

Premiers résultats des mesures des retombées au sol des aérosols désertiques durant la saison des pluies 2005 à Mâle (Mauritanie méridionale)

Preliminary results of Saharan dust deposition during the rainy season 2005 in Mâle (Southern Mauritania)

Jean GASSANI ¹⁻⁴, Aminetou BENT MOHAMED ², Jean DUCHESNE ³ et Pierre OZER ⁴

Abstract: The Sahara and its margins largely contribute to the global injection of mineral dust into the northern hemisphere, about half of the yearly global mineral dust production. In this study, we have placed a pyramidal receptacle in Mâle (southern Mauritania) during the rainy season 2005 in order to measure daily Saharan dust deposition. The dust quantity collected totals 78.38 g/m² during the 3 months experimented. Comparing our results to previous works achieved in the southern border of the Sahara shows that the levels of deposition in Mâle are extremely high. This could suggest a continuous environmental degradation resulting from always increasing human pressure.

Key words: Saharan dust deposition, wind erosion, Sahel, Sahara.

Résumé: Le Sahara et ses marges injectent des quantités de poussières dans l'atmosphère représentant approximativement la moitié de la production mondiale de poussières minérales. Dans le cadre de cette étude, un capteur pyramidal a été placé à Mâle (Mauritanie méridionale) durant la saison des pluies 2005 pour mesurer les dépôts quotidiens au sol des aérosols désertiques. La quantité de poussières récoltée a été de 78,38 g/m² durant les trois mois d'expérimentation. La comparaison de nos résultats avec des travaux antérieurs réalisés dans les pourtours du Sahara laisse apparaître que les dépôts sont extrêmement importants. Ceci pourrait suggérer une dégradation continue de l'environnement due aux pressions anthropiques grandissantes.

Mots clés : poussières désertiques, dépôt, érosion éolienne, Sahel, Sahara.

INTRODUCTION

Les régions arides et semi-arides de l'Afrique septentrionale et occidentale contribuent largement à l'injection globale de poussières minérales dans l'hémisphère nord (PROSPERO *et al.*, 2002; WASHINGTON *et al.*, 2003). Il est estimé que le Sahara et ses marges injectent des quantités de poussières dans l'atmosphère variant entre 600 et 1200 10⁶ tonnes par an (D'ALMEIDA, 1986; MARTICORENA *et al.*, 1997; CALLOT *et al.*, 2000; OZER, 2003). Ceci représenterait approximativement la moitié de la production mondiale de poussières minérales (GINOUX *et al.*, 2004).

Au cours des dix dernières années, l'analyse des poussières minérales s'est imposée comme l'un des sujets majeurs traités dans les études environnementales. L'augmentation de l'érosion éolienne observée ces dernières décennies dans la plupart des régions arides et semi-arides de la planète apparaît liée aux pressions environnementales sans cesse croissantes et au

¹ Laboratoire des Sciences de l'Environnement et de l'Aménagement, UMR 105 Paysages et biodiversité, Université d'Angers, Boulevard Lavoisier 2, 49045 Angers Cedex, e-mail : j.gassani@univ-angers.com

² Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Nouakchott, BP 5026, Nouakchott, Mauritanie, e-mail : amina@univ-nkc.mr

³ Département de Paysage, UMR 105 Paysages et biodiversité, Institut National d'Horticulture, rue André Le Nôtre 2, 49045 Angers Cedex, e-mail : jean.duchesne@inh.fr

⁴ Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Avenue de Longwy 185, 6700 Arlon, Belgique, e-mail : pozer@ulg.ac.be

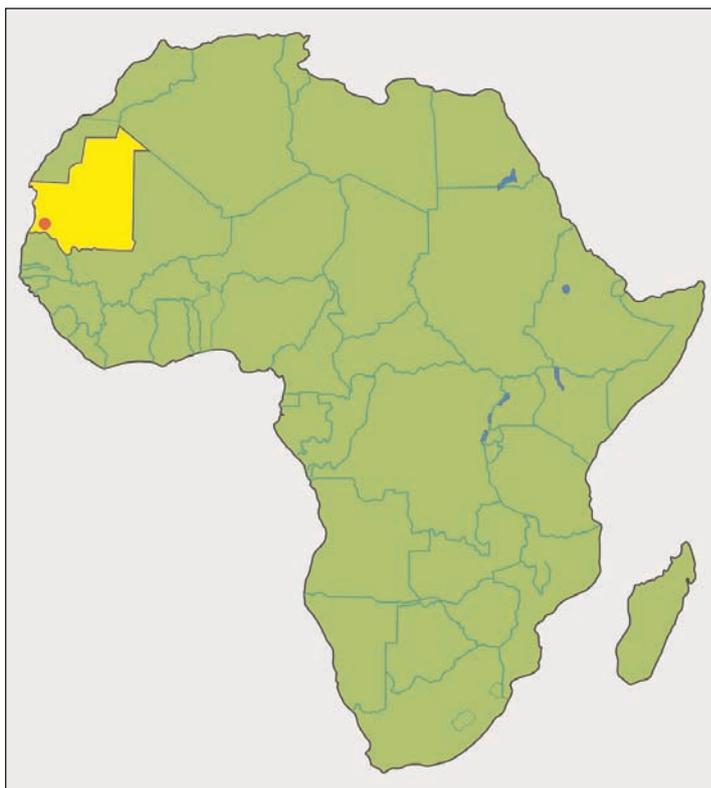


Fig.1: carte de situation

changement climatique global se traduisant dans ces régions par des déficits pluviométriques prononcés (TEGEN & FUNG, 1995; LANCASTER, 1996; NICHOLSON, 2001; OZER, 2002, 2003). En outre, il est maintenant irréfutable que la production de poussières minérales a maintes conséquences adverses sur l'environnement et l'Homme.

Pour ce qui est de la santé humaine, la détérioration de la qualité de l'air causée par la forte concentration en poussières minérales africaines a été rapportée en différentes régions assez éloignées du Sahara et de sa périphérie directe. À titre d'exemple, nous citerons les récents travaux réalisés dans les îles Canaries (VIANA *et al.*, 2002), en Espagne (RODRIGUEZ *et al.*, 2001), en Grande-Bretagne (RYALL *et al.*, 2002), au Moyen-Orient (ALPERT & GANOR, 2001) ou encore dans le

sud-est des États-Unis (PROSPERO, 1999). Cette pollution de l'air par une importante concentration en particules solides promeut les infections respiratoires, les maladies cardiovasculaires et une multitude d'autres troubles de la santé (WHO, 2000; BIELDERS *et al.*, 2001; CHEN *et al.*, 2004 ; GRIFFIN & KELLOGG, 2004; GYAN *et al.*, 2005). En Afrique de l'Ouest, de récentes études ont montré que les concentrations en poussières minérales sont très importantes tant du point de vue de leur magnitude que de leur fréquence (OZER, 2005 ; OZER *et al.*, 2006a, 2006b).

L'objectif de cette note technique n'est pas tant d'évaluer la pollution de l'air en tant que telle mais bien de mesurer les dépôts au sol des aérosols désertiques durant la saison des pluies 2005 à Mâle en Mauritanie méridionale. Ces retombées de poussières sont par ailleurs fortement corrélées aux concentrations atmosphériques en poussières minérales (ORANGE *et al.*, 1990).

DONNEES ET METHODES

Le capteur pyramidal développé à la fin des années 1980 par l'ORSTOM (ORANGE *et al.*, 1990) a été utilisé pour mesurer les dépôts au sol des aérosols désertiques. Ce capteur d'aérosols consiste en une cuve pyramidale renversée de plexiglass, de 40 cm de profondeur avec une surface de réception de 0,25 m² (50 x 50 cm). Il a été placé à 5 mètres au-dessus du niveau du sol sur le toit d'une habitation située au cœur du village de Mâle (Photo 1). Le capteur a été lavé à l'eau distillée quotidiennement à 7 heures du matin du 1er juillet au 30 septembre 2005 pour récupérer les poussières déposées dans la cuve (Photo 2). Des 92 jours analysés, cinq se sont révélés inexploitable car les flacons de prélèvement ont connu des détériorations durant leur transport vers Nouakchott. Ensuite, au Laboratoire du Centre National de l'Élevage et de la Recherche Vétérinaire (CNERV) de Nouakchott, les poussières ont été recueillies par filtration sur filtres millipores de 0,45 μm de porosité puis ont été séchées à 70°C et pesées. La quantité quotidienne de dépôts au sol des aérosols désertiques ainsi mesurée a systématiquement été multipliée par 4 pour obtenir des valeurs standard en g/m².

Par ailleurs, les précipitations quotidiennes ont été mesurées à Mâle à l'aide d'un pluviomètre classique situé à 40 mètres du capteur pyramidal. Pour obtenir une série pluviométrique plus longue représentative des conditions climatiques de la zone d'étude, nous avons eu recours aux données de la station d'Aleg, la plus proche localité disposant d'informations pluviométriques de 1940 à 2005.

En outre, dans le but d'estimer l'apport des poussières sahariennes dans le comblement du lac de Mâle durant les trois mois d'analyse, deux images satellitaires ont été utilisées pour calculer la superficie du lac de Mâle durant la saison des pluies 2005. Nous avons donc eu recours à une image satellitaire Landsat 7-ETM+ à 30 mètres de résolution saisie le 2 août 2005 et à une image Quick Bird à 2,5 mètres de résolution (Photo 3) du bassin versant de la zone d'étude datant du 17 septembre 2005.

RESULTATS

La figure 2 présente l'évolution quotidienne du dépôt de poussières sahariennes mesuré par le capteur pyramidal (g/m^2) à Mâle du 1er juillet au 30 septembre 2005. Il apparaît que $78,38 \text{ g}/\text{m}^2$ ont été récoltés par le capteur pyramidal durant les trois mois d'hivernage, soit un dépôt quotidien moyen de $0,85 \text{ g}/\text{m}^2$.

Près de $33,5 \text{ g}/\text{m}^2$, soit 42,7% de toutes les poussières sahariennes collectées durant les trois mois de mesures, ont été récoltés durant les vingt premiers jours de juillet. Les valeurs quotidiennes assez élevées et supérieures à $1 \text{ g}/\text{m}^2$ récoltées durant cette période (80%) par rapport au reste de la série analysée montrent le décalage existant entre les premières pluies (fin juin - début juillet) et l'apparition consécutive de la végétation qui diminue fortement l'érosion éolienne.

Par la suite, seuls 15% des jours seront caractérisés par des dépôts supérieurs à $1 \text{ g}/\text{m}^2$. Le 2 septembre se distinguera par un dépôt quotidien de poussières sahariennes maximum de $7,14 \text{ g}/\text{m}^2$, représentant près de 10% de toute la période d'échantillonnage. Le deuxième pic de dépôt quotidien de poussières sahariennes est observé en fin de saison des pluies, le 20 septembre avec $4,22 \text{ g}/\text{m}^2$.

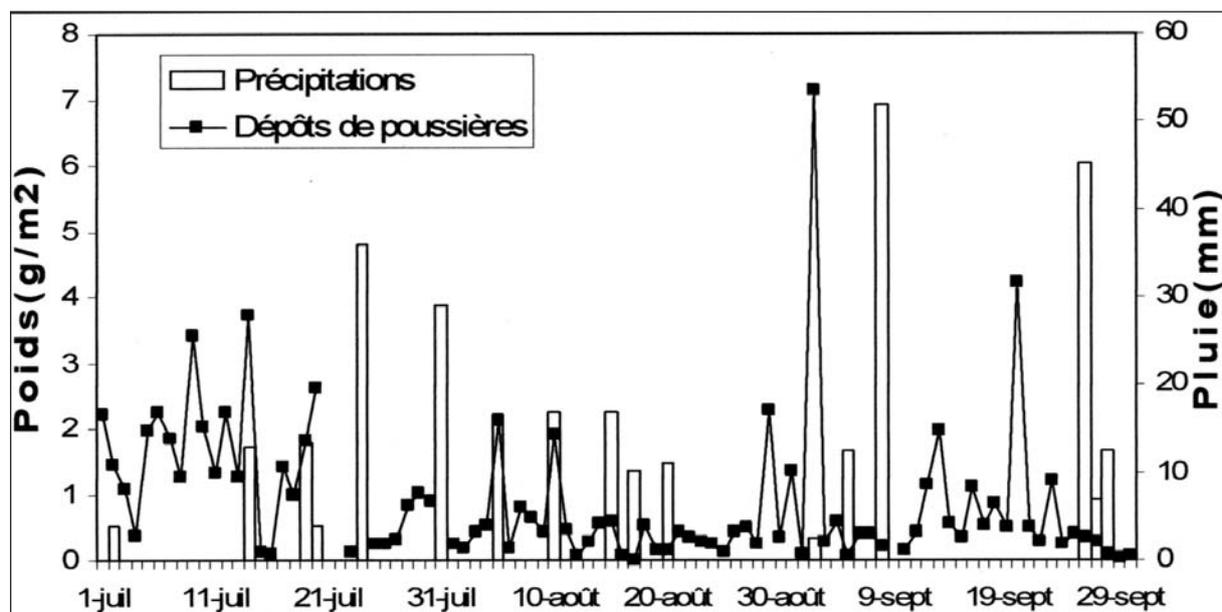


Fig. 2 : Evolution quotidienne des précipitations (mm) et du dépôt de poussières sahariennes collecté dans le capteur pyramidal (g/m^2) à Mâle du 1er juillet au 30 septembre 2005.

La figure 3 présente l'évolution des précipitations annuelles à la station d'Aleg de 1940 à 2005. Conformément à ce qui a été observé ailleurs en Afrique de l'Ouest, une rupture pluviométrique à la baisse s'est produite au début des années 1970, suivie d'une certaine amélioration depuis les années 1990 (OZER *et al.*, 2003). Ainsi, de 1940 à 1971, la moyenne pluviométrique a été de 268 mm avant de diminuer drastiquement de plus de 35% entre 1972 et 1994 (173 mm). Quant à la période récente (1995-2005), elle se caractérise par une reprise partielle des précipitations (248 mm). La tendance lourde tend néanmoins vers une certaine aridification du milieu avec une diminution de 3,5% par décennie du régime pluviométrique. La distribution quotidienne des précipitations à Mâle durant la période de mesure est présentée à la figure 2. Durant les trois mois étudiés, 18 jours de pluie ont été enregistrés, 5 en juillet, 6 en août et 7 en septembre, pour un total pluviométrique de 295,6 mm. A ce total, doivent s'ajouter 20,5 mm enregistrés à la fin du mois de juin. Il apparaît que diverses précipitations ont été accompagnées de dépôts importants de poussières, comme le 14 juillet (3,74 g/m²) et le 2 septembre (7,14 g/m²). Mais ce n'est pas systématique. En effet, 4,22 g/m² ont été collectés le 20 septembre, un jour caractérisé par un orage sec avec grand vent. De manière générale, l'effet des pluies qui nettoient l'atmosphère est net puisque les jours pluvieux se sont accompagnés d'un dépôt moyen de poussières de 1,41 g/m² contre 0,79 g/m² durant les jours secs.

Quant à la superficie du lac de Mâle, nous l'avons estimée à 1497 ha à partir des deux images satellitaires. Cela revient à dire que 1173 tonnes de particules éoliennes ont été piégées par les eaux du lac durant les trois mois de mesures.

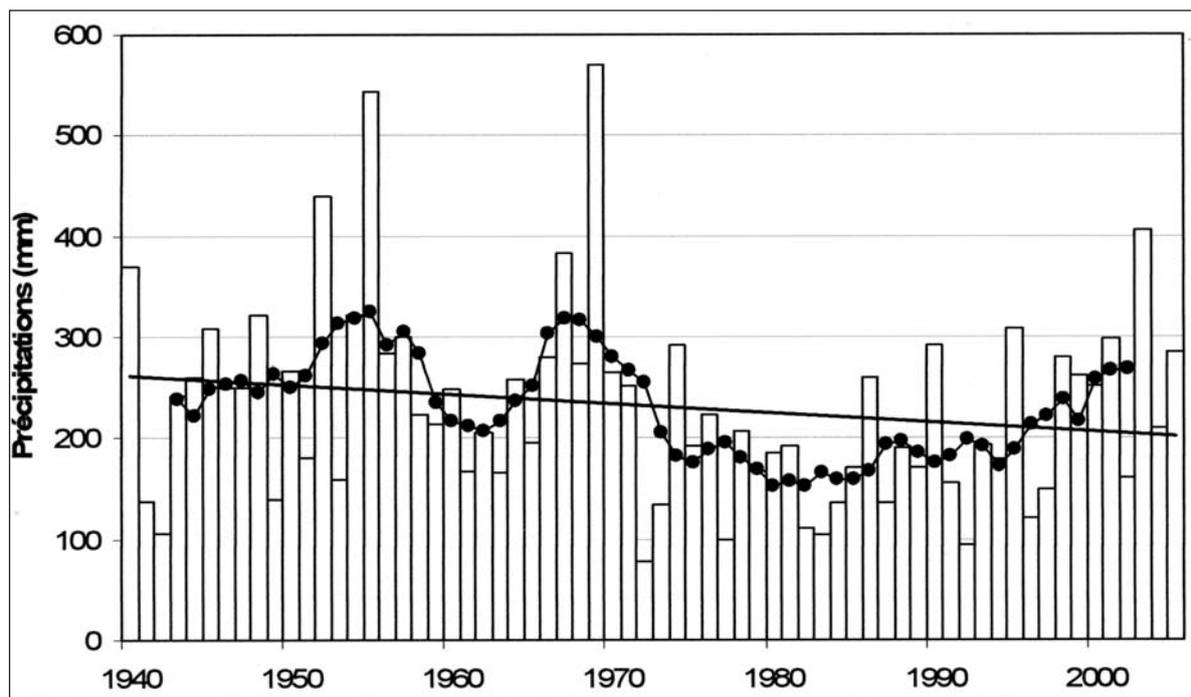


Fig. 3: Evolution annuelle des précipitations, moyenne mobile centrée sur 7 ans et tendance linéaire à la station d'Aleg de 1940 à 2005.

DISCUSSION

Durant la saison des pluies 2005, nos résultats montrent que 78,38 tonnes de poussières terrigènes par km² ont été récoltées par le capteur pyramidal installé expérimentalement à Mâle. Sachant que le lac de Mâle couvrait une superficie de l'ordre de 14,97 km², nous pouvons en déduire que plus de 1173 tonnes de sédiments ont été capturées par le lac. Par ailleurs, sachant que les dépôts mesurés au Sénégal durant cette même période de l'année ne représentent que 11,8% du total annuel durant la période 1984-1993 (GAC *et al.*, 1994), nous pouvons estimer que ce sont près de 664 tonnes de poussières terrigènes par km² qui se



Photo 1 : Emplacement du capteur pyramidal, sur le toit d'un immeuble au centre du village de Mâle.
(Crédit photographique : P. Ozer, 10 février 2006).

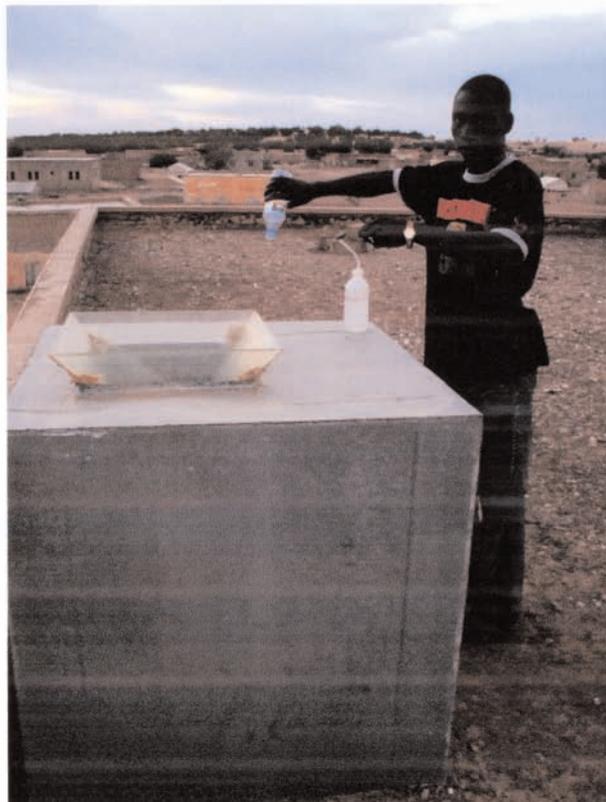


Photo 2 : Le capteur pyramidal, le flacon d'eau distillée (posé sur la surface en aluminium) et le flacon dans lequel l'échantillon est stocké (à la main de l'utilisateur).
(Crédit photographique : P. Ozer, 10 février 2006).



Photo 3 : Image satellitaire Quick Bird multispectrale à 2,5 m de résolution prise 17 septembre 2005 dans la région de Mâle.

seraient déposées dans la zone d'intérêt durant l'année 2005.

Ci-après, nous tenterons de comparer nos valeurs mesurées à d'autres études réalisées dans la région sahélienne. A Kano (Nord du Nigeria), BROMFIELD (1974, in MCTAINSH 1980) a observé un taux de sédimentation annuel moyen de 23 tonnes par km² pour la période 1969-1972. A N'Djamena (Tchad), TOBIAS et MEGIE (1980-1981) ont estimé le dépôt éolien à 47 tonnes par km² pour l'année 1977. Quelques années plus tard, MCTAINSH et WALKER (1982) ont estimé, de 1976 à 1979, des taux de sédimentation de poussières beaucoup plus élevés variant de 137 à 181 t km⁻² an⁻¹. Selon ces auteurs, cette augmentation dramatique d'un facteur six à huit était due à la sécheresse persistante aux latitudes septentrionales. A Dakar, GAC et al. (1994) ont déterminé des taux de sédimentation de poussières similaires variant de 131 à 285 t km⁻² an⁻¹ avec, en moyenne (1984-1993), 172 t km⁻² an⁻¹. Plus au nord, à N'Gnith situé à la frontière avec la Mauritanie, ces mêmes auteurs ont mesuré le taux de sédimentation de poussières variant de 146 à 204 t km⁻² an⁻¹ avec, en moyenne (1988-1993), 175 t km⁻² an⁻¹. Les données provenant de cette dernière localité sont intéressantes car plus représentatives des conditions environnementales connues à Mâle.

Durant les mois de juillet à septembre, le dépôt quotidien moyen mesuré à N'Gnith de 1987 à 1993 est de 0,38 g/m² avec des extrêmes variant de 0,17 à 0,53 g/m². A Dakar, de 1985 à 1994, ces mêmes paramètres donnent les valeurs suivantes : 0,19, 0,14 et 0,31 g/m² (GAC *et al.*, 1994). Avec un dépôt quotidien moyen de 0,85 g/m² mesuré à Mâle durant la saison des pluies 2005, nos valeurs sont deux à trois fois plus élevées que la moyenne des mesures effectuées au Sénégal par GAC et ses collègues (1994).

Quant à la valeur maximale de dépôt quotidien de poussières sahariennes de 7,14 g/m², elle semble bien exceptionnelle puisque de 1984 à 1991, soit juste consécutivement à la longue et intense période de sécheresse ayant affecté toute l'Afrique de l'Ouest, le maximum observé à Dakar ait été de 4,65 g/m² le 7 juillet 1991 (GAC *et al.*, 1991).

CONCLUSION

Avec un dépôt de 78,38 g/m² récoltés par le capteur pyramidal durant les trois mois d'hivernage, nos valeurs dépassent fortement toutes les mesures précédentes effectuées en lisière du Sahara. Ceci pourrait plaider en faveur d'une dégradation continue de l'environnement due aux actions anthropiques (OZER & OZER, 2006) malgré un retour prononcé des précipitations observé dans le Sahel (OZER et al., 2003 ; NIANG *et al.*, 2006).

Les mesures se sont prolongées en 2006 et devraient nous permettre d'approcher des valeurs annuelles. Par ailleurs, la granulométrie des particules récoltées va être analysée et nous permettra de différencier les apports locaux des apports allochtones.

BIBLIOGRAPHIE

- ALPERT P. & GANOR E., 2001. Sahara mineral dust measurements from TOMS: comparison to surface observations over the Middle East for the extreme dust storm, March 14-17, 1998. *Journal of Geophysical Research*, 106: 18275-18286.
- BIELDERS C.L., ALVEY S. & CRONYN N., 2001. Wind erosion: the perspective of grass-roots communities in the Sahel. *Land Degradation and Development*, 12: 57-70.
- CALLOT Y., MARTICORENA B. & BERGAMETTI G., 2000. Geomorphologic approach for modelling the surface features of arid environments in a model of dust emissions: applications to the Sahara desert. *Geodinamica Acta*, 13: 245-270.
- CHEN Y.S., SHEEN P.C., CHEN E.R., LIU Y.K., WU T.N. & YANG C.Y., 2004. Effects of Asian dust storms events on daily mortality in Taipei, Taiwan. *Environmental Research*, 95: 151-155.
- D'ALMEIDA G.A., 1986. A model for Saharan dust transport. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25: 903-916.

- GAC J.Y., CARN M., COGELS F.X., COLY A., NIANG A. & ORANGE D., 1994. Reconnaissance chimique des eaux de pluie et importance des dépôts de lithométéores au Sénégal au cours de la période 1984-1994. Compte-rendu de la communication présentée au Séminaire IGAC/DEBITS/AFRIQUE, INSET, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 5-8 décembre 1994.
- GAC J.Y., CARN M., DIALLO M.I. & ORANGE D., 1991. Le point sur les observations quotidiennes des brumes sèches au Sénégal de 1984 à 1991. Projet CEE (EQUESEN). ORSTOM, 24 p.
- GINOUX P., PROSPERO J.M., TORRES O. & CHIN M., 2004. Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. *Environmental Modelling & Software*, 19: 113-128.
- GRIFFIN D.W. & KELLOGG C.A., 2004. Dust storms and their impact on ocean and human health: dust in earth's atmosphere. *Ecohealth*, 1: 284-295.
- GYAN K., HENRY W., LACAILLE S., LALOO A., LAMSEE-EBANKS C., MCKAY S., ANTOINE R.M. & MONTEIL M.A., 2005. African dust clouds are associated with increased paediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *International Journal of Biometeorology*, 49: 371-376.
- LANCASTER N., 1996. Preface: Response of aeolian processes to global climate change. *Geomorphology*, 17: 1-2.
- MARTICORENA B., BERGAMETTI G., AUMONT B., CALLOT Y., N'DOUMÉ C. & LEGRAND M., 1997. Modeling the atmospheric dust cycle: 2. Simulation of Saharan dust sources. *Journal of Geophysical Research*, 102: 4387-4404.
- MCTAINSH G., 1980. Harmattan dust deposition in northern Nigeria. *Nature*, 286: 587-588.
- MCTAINSH G.H. & WALKER P.H., 1982. Nature and distribution of Harmattan dust. *Zeitschrift für Geomorphology*, 26: 417-435.
- NIANG A.J., OZER A. & OZER P., 2006. Fifty years of landscape evolution in southwestern Mauritania by means of aerial photos. Desertification continues.... *in*: Proceedings of the 1st International Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification. RODER A. & HILL J. (eds.), Remote Sensing Department, University of Trier, Germany, 199-206.
- NICHOLSON S.E., 2001. Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research*, 17: 123-144.
- ORANGE D., GAC J.Y., PROBST J.L. & TANRE D., 1990. Mesure du dépôt au sol des aérosols désertiques. Une méthode simple de prélèvement: le capteur pyramidal. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 311, Série II: 167-172.
- OZER A. & OZER P., 2006. Désertification au Sahel : crise climatique ou anthropique ? *Bulletin des Séances de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, in press.
- OZER P., 2000. Les lithométéores en région sahélienne: un indicateur climatique de la désertification. *GEO-ECO-TROP*, 24: 1-317.
- OZER P., 2002. Dust variability and land degradation in the Sahel. *BELGEO*, 2: 195-209.
- OZER P., 2003. Fifty years of African mineral dust production. *Bulletin des Séances de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, 49, 3: 371-393
- OZER P., 2005. Estimation de la pollution particulaire naturelle de l'air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale. *Environnement, Risques & Santé*, 4: 43-49.
- OZER P., COUREL M.F. & GOUDIE A.S., 2006a. 2006, International Year of Deserts, Desertification and Dust. *Africa Health*, in press.
- OZER P., ERPICUM M., DEMAREE G. & VANDIEPENBEECK M., 2003. The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48: 489-492.
- OZER P., OULD MOHAMED LAGHDAF M.B., OULD MOHAMED LEMINE S. & GASSANI J., 2006b. Estimation of air quality degradation due to Saharan dust at Nouakchott, Mauritania, from horizontal visibility data. *Water, Air, & Soil Pollution*, in press.
- PROSPERO J.M., 1999. Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: Implications for regional air quality. *Journal of Geophysical Research*, 104: 15917-15927.
- PROSPERO J.M., GINOUX P., TORRES O., NICHOLSON S.E. & GILL T.E., 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Review of Geophysics*, 40, 1002, doi: 10.1029/2000RG000095.
- RODRIGUEZ S., QUEROL X., ALASTUEY A., KALLOS G. & KAKALIAGOU O., 2001. Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, 35: 2433-2447.

- RYALL D.B., DERWENT R.G., MANNING A.J., REDINGTON A.L., CORDEN J., MILLINGTON W., SIMMONDS P.G., O'DOHERTY S., CARSLAW N. & FULLER G.W., 2002. The origin of high particulate concentrations over the United Kingdom, March 2000. *Atmospheric Environment*, 36: 1363-1378.
- TEGEN I. & FUNG I., 1995. Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification. *Journal of Geophysical Research*, 100: 18707-18726.
- TOBIAS C. & MEGIE C., 1980-1981. Les lithométéores au Tchad. Premiers résultats concernant la nature, la composition et l'importance des aérosols transportés par voie atmosphérique dans la région de N'Djamena (Tchad). *Cahiers ORSTOM, Série Pédologique*, XVIII : 71-81.
- VIANA M., QUEROL X., ALASTUEY A., CUEVAS E. & RODRIGUEZ S., 2002. Influence of African dust on the levels of atmospheric particulates in the Canary Islands air quality network. *Atmospheric Environment*, 36: 5861-5875.
- WASHINGTON R., TODD M., MIDDLETON N.J. & GOUDIE A.S., 2003. Dust-storm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer (TOMS) and surface observations. *Annals of the Association of American Geographers*, 93: 299-315.
- WHO, 2000. *Guidelines for air quality*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

