Retrieval of aerosol optical thickness for desert conditions using MERIS observations during the SAMUM campaign. *Tellus 61B*, Doi: 10.1111/j.1600-0889.2008.00391.x.
- [6] C. Toledano., M. Wiegner., M. Garhammer., M. Seefeldner., J. Gasteiger., D. Muller and P. Koepke. Spectral aerosol optical depth characterization of desert dust during SAMUM 2006. *Tellus 61B*, 216-228. Doi: 10.1111/ j.1600-0889. 2008. 00382.x, 2009.
- [7] A. Tahiri. Caractérisation de l'aérosol désertique, application au cas du Maroc. Thèse de Doctorat, Faculté des sciences, UMP Oujda, 2015.
- [8] Abdelouahid Tahiri and Mohammed Diouri. Desert aerosol optical properties in Morocco. *Environmental Sciences*, Vol. 4, 2016, no. 1, 63-78. HIKARI Ltd, <http://dx.doi.org/10.12988/es.2016.631>.